

Handleiding Betrouwbaar Ondergrond Model

Werkgroep Betrouwbaar Ondergrond Model

1220018-016

Titel

Handleiding Betrouwbaar Ondergrond Model

Opdrachtgever

Stuurgroep Geo-Impuls

Project

1220018-016

Kenmerk

1220018-016-GEO-0001

Pagina's

55

Trefwoorden

Geo-Impuls, ondergrondmodel, ondergrondscenario's, kritieke ondergrondfenomenen, GeoRM.

Samenvatting

Deze handleiding heeft als doel opdrachtgevers, ontwerpers en bouwers te helpen om op risicogestuurde wijze een betrouwbaar ondergrondmodel op te stellen voor geotechnisch ontwerp. Een ondergrondmodel is een model van de ondergrond dat de ruimtelijke verdeling van geotechnische en hydrologische eenheden geeft, en per geotechnische eenheid de geotechnische en hydrologische parameters. Een betrouwbaar ondergrondmodel is een ondergrondmodel dat de gebruiker in staat stelt om de betrouwbaarheid van het ontwerp te bepalen.


De handleiding is opgesteld door de Geo-Impuls werkgroep Betrouwbaar Ondergrond Model.

De handleiding ontsluit allerlei instrumenten voor het maken van een betrouwbaar ondergrond model. Documenten en literatuur die bij deze handleiding horen zijn gebundeld te downloaden via www.geoimpuls.org, zoekterm 'betrouwbaar ondergrond model'. De instrumenten kunnen ook los van deze handleiding worden gebruikt.

Naast een beschrijving van de instrumenten die de werkgroep heeft gemaakt bevat de Handleiding drie stappenplannen voor het opstellen van een ondergrondmodel, voor respectievelijk Verkenningsfase, Voorlopig Ontwerp fase en Definitief ontwerp fase.

Referenties

Zie hoofdstuk 6.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	apr 2015	Arjan Venmans		Geo-Impuls Werk- groep Betrouwbaar Ondergrond Model		Joris van Ruijven	

Status

voorlopig

Dit document is een voorlopig rapport en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

1 Inleiding	5
1.1 Wat zijn doel en meerwaarde van deze Handleiding Betrouwbaar Ondergrond Model?	5
1.2 Hoe de Handleiding Betrouwbaar Ondergrond Model te gebruiken?	5
1.3 Wie zijn de opstellers van de Handleiding Betrouwbaar Ondergrond Model?	7
2 Aanpak, instrumenten en pilots	9
2.1 Aanpak	9
2.2 Instrument: Geofysische methoden voor geotechnisch ingenieurs	9
2.3 Pilot A9 Gaasperdammerweg – vroegtijdige inbreng geologische kennis	10
2.4 Pilot Julianakanaal – inzet geofysische meetmethoden	11
2.5 Pilot flankenonderzoek A1-A6 – inzet geofysische meetmethoden	12
2.6 Pilot Rivierenland – toevoegen van lokaal onderzoek ter verbetering van een bestaand ondergrondmodel	13
3 Verkenningsfase (VK)	14
3.1 Welke activiteiten moet ik uitvoeren?	14
3.2 VK1 Risico inventarisatie en classificatie	16
3.2.1 VK 1.1: Bepaal type geotechnische constructie	16
3.2.2 VK 1.2: Inventariseer de omstandigheden in de omgeving, inclusief globale ondergrondopbouw	16
3.2.3 VK 1.3: Bepaal de uitvoeringsvarianten	18
3.2.4 VK 1.4: Bepaal ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen voor alle uitvoeringsvarianten	18
3.2.5 VK 1.5: Inventariseer wat de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen zijn	19
3.2.6 VK 1.6: Schat de kansen	19
3.2.7 VK 1.7: Bepaal de gevolgen voor het project	19
3.2.8 VK 1.8: Bepaal toprisico's	20
3.3 VK2: Dataverzameling	20
3.3.1 VK 2.1: Verzamel gegevens voor de toprisico's	20
3.4 VK3: Globaal ondergrondmodel opstellen	23
3.4.1 VK 3.1: Maak een kwalitatief langsprofiel	23
3.4.2 VK 3.2: Schat de kansen	24
3.4.3 VK 3.3: Maak een gebiedsindeling	25
3.5 VK4: Globale dimensionering maken	25
3.5.1 VK 4.1: Voer een globale dimensionering uit	25
3.6 VK5: Risico evaluatie	26
3.6.1 VK 5.1: Selecteer uitvoeringsvarianten	26
3.7 VK6: Overdracht naar de volgende projectfase	26
3.7.1 VK 6.1: Actualiseer de risicolijst	26
3.7.2 VK 6.2: Maak een plan voor aanvullend grondonderzoek	26
3.7.3 VK 6.3: Breid het plan voor aanvullend grondonderzoek met geofysische methoden	26

4	Voorlopig Ontwerp fase (VO)	28
4.1	Welke activiteiten moet ik uitvoeren?	28
4.2	VO1 Risico inventarisatie en classificatie	29
4.2.1	VO 1.1: Verzamel gegevens uit de Verkenningfase	29
4.3	VO2 Dataverzameling	30
4.3.1	VO 2.1: Voer grondonderzoek uit	30
4.3.2	VO 2.2: Van geofysisch naar geotechnisch laagmodel	30
4.4	VO3 Ondergrondmodel opstellen	30
4.4.1	VO 3.1: Inventiseer laagopbouwen en grondwaterhuishouding	30
4.4.2	VO 3.2: Kies representatieve rekenprofielen	31
4.4.3	VO 3.3: Bepaal representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's	31
4.4.4	VO 3.4: Bepaal gemiddelde en spreiding van de grondeigenschappen	31
4.4.5	VO 3.5: Gebruik een informatiesysteem	32
4.5	VO4 Ontwerp maken	32
4.5.1	VO 4.1: Maak ontwerpberekeningen	32
4.5.2	VO 4.2: Presenteer de berekeningsresultaten	32
4.6	VO5 Risico evaluatie	33
4.6.1	VO 5.1: Selecteer ontwerp	33
4.7	VO6 Overdracht naar de volgende fase	33
4.7.1	VO 6.1: Actualiseer de risicolijst	33
4.7.2	VO 6.2: Overweeg toepassing van de Observational Method	34
4.7.3	VO 6.3: Maak een plan voor aanvullend grondonderzoek	34
5	Definitief Ontwerp fase (DO)	36
5.1	Welke activiteiten moet ik uitvoeren?	36
5.2	DO1 Risico inventarisatie en classificatie	37
5.2.1	DO 1.1: Verzamel gegevens uit de Voorlopig Ontwerp fase	37
5.3	DO2 Dataverzameling	38
5.3.1	DO 2.1: Voer grondonderzoek uit	38
5.3.2	DO 2.2: Van geofysisch naar geotechnisch laagmodel	38
5.4	DO3: Ondergrondmodel opstellen	38
5.4.1	DO 3.1: Actualiseer representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's	38
5.4.2	DO 3.2: Actualiseer gemiddelde en spreiding van de grondeigenschappen	38
5.4.3	DO 3.3: Actualiseer het informatiesysteem	39
5.5	DO4 Ontwerp maken	39
5.5.1	DO 4.1: Maak ontwerpberekeningen	39
5.5.2	DO 4.2: Presenteer de berekeningsresultaten	39
5.6	DO5 Risico evaluatie	40
5.6.1	DO 5.1: Stel het definitief ontwerp vast.	40
5.7	DO6 Overdracht naar de volgende fase	40
5.7.1	DO 6.1: Actualiseer de risicolijst	40
5.7.2	DO 6.2: Bereid toepassing van de Observational Method voor	40
5.7.3	DO 6.3: Draag alle gegevens over	40
6	Referenties	42

A Tabel ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen, kritieke ondergrondfenomenen in relatie tot informatiebronnen	43
B Voorbeeld van het opstellen van een kwantitatief ondergrondmodel	49
B.1 Stap VO 3.1: Inventiseer laagopbouwen en grondwaterhuishouding	49
B.2 Stap VO 3.2: Kies representatieve rekenprofielen	50
B.3 Stap VO 3.3: Bepaal representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's	51
B.4 Stap VO 3.4: Bepaal gemiddelde en spreiding van de grondeigenschappen	51
B.5 Stap VO 3.5: Gebruik een informatiesysteem	51
B.6 Stap VO 4.1: Maak ontwerpberoeeningen	51

Aansprakelijkheid

© Stichting Deltares 2015, alle rechten voorbehouden. Geo-Impuls (www.geoimpuls.org) is het Nederlandse nationale werkprogramma gericht op het terugdringen van geotechnisch falen, waarin zo'n 40 private en publieke partijen uit de grond-, weg-, en waterbouwsector intensief samenwerken aan hulpmiddelen waarmee bouwprojecten volgens planning en binnen budget gerealiseerd kunnen worden. Geo-Impuls heeft geen rechtspersoonlijkheid en staat niet geregistreerd bij de Kamer van Koophandel. Stichting Deltares (www.deltares.nl) fungeert als Programmabureau van Geo-Impuls.

Als onderdeel van het werkprogramma van Geo-Impuls heeft Stichting Deltares, in samenwerking met diverse andere deelnemende partijen van Geo-Impuls, deze publicatie "Handleiding Betrouwbaar Ondergrond Model" samengesteld. Geo-Impuls en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samen- en opstellen van deze uitgave. Deze uitgave is gevoed en gecontroleerd door de Werkgroep en het Kernteam van Geo-Impuls. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat deze uitgave, of de externe informatiebronnen (websites) van publieke en private partijen waarnaar in deze uitgave wordt verwezen, fouten en/of onvolledigheden bevatten.

Ieder gebruik van deze uitgave, alsmede de gegevens daarin en in de verwijzingen naar externe informatiebronnen daarin, is geheel voor eigen risico van de gebruiker. Geo-Impuls en haar deelnemers sluiten, mede namens ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade, verliezen en andere nadelige effecten die mochten voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij in rechte kan worden vastgesteld dat dergelijke schades, verliezen en effecten het directe gevolg zijn van opzet of grove schuld aan de zijde van Geo-Impuls en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Bibliografische verwijzing

De bibliografische verwijzing naar deze handleiding is:

Venmans, A., Beukema, H., Borgers, J., De Haas, W., De Kleine, M., De Raat, G., Franssen, M., Ghose, R., Gunnink, J., Hack, H.R.G.K., Heerema, J.-J., Kremer, A., Kruse, G.A.M., Moura, M., Ngan-Tillard, D., Slob, S. & Van den Hoek, K., 2015. *Handleiding Betrouwbaar Ondergrond Model*. Venmans, A. (Ed.) (1220018-016-GEO-0001). Deltares, Stuurgroep Geo-Impuls, Utrecht, The Netherlands. p. 45. www.geoimpuls.org

1 Inleiding

1.1 Wat zijn doel en meerwaarde van deze Handleiding Betrouwbaar Ondergrond Model?

Deze handleiding heeft als **doel** opdrachtgevers, ontwerpers en bouwers te helpen om op risicogestuurde wijze een betrouwbaar ondergrondmodel op te stellen voor geotechnisch ontwerp. Kennis van geotechniek is nodig om de Handleiding optimaal te gebruiken.

Een ondergrondmodel is een model van de ondergrond dat de ruimtelijke verdeling van geotechnische en hydrologische eenheden geeft, en per geotechnische eenheid de geotechnische en hydrologische parameters. Een **betrouwbaar ondergrondmodel** is een ondergrondmodel dat de gebruiker in staat stelt om de betrouwbaarheid van het ontwerp te bepalen.

In vergelijking met de gangbare praktijk is de **meerwaarde** van het betrouwbaar ondergrondmodel volgens deze handleiding:

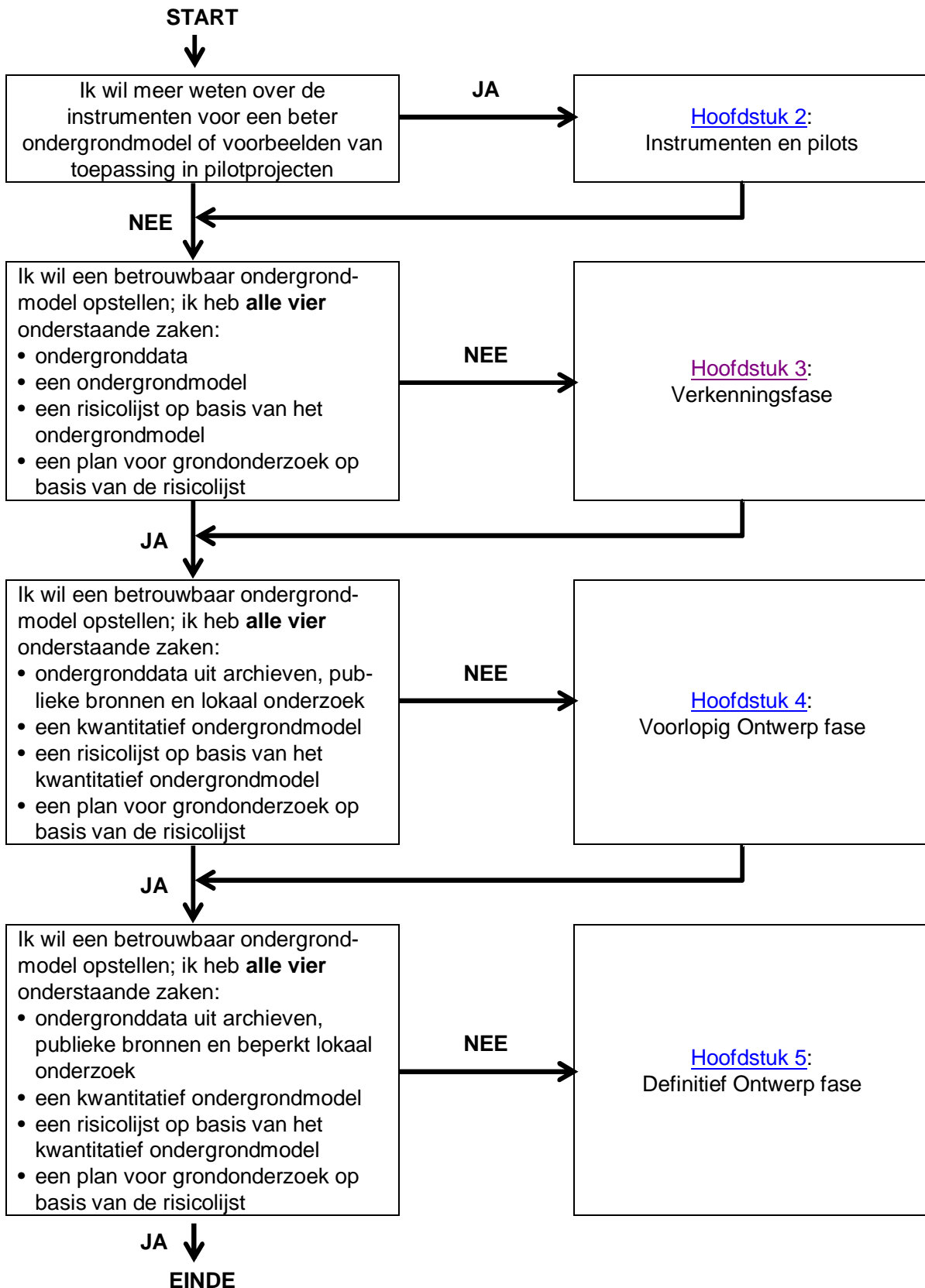
- Het betrouwbaar ondergrondmodel maakt ondergrond gerelateerde risico's expliciet.
- Het betrouwbaar ondergrondmodel sluit aan bij de stappen van de GeoRM methode [\[1\]](#) voor risicomanagement van geotechnische risico's.
- Het betrouwbaar ondergrondmodel focust op de specifieke risico's van de geotechnische constructie waar het om gaat.
- Het betrouwbaar ondergrondmodel betreft alle ondergrond die door de constructie wordt beïnvloed, en niet alleen de locaties waar puntinformatie zoals boringen en sonderingen beschikbaar zijn. Het betrouwbaar ondergrondmodel gebruikt geologische kennis en geofysische metingen om tussen puntinformatie te interpoleren.
- Het betrouwbaar ondergrondmodel maakt onzekerheid over de opbouw van de geotechnische en hydrologische eenheden expliciet in scenario's. Deze scenario's zijn in de gangbare geotechnische ontwerpinstrumenten te gebruiken.
- Het betrouwbaar ondergrondmodel vereist geen kennis van probabilistische methoden.

1.2 Hoe de Handleiding Betrouwbaar Ondergrond Model te gebruiken?

Deze handleiding ontsluit allerlei instrumenten voor het maken van een betrouwbaar ondergrond model. Alle instrumenten die bij deze handleiding horen zijn gebundeld te downloaden via www.geoimpuls.org, zoekterm '**bundel betrouwbaar ondergrond model**'. De instrumenten kunnen ook los van deze handleiding worden gebruikt.

Het **stroomschema** in [Figuur 1.1](#) geeft aan hoe de Handleiding te gebruiken. Gebruik de [blauw onderlijnde hyperlinks](#) in het schema om direct naar de plaats in de handleiding te navigeren. In Adobe Acrobat reader is het ook mogelijk te navigeren met F4 → Bookmarks.

Alle hyperlinks die verwijzen naar websites zijn ook opgenomen in de directory '**Websites Betrouwbaar Ondergrond Model**' in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model'. Door deze directory in zijn geheel te plaatsen in de 'Favorieten' directory van uw webbrowser zijn alle hyperlinks beschikbaar via het browsermenu 'Favorieten' onder de naam 'Websites Betrouwbaar Ondergrond Model'.



Figuur 1.1: Stroomschema voor het gebruik van de handleiding

Deze handleiding gebruikt de begrippen Verkenningfase, Voorlopig Ontwerp fase en Definitief Ontwerp fase. Deze fasen komen niet per se overeen met de projectfasen van het project waar het over gaat.

Het begrip **Verkenningfase** slaat in deze handleiding op een fase waarin een eerste risicolijs wordt opgesteld, ondergronddata uit archieven en publieke bronnen worden gebruikt voor een eerste kwalitatief ondergrondmodel, de haalbaarheid van uitvoeringsmethoden wordt ingeschat, en een eerste plan voor aanvullend grondonderzoek wordt opgesteld.

Het begrip **Voorlopig Ontwerp fase** slaat in deze handleiding op een fase waarin verkennend grondonderzoek wordt uitgevoerd op de projectlocatie, een eerste kwantitatief ondergrond model wordt opgesteld, dimensioneringsberekeningen uitwijzen welke uitvoeringswijzen voldoen aan de ontwerpvrage, de risicolijs wordt geactualiseerd en een tweede plan voor aanvullend grondonderzoek wordt opgesteld.

Het begrip **Definitief Ontwerp fase** slaat in deze handleiding op een fase waarin gedetailleerd grondonderzoek wordt uitgevoerd op de projectlocatie, een verbeterd ondergrond model wordt opgesteld, verdere dimensioneringsberekeningen uitwijzen hoe risico's te verkleinen of uitvoeringswijzen te optimaliseren, en de risicolijs wordt geactualiseerd.

Afhankelijk van de contractvorm zullen de activiteiten in de verschillende fasen worden uitgevoerd door de opdrachtgever of de opdrachtnemer. In een traditioneel contract zal de opdrachtgever alle drie fasen doorlopen. In een Design, Build, Finance and Maintain contract zal de opdrachtgever waarschijnlijk de Verkenningfase uitvoeren, en de opdrachtnemer de Voorlopig Ontwerp fase en de Definitief Ontwerp fase. Dit maakt in principe niets uit voor de te doorlopen stappen.

Er kan een groot verschil zijn in de resultaten van de risicoanalyse, afhankelijk of de opdrachtgever of de opdrachtnemer deze uitvoert. De verschillen hangen af van het belang dat de opsteller van de analyse hecht aan de gevolgen van het optreden van een ongewenste gebeurtenis. Zo kan een opdrachtgever bijvoorbeeld groot belang hechten aan gebeurtenissen met een effect op de omgeving. Een opdrachtnemer kan gebeurtenissen belangrijk vinden die een effect hebben op zijn uitvoeringswijze, en dus kostenbepalend zijn.

1.3 Wie zijn de opstellers van de Handleiding Betrouwbaar Ondergrond Model?

Deze handleiding is het product van de werkgroep Betrouwbaar Ondergrond Model van Geo-Impuls. Het vijfjarig programma Geo-Impuls heeft tot doel de kosten van geotechnisch falen te halveren. Meer informatie over Geo-Impuls en de producten is te vinden op www.geoimpuls.org.

De volgende personen hebben in de loop der tijd zitting gehad in de werkgroep:

Henkjan Beukema	Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud
Joost Borgers	Waterschap Veluwe
Mark Franssen	Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud
Rhanajit Ghose	TU Delft
Jan Gunnink	TNO Bouw & Ondergrond
Wim de Haas	Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening
Robert Hack	University Twente, International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC)
Jan-Jaap Heerema	Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud

Kor van den Hoek
Marco de Kleine
Arend Kremer
Gerard Kruse
Mario Moura
Dominique Ngan-Tillard
Govertine de Raat
Siefko Slob
Arjan Venmans

Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud
Deltares
ProRail
Deltares
Ingenieursbureau Gemeente Utrecht
TU Delft
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Witteveen+Bos
Deltares

2 Aanpak, instrumenten en pilots

Dit hoofdstuk beschrijft kort de aanpak die de werkgroep Betrouwbaar Ondergrond Model heeft gevolgd, de instrumenten die de werkgroep heeft ontwikkeld en de pilotprojecten waar de werkgroep deze instrumenten heeft toegepast. Deze Handleiding verwijst ook naar instrumenten van anderen. Meer informatie over de instrumenten van anderen is te vinden op www.geoimpuls.org.

2.1 Aanpak

Geo-Impuls is een programma van 40 Nederlandse opdrachtgevers, aannemers, ingenieursbureaus en kennisinstellingen, met als doel het geotechnisch falen vanaf 2015 tot de helft terug te brengen, ten opzichte van de periode 2000-2010. Uitvoeringsprojecten gaan hiertoe de methode GeoRM [1] toepassen, als versterking van het risicomanagement van ondergrond risico's. Voor toepassing van GeoRM zijn 10 acties geformuleerd. De werkgroep Betrouwbaar Ondergrondmodel richt zich op de actie 'Benut alle beschikbare geo kennis & ervaring'.

De leden van de werkgroep (zie paragraaf 1.3) hebben een achtergrond in geotechniek, geologie of geofysische meetmethoden. Ondanks deze verschillende achtergronden was men het eens over de belangrijkste verbetering: niet de ontwikkeling van nieuwe meetmethoden, maar beter gebruik van ervaringen, bestaande data en methoden. De aanpak heeft zich daarom gericht op de volgende speerpunten:

- Een gemeenschappelijke taal: geotechnici moeten weten wat ze wel en niet kunnen verwachten van geologische data en geofysische metingen, en welke vragen ze moeten stellen aan geologen en geofysici. Andersom moeten deze weten welke informatie ze moeten vragen van de geotechnicus, en hoe ze de onzekerheid in de resultaten van hun werk kunnen communiceren.
- Gebruik van ervaringen en bestaande data: een gewaarschuwd mens telt voor twee. Veel geotechnisch falen kan worden voorkomen door ervaringen in vergelijkbare grondslag te gebruiken bij risico inventarisatie en analyse. Hoe komt de juiste kennis op het juiste moment op de juiste plaats?
- Gebruik succesvolle methoden uit aanpalende velden: een methode die succesvol is voor waterkeringen is mogelijk ook bruikbaar voor wegen of bouwputten.
- Kwantificeer onzekere informatie in geotechnische modellen: veel data uit geologische bronnen is voor geotechnische begrippen vaag, en harde uitspraken over opeenvolging of continuïteit van lagen zijn vaak niet mogelijk. Resultaten van geofysische metingen zijn vaak op meerdere wijzen te interpreteren. Kwantificering moet aansluiten op de vertrouwde gereedschappen van de geotechnicus zodat deze het effect op de ontwerpuitskomst kan bepalen. Dit kan bijvoorbeeld door verschillende scenario's door te rekenen voor de geïnterpreteerde grondopbouw.
- Koppel methode ontwikkeling aan praktijkprojecten: dit is tegelijk een demonstratie en validatie van nieuwe methoden. Ervaringen worden meteen deel van de methode.
- Ontsluit kennis via een webportaal: hiermee is het mogelijk kennis en instrumenten te updaten met nieuwe informatie, en feedback van gebruikers te krijgen hoe zij de informatie gebruiken en waarderen.

2.2 Instrument: Geofysische methoden voor geotechnisch ingenieurs

Het Geo-Impuls rapport 'Geofysische methoden voor geotechnische ingenieurs' [2] geeft aan welke geofysische methoden geschikt kunnen zijn voor het identificeren en karakteriseren

van de kritieke ondergrondfenomenen. Ook geeft het rapport aan in welke mate toepassing van geofysische methoden is aan te bevelen.

Geofysische methoden kunnen een kosteneffectieve aanvulling vormen op conventioneel geotechnisch grondonderzoek met boringen en sonderingen. De Geo-Impuls / CUR Richtlijn C247 'Risico gestuurd grondonderzoek' [3] geeft richtlijnen voor conventioneel geotechnisch grondonderzoek. Deze handleiding vormt een aanvulling op de CUR richtlijn.

De doelgroep van het rapport bestaat uit geotechnisch ingenieurs die de aard en omvang van het grondonderzoek specificeren, en grondonderzoek uitvragen aan grondonderzoeksbedrijven.

Met het rapport kunnen geotechnisch ingenieurs:

1. Bepalen wanneer en welke geofysische methoden meerwaarde hebben als onderzoeksmethode voor specifieke geotechnische vragen;
2. Achtergrondinformatie krijgen over geofysische onderzoeksmethoden: meetprincipe, aanvullend parameters, toepassingsgebied, mogelijkheden, beperkingen, resolutie, dieptebereik, veelvoorkomende storingsbronnen en voorbeelden;
3. Miscommunicatie voorkómen tussen geotechnisch ingenieurs en aanbieders van geofysische metingen.

Het rapport bevat hiervoor de volgende hulpmiddelen:

1. Keuzehulpmiddel geofysische methoden;
2. Informatiebladen geofysische methoden;
3. Checklist met informatie vooraf te verstrekken door geotechnisch ingenieur, en wijze van rapporteren van de resultaten van de metingen.

Het rapport is van toepassing op geotechnische constructies in Nederland, op land en in rivieren en kanalen. Dit zijn dezelfde geotechnische constructies die in CUR C247 zijn opgenomen: bouwrijp maken, lijninfrastructuur, kleine kunstwerken, bruggen en viaducten, overlaten, sluizen, tunnels en aquaducten, polderconstructies, bouwputten, baggerwerken, steigers, kademuuren en leidingen. In aanvulling daarop komen afvalstorten, constructies op en in Zuid-Limburgse kalksteen en lekkage uit kanalen en boezems aan bod. Het rapport gaat niet in op waterkeringen; hiervoor wordt verwezen naar het Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken van ENW [10]. Ook gaat het rapport niet specifiek in op toepassingen voor milieuhygiënisch onderzoek.

Meer informatie over het rapport is te krijgen bij: Deltares, mw. Pauline Kruiver, 088 335 78 59, Pauline.Kruiver@deltares.nl.

2.3 Pilot A9 Gaasperdammerweg – vroegtijdige inbreng geologische kennis

De Geo-Impuls pilot 'A9 Gaasperdammerweg' [4] betreft een onderzoek naar de haalbaarheid van verschillende uitvoeringsvarianten voor een ondiep gelegen landtunnel. De verbreding van de A9 Gaasperdammerweg als onderdeel van het project Schiphol-Amsterdam-Almere (SAA) zal worden aangelegd als halfverdiepte landtunnel met een lengte van ca. 3 km.

Als onderdeel van de verkenning zijn zeven uitvoeringsvarianten opgesteld. Drie gaan uit van gebruik van onderwaterbeton, twee in combinatie met trekpalen), twee gebruikmakend van (diep) aanwezige waterremmende lagen, van een "damwandpolder" (gebruikmakend van folie

om waterscheiding te verkrijgen) en één 'hooggelegen' variant waarbij de tunnelonderkant zich in het Holocene pakket bevindt.

De geplande werkwijze bestond uit het formuleren van basisscenario's voor de ondergrondopbouw. Deze basisscenario's worden weergegeven op een basisscenariokaart. Voor de basisscenario's worden de gevolgen voor en de haalbaarheid van de uitvoeringsvarianten bepaald.

De pilot geeft antwoord op de volgende vragen van de projectorganisatie van Rijkswaterstaat:

- Wat zijn de belangrijkste ondergrondrisico's van de ontwerpvarianten?
- Hoe haalbaar zijn de ontwerpvarianten in het licht van de ondergrondrisico's, welke ondergrondfactoren zijn onderscheidend voor de kosten van de ontwerpvarianten, en wat is de rangorde van de ontwerpvarianten in termen van ondergrondrisico's?
- Met welke basisscenario's is de onzekerheid in de opbouw van de ondergrond te beschrijven?
- Welk aanvullend grondonderzoek is nodig voor het ontwerp en om de ondergrondrisico's te beheersen?

De adviezen aan de projectorganisatie zijn vertrouwelijk en zijn niet in het rapport opgenomen.

Wat betreft de werkwijze leidt de pilot tot de volgende conclusies:

- Er zijn in de verkenningsfase van het project nog te weinig ondergrondgegevens om kwantitatieve basisscenario's vast te stellen, of een basisscenariokaart.
- De opbouw van de ondergrond en de fenomenen die de constructie beïnvloeden kunnen het best aan de projectorganisatie worden gecommuniceerd door middel van een schematisch langprofiel (zie [Figuur 3.2](#)).
- De pilot laat de meerwaarde zien van vroegtijdige inbreng van geologische kennis.

Meer informatie over het rapport is te krijgen bij: Deltares, Arjan Venmans, 088 335 72 63, Arjan.Venmans@deltares.nl.

2.4 Pilot Julianakanaal – inzet geofysische meetmethoden

De Geo-Impuls pilot Julianakanaal [\[5\]](#) gaat over de toepassing van geofysische methoden in het vooronderzoek naar de kaden en de kanaalbodem.

Dit rapport geeft een samenvatting van de pilot Julianakanaal van Geo-Impuls. Het doel van de metingen was:

- 1 Het identificeren van een laag fijn zand die door kwel kan verweken, waardoor de stabiliteit van de kanaalkaden wordt bedreigd.
- 2 Het verkrijgen van inzicht in de opbouw van de kaden om doelgericht nader onderzoek naar de sterkte-eigenschappen te kunnen uitvoeren
- 3 Het identificeren van obstakels op de kanaalbodem.

Voor doelen 2 en 3 (grondopbouw onder en in kanaalkaden) bleken de seismische S-golf metingen en de grondradarmetingen het meest succesvol. Deze laten duidelijk gelaagdheden in en onder de dijk zien. De P-golf-metingen laten vooral reflecties (ver) onder de dijk zien. De oppervlaktegolf-metingen tonen laterale variaties maar hebben een te lage resolutie voor een gedetailleerde interpretatie. De grondradarmetingen op het water bleken niet te functioneren, maar op de kade tonen de metingen duidelijk de aanwezigheid en omvang van de leemlagen.

Voor doel 3 (obstakels in het kanaal) levert de Side Scan Sonar data gedetailleerde informatie op over de situatie op de kanaalbodem.

Door verschillende technieken te combineren is meer inzicht verkregen die met elke techniek apart niet verkregen kon worden. Ook heeft het geofysische onderzoek op enkele trajecten geleid tot een verkleining van de geotechnische risico's tijdens de uitvoering.

Meer informatie over het rapport is te krijgen bij: Deltares, Marco de Kleine, 088 335 78 54, Marco.deKleine@deltares.nl.

2.5 Pilot flankenonderzoek A1-A6 – inzet geofysische meetmethoden

De Geo-Impuls pilot 'flankenonderzoek A1-A6' [6] betreft de toepassing van geofysische methoden in het definitief onderzoek naar de uitvoeringwijze van een wegverbreding.

Voor de keus van uitvoeringsvarianten voor de verbreding van het deel A1-A6 van het project Schiphol-Amsterdam-Almere (SAA) is de overgang van de bestaande aardebanen naar nieuw aan te leggen aardebanen kritisch. Aanvullend geofysisch grondonderzoek op de zogenaamde 'flanken' van het bestaande weglichaam moet het risico op verschilzettingen ter plaatse van deze overgangen nader kwantificeren, om in de uitvoering de juiste maatregelen te kunnen nemen.

Aannemer SAAone heeft Deltares en Fugro de mogelijkheid geboden in de pilot, een zogenaamde signaaltest, te bepalen welke geofysische techniek de meeste kans van slagen heeft voor dit project. Naast geofysische metingen maken ook sonderingen (ter verificatie en ijking) deel uit van de onderzoeksopzet.

Deltares en Fugro hebben de volgende geofysische methoden toegepast:

- ElektroMagnetische (EM) meting;
- Elektrische Weerstand Tomografie (ERT), elektroden in de grond ingebracht;
- Elektrische Weerstand Tomografie (ERT), sleepelektroden over het oppervlak;
- Grondradar (GPR) meting.

De GPR (georadar) is potentieel zeer krachtig maar misschien juist wel te gedetailleerd voor geotechnische toepassingen. Het hoge detailniveau van de data vraagt veel filtering om alleen de relevante data te kunnen laten zien.

Op basis van de meetresultaten op SAAone lijkt de ERT-meting (klassiek of met Ohmmapper) de meest bruikbare methode te zijn. Het beste meetresultaat werd bereikt met de klassieke opstelling. Voor het inmeten van grotere gebieden lijkt de Ohmmapper echter praktischer; daarbij zou men moeten streven naar het detailniveau en de dieptewerking van de vaste opstelling als referentie.

Er is aangetoond dat met de metingen een veel hoger detailniveau kan worden bereikt dan met het conventionele grid van sonderingen en boringen. Een sterk heterogene opbouw (bijvoorbeeld kleilenzen in een zandpakket, of oude asfaltlagen) leidt echter tot moeilijk te interpreteren meetresultaten.

Mede op basis van de data uit het proefvak is door SAAone gekozen voor een oplossing die gedeeltelijk bestaat uit grondverbeteringen en gedeeltelijk uit verticale drains met voorbelasting.

Meer informatie over het rapport is te krijgen bij:

SAAone / Volker InfraDesign / Geobest, Erwin de Jong, 085 4890 140, erwin.dejong@geobest.nl

Deltares, mw. Laura Vonhögen-Peeters, 088 335 71 68, Laura.Vonhogen@deltares.nl

Fugro, Chris van Isselt, 070-311 13 60, c.v.isselt@fugro.nl

2.6 Pilot Rivierenland – toevoegen van lokaal onderzoek ter verbetering van een bestaand ondergrondmodel

De Geo-Impuls pilot Rivierenland [7],[8] betreft de uitbreiding van het bestaande ondergrondmodel van Veiligheid Nederland in Kaart 2 (VНК2) met lokaal onderzoek. Het doel van de pilot is de faalkans als gevolg van piping te verkleinen.

Deltares en TNO hebben in het kader van het project Veiligheid van Nederland in Kaart 2 (VНК2) uitgebreide schematisaties van de ondergrond gemaakt voor het mechanisme piping. De schematisatie van de ondergrond wordt als basis gebruikt voor de faalkansberekeningen voor piping. Uit de faalkansberekeningen met de VНК2 schematisaties voor dijkkring 38 Bommelerwaard kwamen relatief kleine faalkansen. Deze kleine faalkansen lijken in tegenspraak met de zandmeevoerende wellen die tijdens het hoogwater in januari 2011 zijn opgetreden.

Dit was de aanleiding om nader te kijken naar de aanvullende gegevens die bij het waterschap Rivierenland beschikbaar zijn. Met archiefgegevens en lokaal grondonderzoek zijn vijf nieuwe ondergrondmodellen gemaakt, met en zonder de expertkennis van de geoloog.

De pilot Rivierenland geeft inzicht gegeven in de verandering van de resultaten als er meer informatie wordt toegevoegd aan de ondergrondschematisatie. De eindpresentatie [7],[8] geeft antwoord op twee onderzoeksvragen:

- 1 Wat is de meerwaarde van het toevoegen van extra informatie uit het archief van het waterschap aan de schematisatie van de ondergrond en de controle door de geoloog met betrekking tot de faalkans voor het mechanisme piping?
- 2 Leidt het aanvullende grondonderzoek 'Hurwenen' tot aanpassingen in de schematisatie van het faalmechanisme en leidt dit tot faalkansen die meer overeenkomen met het optreden van zandmeevoerende wellen bij waterstanden met een overschrijdingsfrequentie van 1/10 per jaar?

Wat betreft de tweede vraag blijkt vooral de grote invloed van de korrelgrootteparameter d_{70} op de kans op piping.

Meer informatie over het rapport is te krijgen bij: Deltares, Ane Wiersma, 088 335 71 76, Ane.Wiersma@deltares.nl.

3 Verkenningfase (VK)

3.1 Welke activiteiten moet ik uitvoeren?

[Tabel 3.1](#) geeft een stappenplan voor het opstellen van een risicolijst, dataverzameling, opstellen van een kwalitatief ondergrondmodel, inschatten van de haalbaarheid van uitvoeringsmethoden, en het opstellen van een plan voor grondonderzoek. Gebruik de [blauw onderlijnde hyperlinks](#) in het schema om direct naar een toelichting in de handleiding te navigeren.

Het stappenplan is toegepast in een tweetal Geo-Impuls pilots; de rapporten over de pilots dienen als voorbeeld hoe de stappen in de praktijk zijn uitgevoerd. De Geo-Impuls pilot 'A9 Gaasperdammerweg' [\[4\]](#) betreft een onderzoek naar de haalbaarheid van verschillende uitvoeringsvarianten voor een ondiep gelegen landtunnel. De Geo-Impuls pilot Julianakanaal [\[5\]](#) gaat over de toepassing van geofysische methoden in het vooronderzoek naar de kaden en de kanaalbodem. Beide rapporten zijn te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

Onderdeel	Activiteit	Geo-Impuls pilots
1 Risico inventarisatie en classificatie	1 Bepaal type geotechnische constructie → par. 3.2.1	Pilot A9 Gaasperdammerweg [4]
	2 Inventariseer de omstandigheden in de omgeving, inclusief globale ondergrondopbouw → par. 3.2.2	
	3 Bepaal per geotechnische constructie de uitvoeringsvarianten in combinatie met globale omgevingsomstandigheden, inclusief de invloeden van de grondopbouw → par. 3.2.3	
	4 Bepaal ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen voor alle uitvoeringsvarianten → par. 3.2.4	
	5 Inventariseer wat de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen zijn voor de ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen → par. 3.2.5	
	6 Schat de kans op het voorkomen van de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen, en de kans dat dit leidt tot de ongewenste geotechnische gebeurtenis / mechanisme → par. 3.2.6	
	7 Bepaal voor de ongewenste geotechnische gebeurtenissen de gevolgen voor Tijd, Geld, Kwaliteit, Omgeving, Imago en Veiligheid en andere factoren die voor het project belangrijk zijn → par. 3.2.7	
	8 Maak een voorlopige risicolijst; bepaal risico = kans x gevolg en rangschik de risico's; wijs toprisico's aan → par. 3.2.8	

Onderdeel	Activiteit	Geo-Impuls pilots
2 Dataverzameling	1 Verzamel algemene omgevingsinformatie, geotechnische, geologische en geohydrologische archiefgegevens en gegevens voor de toprisico's → par. 3.3.1	Pilot A9 Gaasperdammerweg [4]
3 Globaal ondergrondmodel opstellen	1 Identificeer en leg vast waar de kritieke ondergrondfenomenen in het projectgebied kunnen voorkomen. Visualiseer de kritieke ondergrondfenomenen, bijvoorbeeld in een kwalitatief langsprofiel. → par. 3.4.1	
	2 Maak een gebiedsindeling in geologisch homogene deelgebieden die kunnen bestaan uit homogene laagopbouw ofwel het samen voorkomen van verschillende laagopbouwen die van invloed zijn op het voorkomen van de kritieke ondergrondfenomenen → par. 3.4.3	
4 Globale dimensionering maken	1 Voer een globale dimensionering uit; schat haalbaarheid, globale kosten en bandbreedte voor alle uitvoeringsvarianten → par. 3.5.1	Pilot A9 Gaasperdammerweg [4]
5 Risico evaluatie	1 Selecteer uitvoeringsvarianten op grond van haalbaarheid, globale kosten en bandbreedte → par. 3.6.1	
6 Overdracht naar de volgende fase	1 Actualiseer de risicolijst voor de geselecteerde uitvoeringsvarianten → par. 3.7.1	
	2 Als blijkt dat risico's onacceptabel zijn: formuleer een onderbouwd advies voor aanvullend onderzoek zodat deze risico's gereduceerd kunnen worden. Inventariseer de analytische en numerieke analysemethoden voor de ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen. Inventariseer de parameters voor de analytische en numerieke analysemethoden → par. 3.7.2	
	3 Stel een plan op voor grondonderzoek; bepaal of geofysisch grondonderzoek sterk wordt aanbevolen en neem dit zo nodig op in het plan → par. 3.7.3	Pilot Julianakanaal [5]

Tabel 3.1: Stappenplan voor de Verkenningfase.

3.2 VK1 Risico inventarisatie en classificatie

3.2.1 VK 1.1: Bepaal type geotechnische constructie

Actie

Kies uit onderstaande lijst een de geotechnische constructie waar het om gaat. Geo-Impuls onderscheidt de volgende typen geotechnische constructies:

- Bouwrijp maken
- Lijninfra
- Kleine kunstwerken
- Bruggen en viaducten
- Overlaten
- Sluizen
- Tunnels en aquaducten
- Polderconstructies
- Bouwputten
- Baggerwerken
- Steigers
- Kademuren
- Leidingen
- Stortplaatsen
- Constructies op Zuid-Limburgse kalksteen
- Afdichtingen van kanaalbodems
- Waterkeringen

3.2.2 VK 1.2: Inventariseer de omstandigheden in de omgeving, inclusief globale ondergrondopbouw

Actie

Inventariseer alle factoren die de uitvoeringswijze van de geotechnische constructie zullen bepalen:

- Gebruikerswensen en eisen, waaronder belastingen (maatgevende waterstanden voor waterkeringen, verkeersbelastingen voor wegen etc.), budget, bandbreedte, uitvoeringsduur, veiligheidsniveaus, betrouwbaarheid, grenswaarden.
- Van toepassing zijnde bouwrichtlijnen en normen.
- Lokale verordeningen, keuren van waterschappen.
- Objecten in de omgeving die gevoelig zijn voor gronddeformaties, grondwaterstandwijzigingen, trillingen.
- Aanwezigheid van kabels en leidingen.
- Aanwezigheid van archeologische resten en onontpofte explosieven.
- Obstakels in de ondergrond als gevolg van menselijk handelen.
- Globale ondergrond- en grondwaterdata in archieven en publieke bronnen.
- Toekomstige veranderingen: klimaatverandering, bodemdaling.

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- De Geo-Impuls publicatie 'Heeft u overal aan gedacht?', te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.
- De situatie ter plaatse, via [Google Maps](https://www.google.nl/maps).
- De hoogteligging via het [Actueel Hoogtebestand Nederland](http://actueel.hoogtebestand.nl), waaruit bijvoorbeeld ook informatie over gedempte watergangen is te halen.

- [GeoTOP](#), het driedimensionale geologisch model van de Nederlandse ondergrond.
- Boringen en sonderingen in gemeentelijke databases:
 - [Amsterdam](#) via een aanvraag bij de stadsdelen of het Havenbedrijf, of [Ingenieursbureau Amsterdam](#)
 - [Utrecht](#) via het gemeentelijk loket.
- Zettingskaart van de Holocene slappe lagen in Nederland, in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.
- De [bodemkaart van de veengebieden](#) in de Provincie Utrecht.
- Keurzones van waterkeringen, via de websites van de [waterschappen](#).
- Grondwatermetingen in de grote gemeenten:
 - [Amsterdam](#)
 - ['s-Gravenhage](#)
 - [Rotterdam](#)
 - [Utrecht](#)
- Grondwatermetingen van de Provincies:
 - [Utrecht](#)
- De diepteligging van het grensvlak tussen zoet en brak grondwater, via de [Atlas voor de leefomgeving](#), Thema: Drinkwater → Kaart: Beschikbaarheid zoet grondwater, verzilting → Kaarten tonen.
- Historische gegevens over de bebouwingsgeschiedenis in gemeentelijke archieven:
 - Amsterdam: [historische foto's](#) via de Beeldbank, informatie over bouwwerkzaamheden tot ca. 1990 via het [Stadsarchief](#), sloopdossiers via Bouw- en woningtoezicht van de [stadsdelen](#), archeologisch onderzoek via het [Stadsarchief](#), gegevens over rioleringen via [Waternet](#).
 - Rotterdam: bouwtekeningen via het [Stadsarchief](#)
 - 's-Gravenhage: [bouwtekeningen](#)
 - Utrecht: [bouwdossiers en tekeningen](#)
 - [Diverse gemeenten](#).
- Historische foto's en kaarten, tegen betaling via www.watwaswaar.nl.
- De milieuhygiënische bodemkwaliteit via [Bodemloket](#).
- [Archeologische Monumenten Kaart](#) (AMK) en [Indicatieve Kaart Archeologische Waarden](#) (IKAW).
- Archeologische databank Nederland [Archis](#).
- De [kaart met aardkundige waarden](#) van de Provincie Utrecht.
- Kans op [niet gesprongen explosieven](#) (UXO), met risicokaarten voor Assen, Dordrecht, Enschede en Roosendaal; informatie voor Amsterdam is aan te vragen via [Ingenieursbureau Amsterdam](#).
- Een aanvraag bij het Kabels en Leidingen Informatie Centrum [KLIC](#).
- [Klimaatscenario's](#) voor Nederland.
- [Kaarten voor bodemdaling](#) als gevolg van delfstofwinning, veenoxidatie en natuurlijke daling.

Algemene informatie van de overheid is te vinden via de website [Publieke Dienstverlening op de Kaart](#). Algemene informatie over bodemthema's is te vinden op [Bodemambities](#).

3.2.3 VK 1.3: Bepaal de uitvoeringsvarianten

Actie

Bepaal per geotechnische constructie de mogelijke uitvoeringsvarianten die gebruikelijk zijn gegeven de globale omgevingsomstandigheden en de grondopbouw.

Vaak zijn er meerdere alternatieve uitvoeringsmethoden om de geotechnische constructie aan te leggen. Deze methoden kennen ieder hun eigen gevoeligheden voor fenomenen in de ondergrond die tot ongewenste geotechnische gebeurtenissen kunnen leiden. Zolang er nog geen keus is gemaakt voor een bepaalde uitvoeringsmethode moet men dus rekening houden met de ongewenste geotechnische gebeurtenissen van alle methoden.

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- Het [Keuzemodel Wegconstructies van CROW](#) onderscheidt de volgende uitvoeringsvarianten voor de aanleg van een weg op slappe ondergrond: zand ophoging met extra overhoogte (zand), verticale kunststof drains, drainerende zandschermen met bemaling, ophoging van licht granulair materiaal.
- Het [Wegen Analyse Model Overgangsconstructies](#) kent de volgende uitvoeringsvarianten voor de aanleg van een landhoofd op slappe grond: zand ophoging met extra overhoogte (zand), verticale kunststof drains, verticale drainagemethode met onderdruk, drainerende zandschermen met bemaling, paalmatras op houten palen of betonnen palen, toepassing van een geokunststof, ophoging van licht granulair materiaal en geëxpandeerd polystyreen EPS ophoging (evenwichtsconstructie).
- Het rapport over de Geo-Impuls pilot 'A9 Gaasperdammerweg' [\[4\]](#) geeft de volgende uitvoeringsvarianten voor aanleg van een halfverdiepte landtunnel: damwanden en onderwaterbetonvloer, met of zonder trekpalen, met of zonder constructieve vloer, damwanden tot ondiep resp. diep gelegen afsluitende kleilaag, damwandpolder, hoge ligging met Holocene afzettingen als afsluitende laag. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

3.2.4 VK 1.4: Bepaal ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen voor alle uitvoeringsvarianten

Actie

Bepaal ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen voor alle uitvoeringsvarianten die de oorzaak van geotechnische risico's zijn. Neem de ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen op in de risicolijst.

Het verdient aanbeveling om de stappen [VK 1.4: Bepaal ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen voor alle uitvoeringsvarianten](#), [VK 1.5: Inventariseer wat de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen zijn](#) en [VK 1.6: Schat de kansen](#) uit te voeren in overleg tussen geotechnicus en geoloog.

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- Het CUR rapport 247 'Risicogestuurd grondonderzoek' [\[3\]](#) geeft per geotechnische constructie een lijst van ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

- De tabel in bijlage [A](#), selecteer de geotechnische constructie met de filterknoppen in de kolommen 'Tabel uit CUR 247' en 'aanvullend' en neem de kolom 'Ongewenste geotechnische gebeurtenis / mechanisme' over. De tabel is ook als Excel spreadsheet te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

3.2.5 VK 1.5: Inventariseer wat de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen zijn

Actie

Inventariseer wat de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen zijn die de ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen veroorzaken.

Het verdient aanbeveling om de stappen [VK 1.4: Bepaal ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen voor alle uitvoeringsvarianten](#), [VK 1.5: Inventariseer wat de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen zijn](#) en [VK 1.6: Schat de kansen](#) uit te voeren in overleg tussen geotechnicus en geoloog.

Voeg de kritieke ondergrondfenomenen toe aan de risicolijst.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- De tabel in bijlage [A](#), selecteer de geotechnische constructie met de filterknoppen in de kolommen 'Tabel uit CUR 247' en 'aanvullend' en neem de kolom 'Kritiek ondergrondfenomeen' over. De tabel is ook als Excel spreadsheet te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

3.2.6 VK 1.6: Schat de kansen

Actie

Schat de kans op het voorkomen van de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen, en de kans dat dit leidt tot de ongewenste geotechnische gebeurtenis / mechanisme. [Figuur 3.1](#) geeft een voorbeeld van de indeling in kansklassen.

Het verdient aanbeveling om de stappen [VK 1.4: Bepaal ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen voor alle uitvoeringsvarianten](#), [VK 1.5: Inventariseer wat de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen zijn](#) en [VK 1.6: Schat de kansen](#) uit te voeren in overleg tussen geotechnicus en geoloog.

Voeg de resultaten toe aan de risicolijst.

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- De kans van optreden van de kritieke ondergrondfenomenen voor horizontaal gestuurde (HDD) boringen is te bepalen in het expertsysteem [SoilRisk HDD](#).
- De kans op problemen met [houten paalfunderingen](#) in Rotterdam.

3.2.7 VK 1.7: Bepaal de gevolgen voor het project

Actie

Bepaal voor de ongewenste geotechnische gebeurtenissen de gevolgen voor Tijd, Geld, Kwaliteit, Omgeving, Imago en Veiligheid en andere factoren die voor het project belangrijk zijn. [Figuur 3.1](#) geeft een voorbeeld van de indeling in gevolgklassen.

Voeg de resultaten toe aan de risicolijst.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

3.2.8 VK 1.8: Bepaal toprisico's

Actie

Maak de voorlopige risicolijst af; bepaal risico = kans x gevolg en rangschik de risico's; wijs toprisico's aan.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

Voorbeeld

Een voorbeeld van een risicolijst met inschatting van kansen en gevolgen kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- Het rapport over de Geo-Impuls pilot 'A9 Gaasperdammerweg' [\[4\]](#) beschrijft een onderzoek naar de haalbaarheid van verschillende uitvoeringsvarianten voor een ondiep gelegen landtunnel. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

3.3 VK2: Dataverzameling

3.3.1 VK 2.1: Verzamel gegevens voor de toprisico's

Actie

Verzamel algemene omgevingsinformatie, geotechnische, geologische en geohydrologische archiefgegevens en gegevens uit publieke bronnen voor de toprisico's.

Het verdient sterke aanbeveling de stappen [VK 2.1: Verzamel gegevens voor de toprisico's](#), [VK 3.1: Maak een kwalitatief langsprofiel](#), [VK 3.2: Schat de kansen](#) en [VK 3.3: Maak een gebiedsindeling](#) uit te voeren in overleg tussen geotechnicus en geoloog.

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- De tabel in bijlage [A](#), , selecteer de geotechnische constructie met de filterknoppen in de kolommen 'Tabel uit CUR 247' en 'aanvullend' en gebruik de informatiebronnen in de kolommen 'Publiek beschikbare informatiebronnen' over. De tabel is ook als Excel spreadsheet te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.
- GeoTOP, het driedimensionale geologisch model van de Nederlandse ondergrond, via [DINOloket](#).
- REGIS, het driedimensionale geohydrologisch model van de Nederlandse ondergrond, via [DINOloket](#).
- Boringen, sonderingen en peilbuizen via [DINOloket](#), de database van geotechnische en hydrologische onderzoeksgegevens.

Risico klasse

	Geda (miljoenen)	Tijd (maanden)	Kwaliteit	Omgeving	Veiligheid	Imago	Kans					
							1 1%	2 5%	3 10%	4 25%	5 50%	6 > 50%
0	0	0	Geen gevolgen voor kwaliteit	Geen overlast	Veilig	Geen	0	0	0	0	0	0
1	0-0,5	0-1	Niet conform Norm/Richtlijn	Nauwelijks overlast	Lichte blessure	Zeep klein	1	2	3	4	5	5
2	0,5-1,5	1-2	Niet conform eis, wel functioneel	Enig overlast	Medische assistentie nodig	Klein	2	4	6	8	10	12
3	1,5-3,5	2-4	Functioneel verlies van belangrijk onderdeel	Matig overlast	Zwaargewond	Middel	3	6	9	12	15	18
4	3,5-6,5	4-6	Herstelbaar, essentieel functioneel verlies	Grote hinder	Blijvend letsel	Groot	4	8	12	16	20	24
5	6,5-10	6-12	Onherstelbaar, essentieel functioneel verlies	Zeep grote hinder	Dodelijke afloop	Zeep groot	5	10	15	20	25	30
6	> 10	> 12					6	12	18	24	30	36

Gevolg

Figuur 3.1: Voorbeeld van een classificatie van kansen (horizontale as) en gevolgen (verticale as), en de resulterende risicoscore kans x gevolg. Bron: Rijkswaterstaat.

- Boringen en sonderingen in gemeentelijke databases:
 - [Amsterdam](#) via een aanvraag bij de stadsdelen of het Havenbedrijf, of [Ingenieursbureau Amsterdam](#)
 - [Utrecht](#) via het gemeentelijk loket. <http://www.utrecht.nl/bouwen-en-verbouwen/opvragen-archief-vergunningen/>
- Grondwatermodellen van het [Nationaal Hydrologisch Instrumentarium](#) NHI.
- Grondwatermetingen in de grote gemeenten:
 - [Amsterdam](#)
 - ['s-Gravenhage](#)
 - [Rotterdam](#)
 - [Utrecht](#)
- Grondwatermetingen van de Provincies:
 - [Utrecht](#)
- [Bodemkaarten](#) van Nederland op 1: 50.000 schaal.
- [Zandbanenkaart](#) van het rivierengebied.
- De [paleomaps app](#) voor Android die de geologische ontwikkeling van Nederland in het Holoceen laat zien.
- [Geotechnische profielen](#) van Deltares (tegen betaling).
- De [inventarisatie van grondwaterputten](#) van RIVM in de grote gemeenten.

3.4 VK3: Globaal ondergrondmodel opstellen

3.4.1 VK 3.1: Maak een kwalitatief langsprofiel

Actie

Identificeer en leg vast waar de kritieke ondergrondfenomenen in het projectgebied kunnen voorkomen. Visualiseer de kritieke ondergrondfenomenen, bijvoorbeeld in een kwalitatief langsprofiel.

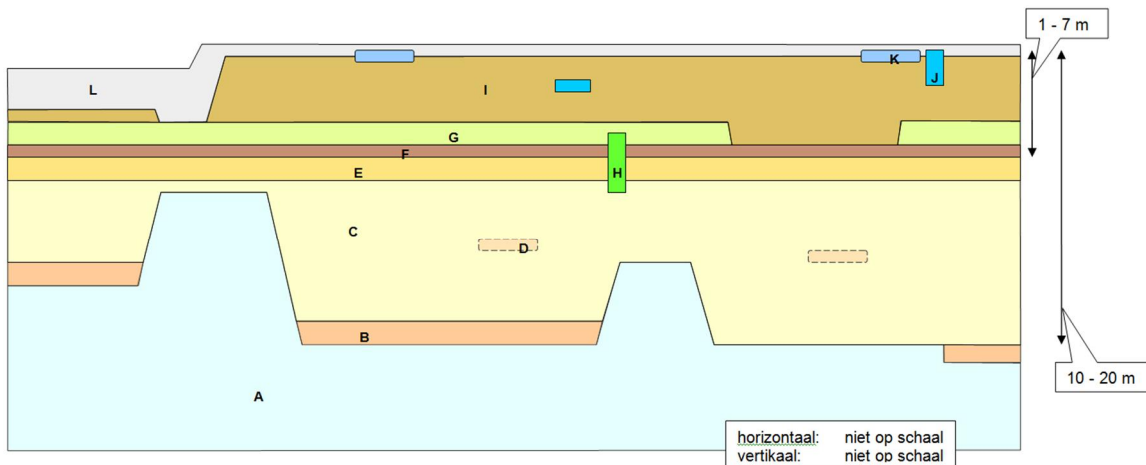
Het verdient sterke aanbeveling de stappen [VK 2.1: Verzamel gegevens voor de toprisico's](#), [VK 3.1: Maak een kwalitatief langsprofiel](#), [VK 3.2: Schat de kansen](#) en [VK 3.3: Maak een gebiedsindeling](#) uit te voeren in overleg tussen geotechnicus en geoloog.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

Voorbeeld

Figuur 3.2 geeft een kwalitatief langsprofiel van de ondergrond langs het tracé van de landtunnel in de pilot A9 Gaasperdammerweg [4].



Figuur 3.2: Kwalitatief langsprofiel met kritieke ondergrondfenomenen voor de aanleg van een halfverdiepte landtunnel, A9 Gaasperdammerweg [4].

Het langsprofiel laat alle kritieke ondergrondfenomenen zien die van belang zijn voor de aanleg van de landtunnel:

- De zandige antropogene laag L, waarin zich mogelijk obstakels bevinden;
- Het bovenste deel van het Holocene pakket, grotendeels bestaande uit veen I, met stroomgordelafzettingen J (zandige klei) en overstromingsdek K (klei). Dit is een zeer samendrukbaar pakket, waarbij de heterogeniteit verschilzettingen kan veroorzaken.
- Getijdeafzettingen G met zandige geulafzettingen H, al of niet in het Pleistoceen ingesneden. Ingesneden geulen kunnen bij doorgraving kortsluiting veroorzaken tussen het oppervlaktewater en het eerste watervoerend pakket.
- Het basisveen F kan dienen als ondiep gelegen afdichtende laag.
- Zandige Pleistocene windafzettingen E en wind- en beekafzettingen C met lenzen van slecht doorlatend materiaal D. Er is geen continue afsluitende laag aanwezig. De afzettingen C kunnen zeer vastgepakt zijn en grindhoudend.
- Smeltwaterafzettingen B bestaande uit vastgepakt zand mogelijk met stenen of blokken die het inbrengen van damwanden kunnen bemoeilijken.
- Gestuwde afzettingen A bestaande uit vastgepakt zand, mogelijk verkit.

3.4.2 VK 3.2: Schat de kansen

Actie

Schat de kans op het voorkomen van de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen, en de kans dat dit leidt tot de ongewenste geotechnische gebeurtenis / mechanisme. [Figuur 3.1](#) geeft een voorbeeld van de indeling in kansklassen.

Het verdient sterke aanbeveling de stappen [VK 2.1: Verzamel gegevens voor de toprisico's](#), [VK 3.1: Maak een kwalitatief langsprofiel](#), [VK 3.2: Schat de kansen](#) en [VK 3.3: Maak een gebiedsindeling](#) uit te voeren in overleg tussen geotechnicus en geoloog.

Voeg de resultaten toe aan de risicolijst.

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- De kans van optreden van de kritieke ondergrondfenomenen voor horizontaal gestuurde (HDD) boringen is te bepalen in het expertsysteem [SoilRisk HDD](#).

- De kans op problemen met [houten paalfunderingen](#) in Rotterdam.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

3.4.3 VK 3.3: Maak een gebiedsindeling

Actie

Maak een indeling van het projectgebied in deelgebieden die homogeen zijn wat betreft laagopbouw of het samen voorkomen van verschillende laagopbouwen die van invloed zijn op het voorkomen van de kritieke ondergrondfenomenen.

Het verdient sterke aanbeveling de stappen [VK 2.1: Verzamel gegevens voor de toprisico's](#), [VK 3.1: Maak een kwalitatief langspoorprofiel](#), [VK 3.2: Schat de kansen](#) en [VK 3.3: Maak een gebiedsindeling](#) uit te voeren in overleg tussen geotechnicus en geoloog.

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- Geomorfologische kaarten geven eenheden in het landschap weer waar de ondergrond op dezelfde manier tot uitdrukking komt aan het oppervlak. Deze eenheden geven vaak een goede indicatie van de deelgebieden. De kaarten zijn tegen betaling verkrijgbaar bij [Wageningen UR](#).
- Deelgebieden kunnen ook worden bepaald door verschillen in menselijk ingrijpen. Kaarten van Nederland in vroeger tijden zijn te vinden op www.watwaswaar.nl.

Voorbeeld

In het linkerdeel van [Figuur 3.2](#) is de antropogene laag L veel dikker dan in het midden en rechts, waar een dik pakket veen I aanwezig is. Dit rechtvaardigt de indeling in twee deelgebieden waar de kritieke ondergrondfenomenen anders zijn, en dus ook de risico's.

3.5 VK4: Globale dimensionering maken

3.5.1 VK 4.1: Voer een globale dimensionering uit

Actie

Voer een globale dimensionering uit; schat haalbaarheid, globale kosten en bandbreedte voor alle uitvoeringsvarianten.

Dit kan gebeuren op grond van ervaring in het gebied, globale berekeningen (het 'bierviltje'), of met behulp van expertsystemen zoals onderstaande instrumenten.

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- Het [Keuzemodel Wegconstructies van CROW](#) helpt de gebruiker met een paar klikken een wegbouwkundig en geotechnisch ontwerp te maken voor een weg op slappe grond.
- Het [Wegen Analyse Model Overgangsconstructies](#) helpt de gebruiker met een paar klikken uitvoeringsvarianten te kiezen voor de aanleg van een landhoofd op slappe grond.
- De zettingskaart van Nederland geeft aan hoeveel zetting optreedt bij ophoging met 1 m zand. De kaart is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

- De invloed van bouwwerkzaamheden op archeologische vindplaatsen is te bepalen met behulp van de publicatie '[De invloed van bouwwerkzaamheden op archeologische vindplaatsen](#)' [11] van de Rijksdienst Cultureel Erfgoed. De publicatie is ook te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

3.6 VK5: Risico evaluatie

3.6.1 VK 5.1: Selecteer uitvoeringsvarianten

Actie

Selecteer uitvoeringsvarianten op grond van haalbaarheid, globale kosten, bandbreedte of andere factoren die van belang zijn.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

3.7 VK6: Overdracht naar de volgende projectfase

3.7.1 VK 6.1: Actualiseer de risicolijst

Actie

Actualiseer de risicolijst voor de geselecteerde uitvoeringsvarianten.

Verwijder uitvoeringsvarianten van de lijst die niet zijn geselecteerd, evenals de bijbehorende risico's.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

3.7.2 VK 6.2: Maak een plan voor aanvullend grondonderzoek

Actie

Als blijkt dat risico's onacceptabel zijn: formuleer een onderbouwd plan voor aanvullend grondonderzoek zodat deze risico's gereduceerd kunnen worden. Inventariseer de analytische en numerieke analysemethoden voor dimensionering van de geotechnische constructie. Het doel van de dimensionering is om de ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen tegen te gaan. Inventariseer de parameters voor de analytische en numerieke analysemethoden.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- Het CUR rapport 247 'Risicogestuurd grondonderzoek' [3] geeft per geotechnische constructie een overzicht van relevante lijst van analytische en numerieke analysemethoden, de benodigde parameters en de methoden van grondonderzoek. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

3.7.3 VK 6.3: Breid het plan voor aanvullend grondonderzoek met geofysische methoden

Actie

Bepaal of geofysisch grondonderzoek sterk wordt aanbevolen en neem dit zo nodig op in het plan. Stel een concept geofysisch model op, om te onderzoeken of de geofysische methode

in principe de mogelijkheid geeft de gewenste resultaten te krijgen. Doe dit in overleg tussen geotechnicus en specialist geofysica, op basis van een voorlopig geschat grondprofiel met geschatte geofysische eigenschappen.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- Het Geo-Impuls rapport 'Geofysische methoden voor geotechnische ingenieurs' [2] geeft aan welke geofysische methoden geschikt kunnen zijn voor het identificeren en karakteriseren van de kritieke ondergrondfenomenen. Ook geeft het rapport aan in welke mate toepassing van geofysische methoden is aan te bevelen. Het rapport is een aanvulling op CUR 247 'Risicogestuurd grondonderzoek' [3]. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

4 Voorlopig Ontwerp fase (VO)

4.1 Welke activiteiten moet ik uitvoeren?

[Tabel 4.1](#) geeft een stappenplan voor het opstellen van een eerste kwantitatief ondergrondmodel, dimensionering, en het opstellen van een plan voor aanvullend grondonderzoek. Gebruik de [blauw onderlijnde hyperlinks](#) in het schema om direct naar een toelichting in de handleiding te navigeren.

Het stappenplan is toegepast in een tweetal Geo-Impuls pilots; de rapporten over de pilots dienen als voorbeeld hoe de stappen in de praktijk zijn uitgevoerd. De Geo-Impuls pilot Julianakanaal [\[5\]](#) gaat over de toepassing van geofysische methoden in het vooronderzoek naar de kaden en de kanaalbodem. De Geo-Impuls pilot 'flankonderzoek A1-A6' [\[6\]](#) betreft de toepassing van geofysische methoden in het definitief onderzoek naar de uitvoeringwijze van een wegverbreding. Beide rapporten zijn te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

Onderdeel	Activiteit	Geo-Impuls pilots
1 Risico inventarisatie en classificatie	1 Verzamel de risicolijst uit de Verkenningfase, beschikbare gegevens en plan voor grondonderzoek → par. 4.2.1	
2 Dataverzameling	1 Voer grondonderzoek uit in veld en laboratorium → par. 4.3.1	
	2 Na geofysisch onderzoek: stel een geofysisch laagmodel op, valideer dit met geotechnisch onderzoek en correleer de geofysische en geotechnische eigenschappen, in overleg tussen geotechnicus en specialist geofysica → par. 4.3.2	Pilot Julianakanaal [5]
3 Ondergrond-model opstellen	1 Stel een gedetailleerde inventarisatie van laagopbouwen en grondwaterhuishouding op, voor eventueel deelgebieden in het projectgebied → par. 4.4.1	
	2 Kies een aantal representatieve rekenprofielen op grond van geometrie van de geotechnische constructie en omgeving → par. 4.4.2	
	3 Bepaal per rekenprofiel een aantal representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's → par. 4.4.3	
	4 Bepaal gemiddelde en spreiding van de grondeigenschappen van de grondlagen in de ondergrondscenario's → par. 4.4.4	
	5 Vul een informatiesysteem met de rekenprofielen, ondergrondscenario's, grondeigenschappen, overige gegevens → par. 4.4.5	

Onderdeel	Activiteit	Geo-Impuls pilots
4 Ontwerp maken	1 Maak voor alle ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen, rekenprofielen en ondergrondscenario's ontwerpberekeningen en weeg de resultaten met de kans van voorkomen van elke scenario. Combineer de resultaten om de ontwerp vraag te beantwoorden (veiligheidsfactor, betrouwbaarheid, bandbreedte, kosten, voldoen aan eis) → par. 4.5.1	
	2 Presenteer de resultaten van de berekeningen in een vorm die de besluitvorming ondersteunt → par. 4.5.2	
5 Risico evaluatie	1 Selecteer ontwerpen die voldoen aan de ontwerp vraag → par. 4.6.1	
6 Overdracht naar de volgende fase	1 Actualiseer de risicolijst aan de hand van alle beschikbare data. Actualiseer risico = kans x gevolg en rangschik de risico's; bepaal de toprisico's → par. 4.7.1	
	2 Overweeg of het zinvol is de Observational Method toe te passen om de onzekerheid in het ondergrondmodel optimaal op te nemen in het ontwerp → par. 4.7.2	
	3 Als blijkt dat risico's onacceptabel zijn, de Observational Method kansrijk is of als er kansen voor optimalisatie zijn: formuleer een onderbouwd advies voor aanvullend onderzoek zodat deze risico's gereduceerd kunnen worden, de mogelijkheden voor toepassing van de Observational Method nader worden onderzocht, of optimalisatie mogelijk is. Stel een plan op voor aanvullend grondonderzoek; bepaal of geofysisch grondonderzoek sterk wordt aanbevolen en neem dit zo nodig op in het plan → par. 4.7.3	Pilot flankonderzoek A1-A6 [6]

Tabel 4.1: Stappenplan voor de Voorlopig Ontwerp fase.

4.2 VO1 Risico inventarisatie en classificatie

4.2.1 VO 1.1: Verzamel gegevens uit de Verkenningfase

Actie

Verzamel de risicolijst uit de Verkenningfase, beschikbare gegevens en plan voor aanvullend grondonderzoek.

Actualiseer zo nodig de risicolijst door opnieuw de gevolgen van het optreden van ongewenste gebeurtenissen te beoordelen. Dit is met name nodig als de risicolijst is overgedragen van opdrachtgever naar opdrachtnemer.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

4.3 VO2 Dataverzameling

4.3.1 VO 2.1: Voer grondonderzoek uit

Actie

Voer grondonderzoek uit in veld en laboratorium, volgens het plan voor aanvullend grondonderzoek.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

4.3.2 VO 2.2: Van geofysisch naar geotechnisch laagmodel

Actie

Het resultaat van onderzoek met geofysische methoden is een lagenmodel met geofysische eigenschappen. Valideer dit model met geotechnisch onderzoek (boringen, sonderingen) en correleer de geofysische en geotechnische eigenschappen, in overleg tussen geotechnicus en specialist geofysica.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- Het Geo-Impuls rapport 'Geofysische methoden voor geotechnische ingenieurs' [2] beschrijft hoe het geofysisch lagenmodel kan worden omgezet naar een geotechnisch model. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

4.4 VO3 Ondergrondmodel opstellen

4.4.1 VO 3.1: Inventiseer laagopbouwen en grondwaterhuishouding

Actie

Stel een gedetailleerde inventarisatie van laagopbouwen en grondwaterhuishouding op, voor eventueel deelgebieden in het projectgebied.

Gebruik hiervoor alle informatie die tot nu toe is verkregen uit archieven en publieke bronnen en het aanvullend grondonderzoek. Ook informatie die niet in de directe invloedssfeer van het project is ingewonnen kan worden gebruikt, zolang deze hetzelfde geologisch homogene deelgebieden betreft als het project (zie stap [VK 3.3: Maak een gebiedsindeling](#)).

Het verdient sterke aanbeveling de stappen [VO 3.1: Inventiseer laagopbouwen en grondwaterhuishouding](#) en [VO 3.3: Bepaal representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's](#) uit te voeren in overleg tussen geotechnicus en geoloog.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- Bijlage [B](#), die een voorbeeld beschrijft van het opstellen van een kwantitatief ondergrondmodel en het maken van een ontwerp daarmee.

4.4.2 VO 3.2: Kies representatieve rekenprofielen

Actie

Kies een aantal representatieve rekenprofielen op grond van geometrie van de geotechnische constructie en omgeving.

De rekenprofielen zijn representatief voor delen van het project waar de geometrie en de omgeving van het project homogeen zijn. Variaties in de ondergrond zijn niet bepalend voor de keus van de rekenprofielen.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

4.4.3 VO 3.3: Bepaal representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's

Actie

Kies per rekenprofiel drie tot vijf representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's (laagopbouwen) uit de gegevens die in stap [VO 3.1: Inventiseer laagopbouwen en grondwaterhuishouding](#) zijn verzameld. Hiertoe schat een ervaren geotechnisch adviseur in welke ondergrond- en grondwaterscenario's het meest voorkomen in dat deel van het project waarvoor het rekenprofiel representatief is. Schat ook de kans van voorkomen van elk scenario. Ook andere onzekerheden kunnen worden weergegeven als scenario, bijvoorbeeld de wijze van opbouw van een bestaande geotechnische constructie die door het project wordt beïnvloed.

Het verdient sterke aanbeveling de stappen [VO 3.1: Inventiseer laagopbouwen en grondwaterhuishouding](#) en [VO 3.3: Bepaal representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's](#) uit te voeren in overleg tussen geotechnicus en geoloog.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- Bijlage [B](#), die een voorbeeld beschrijft van het opstellen van een kwantitatief ondergrondmodel en het maken van een ontwerp daarmee.

4.4.4 VO 3.4: Bepaal gemiddelde en spreiding van de grondeigenschappen

Actie

Bepaal gemiddelde en spreiding van de grondeigenschappen die zijn gemeten in laboratoriumonderzoek op monsters uit de grondlagen in de ondergrondscenario's.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- Het CUR / Delft Cluster rapport '[Van onzekerheid naar betrouwbaarheid](#)' [\[12\]](#) beschrijft de bepaling van gemiddelde en spreiding van grondparameters uit een aantal laboratoriumproeven. Het rapport is ook te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

4.4.5 VO 3.5: Gebruik een informatiesysteem

Actie

Vul een informatiesysteem met de rekenprofielen, ondergrondscenario's, grondeigenschappen en overige gegevens.

Het voordeel van een informatiesysteem is dat taken kunnen worden geautomatiseerd en de verwerking van de resultaten van de berekeningen eenvoudiger en minder foutgevoelig is. Bovendien is archivering en versiebeheer eenvoudiger en geeft het systeem minder risico op verlies van informatie ('kwijtraken' van data).

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

4.5 VO4 Ontwerp maken

4.5.1 VO 4.1: Maak ontwerpberekeningen

Actie

Maak voor alle ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen, rekenprofielen en ondergrondscenario's ontwerpberekeningen en weeg de resultaten met de kans van voorkomen van elke scenario. Combineer de resultaten om de ontwerp vraag te beantwoorden (veiligheidsfactor, betrouwbaarheid, bandbreedte, kosten, voldoen aan eis).

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- Bijlage [B](#) beschrijft een voorbeeld van het opstellen van een kwantitatief ondergrondmodel en het maken van een ontwerp daarmee.
- Het ENW Technisch Rapport 'Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken' [\[10\]](#) beschrijft de methode waarop de faalkans van waterkeringen kan worden berekend. In de methode wordt de betrouwbaarheid van het ondergrondmodel tot uitdrukking gebracht in een schematiseringsfactor. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

4.5.2 VO 4.2: Presenteer de berekeningsresultaten

Actie

Presenteer de resultaten van de berekeningen in een vorm die de besluitvorming ondersteunt.

Dit kan bijvoorbeeld een GIS zijn waarin de berekeningsresultaten in versimpelde vorm op een topografische kaart van de projectlocatie worden afgebeeld.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

Voorbeeld

[Figuur 4.1](#) geeft een voorbeeld van de presentatie van de resultaten van faalkansberekeningen aan een waterkering in het Dijk Analyse Model van Deltares.

Een voorbeeld van interactieve visualisatie van ondergrondthema's kan worden ontleend aan het volgende instrument, dat ook is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model':

- De [UP ondergrondtool](#) helpt beleidsmedewerkers, bestuurders en managers maar ook andere geïnteresseerden, snel inzicht krijgen in ruimtelijk ordeningsvraagstukken die gerelateerd zijn aan de ondergrond.

4.6 VO5 Risico evaluatie

4.6.1 VO 5.1: Selecteer ontwerp

Actie

Selecteer het ontwerp dat voldoet aan de ontwerpvraag.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.



Figuur 4.1: Grafische presentatie van de resultaten van faalkansberekeningen aan een waterkering (bron: Deltares)

Rood = voldoet niet aan de norm; wit = geen oordeel; groen = voldoet aan de norm; grijs = geen berekeningsresultaat

4.7 VO6 Overdracht naar de volgende fase

4.7.1 VO 6.1: Actualiseer de risicolijst

Actie

Actualiseer de risicolijst aan de hand van alle beschikbare data.

Herzie de beoordeling van kansen en gevolgen van de ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen als het ontwerp wordt uitgevoerd. Herbereken risico's, sorteer de risicolijst en stel de toprisico's vast.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

4.7.2 VO 6.2: Overweeg toepassing van de Observational Method

Actie

Overweeg of het zinvol is de Observational Method toe te passen. De Observational Method is een rationele manier om, gegeven de onzekerheden in het ondergrondmodel, een optimaal ontwerp te maken waarbij risico's worden geborgd met monitoring tijdens de uitvoering.

Het ondergrondmodel is in veel gevallen de grootste bron van onzekerheid. De Observational Method helpt dus de betrouwbaarheid van het ondergrondmodel te vergroten.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- De SBRCURNET 'Handreiking Observational Method' [9] geeft een overzicht van mogelijkheden en belemmeringen, ontwerp en projectuitvoering, en beschrijft een aantal praktijkvoorbeelden. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

4.7.3 VO 6.3: Maak een plan voor aanvullend grondonderzoek

Actie

Als blijkt dat risico's onacceptabel zijn, of als er kansen voor optimalisatie zijn: formuleer een onderbouwd plan voor aanvullend onderzoek zodat deze risico's gereduceerd kunnen worden, of optimalisatie mogelijk is. Stel een plan op voor aanvullend grondonderzoek; bepaal of geofysisch grondonderzoek sterk wordt aanbevolen en neem dit zo nodig op in het plan.

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- Het CUR rapport 247 'Risicogestuurd grondonderzoek' [3] geeft per geotechnische constructie een overzicht van relevante lijst van analytische en numerieke analysemethoden, de benodigde parameters en de methoden van grondonderzoek. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.
- Het Geo-Impuls rapport 'Geofysische methoden voor geotechnische ingenieurs' [2] geeft aan welke geofysische methoden geschikt kunnen zijn voor het identificeren en karakteriseren van de kritieke ondergrondfenomenen. Ook geeft het rapport aan in welke mate toepassing van geofysische methoden is aan te bevelen. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

5 Definitief Ontwerp fase (DO)

5.1 Welke activiteiten moet ik uitvoeren?

[Tabel 5.1](#) geeft een stappenplan voor het verfijnen van het kwantitatief ondergrondmodel, optimalisering van het ontwerp, en het opstellen van een plan voor aanvullend grondonderzoek. Gebruik de [blauw onderlijnde hyperlinks](#) in het schema om direct naar een toelichting in de handleiding te navigeren.

Het stappenplan is toegepast in een tweetal Geo-Impuls pilots; de rapporten over de pilots dienen als voorbeeld hoe de stappen in de praktijk zijn uitgevoerd. De Geo-Impuls pilot 'flankonderzoek A1-A6' [\[6\]](#) betreft de toepassing van geofysische methoden in het definitief onderzoek naar de uitvoeringwijze van een wegverbreding. De Geo-Impuls pilot Rivierenland [\[7\],\[8\]](#) betreft de uitbreiding van het bestaande ondergrondmodel van Veiligheid Nederland in Kaart 2 (VKN2) met lokaal onderzoek. Het doel van de pilot is de faalkans als gevolg van piping te verkleinen. Beide rapporten zijn te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

Onderdeel	Activiteit	Geo-Impuls pilots
1 Risico inventarisatie en classificatie	1 Verzamel de risicolijst uit de Voorlopig Ontwerp fase, alle beschikbare data en het plan voor grondonderzoek → par. 5.2.1	Pilot Rivierenland [7],[8]
2 Dataverzameling	1 Voer grondonderzoek uit in veld en laboratorium → par. 5.3.1	Pilot flankonderzoek A1-A6 [6]
	2 Na geofysisch onderzoek: stel een geofysisch laagmodel op, valideer dit met geotechnisch onderzoek en correleer de geofysische en geotechnische eigenschappen, in overleg tussen geotechnicus en specialist geofysica → par. 5.3.2	
3 Ondergrond-model opstellen	1 Actualiseer de representatieve discrete ondergrondscenario's → par. 5.4.1	Pilot Rivierenland [7],[8]
	2 Actualiseer gemiddelde en spreiding van de grondeigenschappen van de grondenlagen in de ondergrondscenario's → par. 5.4.2	
	3 Actualiseer het informatiesysteem met de rekenprofielen, ondergrondscenario's, grondeigenschappen, overige gegevens → par. 5.4.3	

Onderdeel	Activiteit	Geo-Impuls pilots
4 Ontwerp maken	1 Actualiseer en optimaliseer voor alle ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen, rekenprofielen en ondergrondscenario's de ontwerpberekeningen en weeg de resultaten met de kans van voorkomen van elke scenario. Combineer de resultaten om de ontwerpvraag te beantwoorden (veiligheidsfactor, betrouwbaarheid, bandbreedte, kosten, voldoen aan eis) → par. 5.5.1	Pilot Rivierenland [7],[8]
	2 Presenteer de resultaten van de berekeningen in een vorm die de besluitvorming ondersteunt → par. 5.5.2	
5 Risico evaluatie	1 Stel het definitief ontwerp vast → par. 5.6.1	
6 Overdracht naar de volgende fase	1 Actualiseer de risicolijst aan de hand van alle beschikbare data. Actualiseer risico = kans x gevolg en rangschik de risico's → par. 5.7.1	
	2 Bij toepassing van de Observational Method: stel de scenario's vast inclusief schakelmomenten tussen scenario's, te bemeten grootheden met bijbehorende waarschuwings- en interventieniveau's, en maak een plan voor monitoring en besluitvorming tijdens de uitvoering → par. 5.7.2	
	3 Draag de risicolijst, alle data en de ontwerpen over naar de volgende fase → par. 5.7.3	

Tabel 5.1: Stappenplan voor de Definitief Ontwerp fase.

5.2 DO1 Risico inventarisatie en classificatie

5.2.1 DO 1.1: Verzamel gegevens uit de Voorlopig Ontwerp fase

Actie

Verzamel de risicolijst uit de Voorlopig Ontwerp fase, alle beschikbare data en het plan voor grondonderzoek

Actualiseer zo nodig de risicolijst door opnieuw de gevolgen van het optreden van ongewenste gebeurtenissen te beoordelen. Dit is met name nodig als de risicolijst is overgedragen van opdrachtgever naar opdrachtnemer.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

5.3 DO2 Dataverzameling

5.3.1 DO 2.1: Voer grondonderzoek uit

Actie

Voer grondonderzoek uit in veld en laboratorium, volgens het plan voor aanvullend grondonderzoek dat is opgesteld aan het eind van de Voorlopig Ontwerp fase.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

5.3.2 DO 2.2: Van geofysisch naar geotechnisch laagmodel

Actie

Het resultaat van onderzoek met geofysische methoden is een lagenmodel met geofysische eigenschappen. Valideer dit model met geotechnisch onderzoek (boringen, sonderingen) en correleer de geofysische en geotechnische eigenschappen, in overleg tussen geotechnicus en specialist geofysica.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- Het Geo-Impuls rapport 'Geofysische methoden voor geotechnische ingenieurs' [2] beschrijft hoe het geofysisch lagenmodel kan worden omgezet naar een geotechnisch model. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

5.4 DO3: Ondergrondmodel opstellen

5.4.1 DO 3.1: Actualiseer representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's

Actie

Actualiseer de representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's die zijn opgesteld in stap [VO 3.3: Bepaal representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's](#). Gebruik alle informatie die beschikbaar is na het uitvoeren van het grondonderzoek in stap [DO2 Dataverzameling](#).

Het verdient sterke aanbeveling deze stap uit te voeren in overleg tussen geotechnicus en geoloog.

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan:

- Bijlage [B](#), die een voorbeeld beschrijft van het opstellen van een kwantitatief ondergrondmodel en het maken van een ontwerp daarmee.

5.4.2 DO 3.2: Actualiseer gemiddelde en spreiding van de grondeigenschappen

Actie

Actualiseer gemiddelde en spreiding van de grondeigenschappen die zijn gemeten in laboratoriumonderzoek op monsters uit de grondlagen in de ondergrondscenario's.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- Het CUR / Delft Cluster rapport '[Van onzekerheid naar betrouwbaarheid](#)' [12] beschrijft de bepaling van gemiddelde en spreiding van grondparameters uit een aantal laboratoriumproeven. Het rapport is ook te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

5.4.3 DO 3.3: Actualiseer het informatiesysteem

Actie

Actualiseer het informatiesysteem met de rekenprofielen, ondergrondscenario's, grondeigenschappen en overige gegevens.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

5.5 DO4 Ontwerp maken

5.5.1 DO 4.1: Maak ontwerpberekeningen

Actie

Actualiseer en optimaliseer voor alle ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen, rekenprofielen en ondergrondscenario's de ontwerpberekeningen en weeg de resultaten met de kans van voorkomen van elke scenario. Combineer de resultaten om de ontwerp vraag te beantwoorden (veiligheidsfactor, betrouwbaarheid, bandbreedte, kosten, voldoen aan eis).

Instrumenten

Informatie kan worden ontleend aan de volgende instrumenten:

- Bijlage [B](#) beschrijft een voorbeeld van het opstellen van een kwantitatief ondergrondmodel en het maken van een ontwerp daarmee.
- Op [Deltabrain Funderingstechniek](#) zijn tegen betaling uitvoeringsservaringen in te zien van het inbrengen en uittrekken van damwanden, het inbrengen van prefab palen en vibropalen, horizontaal gestuurde boringen en bouwtrillingen. Deze ervaringen helpen bij het optimaliseren van de installatiemethode.
- Op [Deltabrain Funderingstechniek](#) zijn tegen betaling voorspellingen te maken van het de haalbaarheid van het inbrengen van damwanden, prefab palen, vibropalen, en horizontaal gestuurde boringen. De voorspellingen zijn gebaseerd op expertkennis en ervaringen, en helpen bij het optimaliseren van de installatiemethode.
- Het ENW Technisch Rapport 'Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken' [10] beschrijft de methode waarop de faalkans van waterkeringen kan worden berekend. In de methode wordt de betrouwbaarheid van het ondergrondmodel tot uitdrukking gebracht in een schematiseringsfactor. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

5.5.2 DO 4.2: Presenteer de berekeningsresultaten

Actie

Presenteer de resultaten van de berekeningen in een vorm die de besluitvorming ondersteunt.

Dit kan bijvoorbeeld een GIS zijn waarin de berekeningsresultaten in versimpelde vorm op een topografische kaart van de projectlocatie worden afgebeeld.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

5.6 DO5 Risico evaluatie

5.6.1 DO 5.1: Stel het definitief ontwerp vast.

Actie

Selecteer het definitieve ontwerp dat voldoet aan de ontwerpvraag.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

5.7 DO6 Overdracht naar de volgende fase

5.7.1 DO 6.1: Actualiseer de risicolijst

Actie

Actualiseer de risicolijst aan de hand van alle beschikbare data.

Herzie de beoordeling van kansen en gevolgen van de ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen als het ontwerp wordt uitgevoerd. Herbereken risico's, sorteer de risicolijst en stel de toprisico's vast.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

5.7.2 DO 6.2: Bereid toepassing van de Observational Method voor

Actie

Bij toepassing van de Observational Method: stel de scenario's vast inclusief schakel-momenten tussen scenario's, te bemeten grootheden met bijbehorende waarschuwings- en interventieniveau's, en maak een plan voor monitoring en besluitvorming tijdens de uitvoering.

Instrument

Informatie kan worden ontleend aan het volgende instrument:

- De SBRCURNET 'Handreiking Observational Method' [9] geeft een overzicht van mogelijkheden en belemmeringen, ontwerp en projectuitvoering, en beschrijft een aantal praktijkvoorbeelden. Het rapport is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

5.7.3 DO 6.3: Draag alle gegevens over

Actie

Draag de risicolijst, alle data en de ontwerpen over naar de volgende projectfase.

Instrumenten

Er zijn geen instrumenten.

6 Referenties

De meeste literatuur is opgenomen in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

- [1] Van Staveren, M., Litjens, P. (2012). GeoRM: Risicogestuurd werken als eindresultaat van Geo-Impuls. Geotechniek 16 (2012), pp. 14-17.
- [2] Deltares (2014). Geofysische methoden voor geotechnisch ingenieurs. Rapport 1202416-008-GEO-0006-v2.
- [3] CUR (2012). Risico gestuurd grondonderzoek, van planfase tot realisatie - Richtlijn 247.
- [4] Deltares (2014). Pilot A9 Gaasperdammerweg. Rapport 1202416-008-GEO-0005-v2.
- [5] Deltares (2014). Geo-impuls Pilot Julianakanaal – Geofysisch onderzoek kadestabiliteit en kanaalbodem. Rapport 1209346-008-GEO-0001-v2.
- [6] SAAone, Deltares, Fugro (2014). Flankenonderzoek A1-A6 - Pilot geofysische meetmethoden. Rapport SAAone-OGW-RAP-100001.
- [7] Deltares, RoyalHaskoningDHV (2014). Geo-Impuls pilot 'Een dijk van een case'. Powerpoint presentatie.
- [8] RoyalHaskoningDHV (2013). Effecten van aanvullend grondonderzoek op de faalkansen voor piping. Memo LW-AF20131260/OR.
- [9] SBRCURnet (2015). Handreiking Observational Method.
- [10] ENW (2012). Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken. Technisch Rapport.
- [11] Rijksdienst Cultureel Erfgoed (2011). De invloed van bouwwerkzaamheden op archeologische vindplaatsen.
- [12] CUR / Delft Cluster (2008). Van onzekerheid naar betrouwbaarheid. Rapport 2008-1.
- [13] Deltares (2012). Invloed van geotechnische onzekerheid op de bandbreedte in de kostenraming van wegen – KPP 2012 GE1/2 Kwantificering onzekerheden. Rapport 1206079-000-GEO-0006.
- [14] Venmans, A.A.M. (2013). Building with the subsurface for realizing cost-efficient infrastructure. In: Proc. of the 18th Int. Conf. On Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Parijs, pp. 1781-1785.

A Tabel ongewenste geotechnische gebeurtenissen / mechanismen, kritieke ondergrondfenomenen in relatie tot informatiebronnen

Bron	Ongewenste geotechnische gebeurtenis / mechanisme	Kritiek ondergrondfenomeen	Tabel uit CUR 247												Aanvullend			Publiek beschikbare informatiebronnen																Opmerking		
			8 Bouwrijp maken	9 Lijninfra	10 Kleine kunstwerken	11 Bruggen en viaducten	12 Overlaten	13 Sluizen	14 Tunnels en aquaducten	15 Polderconstructies	16 Bouwputten	17 Baggerwerken	18 Steigers	19 Kademuren	20 Leidingen	Stortplaatsen	Afdichtingen van kanaalbodems	Waterkeringen	GeoTOP	REGIS	DINOloket boringen, CPT, peilbuizen	Deltares geotechnische profielen	Zettingskaart	Diktekaart slappe lagen	Actueel Hoogtebestand Nederland AHN	Nationaal Hydrologisch Instrumentarium NHI	Bodemloket	Soilrisk Horizontaal Gestuurde Boringen	Wegen Analyse Model Overgangsconstructies	CROW KeuzeModel	Wegconstructies	Rijksdienst Cultureel Erfgoed zettingskaarten	Archeologische Monumenten en Waarden	Kabels en Leidingen Informatie Centrum (KLIC)		
CUR C247	Eindzettingsgedrag ondergrond verkeerd ingeschat	Dikte en samen-drukbaarheid van slappe lagen, grondwaterstand	x	x							x						x	x			x	x	x	x					x	x						
	Omgevingsbeïnvloeding; deformaties van omliggende constructies	Dikte en stijfheid van slappe lagen	x	x							x						x	x			x	x		x												
	Verstorings door trillingen en geluid (a) bron (b) overdracht	(a) soort geologische formatie, zand met grote pakingsdichtheid, overgeconsolideerd materiaal (b) laagopbouw en stijfheid van lagen tussen bron en object	x	x	x	x	x	x				x		x	x				x		x	x														
	Draagvermogen fundering op staal te laag	Aanwezigheid en sterkte slappe laag onder funderingsniveau				x	x			x									x		x	x														
	Fundering op staal, zakking uit diepere grondlagen onderschat	Dikte en samendrukbaarheid slappe lagen onder funderingsniveau				x	x	x		x									x		x	x														
	(a) fundering op palen draagkracht onvoldoende en/of (b) zakking uit diepere lagen onderschat en/of (c) horizontale gronddeformatie te groot	(a) diepte, pakingsdichtheid en heterogeniteit van draagkrachtige laag, puntniveau in Holocene zanden (b) dikte en samendrukbaarheid van slappe lagen onder funderingsniveau (c) dikte en stijfheid van slappe lagen rond paal					x			x			x	x					x		x	x														

Bron	Ongewenste geotechnische gebeurtenis / mechanisme	Kritiek ondergrondfenomeen	Tabel uit CUR 247												Aanvullend			Publiek beschikbare informatiebronnen															Opmerking				
			8 Bouwrijp maken	9 Lijninfra	10 Kleine kunstwerken	11 Bruggen en viaducten	12 Overlaten	13 Sluizen	14 Tunnels en aquaducten	15 Polderconstructies	16 Bouwputten	17 Baggerwerken	18 Steigers	19 Kademuren	20 Leidingen	Stortplaatsen	Afdichtingen van kanaalbodems	Waterkeringen	GeoTOP	REGIS	DINloket boringen, CPT, peilbuizen	Deltares geotechnische profielen	Zettingskaart	Diktekaart slappe lagen	Actueel Hoogtebestand Nederland AHN	Nationaal Hydrologisch Instrumentarium NHI	Bodemloket	Soilrisk Horizontaal Gestuurde Boringen	Wegen Analyse Model	Overgangsconstructies	CROW KeuzeModel	Wegconstructies	Rijksdienst Cultureel Erfgoed zettingskaarten	Archeologische Monumenten en Waarden	Kabels en Leidingen Informatie Centrum (KLIC)		
	Vervorming grondkerende constructie te groot	Laagopbouw, stijfheid								x							x	x		x	x		x														
	Grondkerende constructie, dynamische grondweerstand te hoog	Dikte en pakkingsdichtheid van zandlagen, aanwezigheid grind of keien, overgeconsolideerd materiaal																x		x	x																
	Bemalingsdebiet te hoog door slechte natuurlijke onderafdichting (niet als gevolg van opbarsten van bouwputbodem)	Dikte, zandgehalte, diepteligging, continuïteit en doorlatendheid van lagen die een natuurlijke afdichting vormen, doorlatendheid zand, grondwaterdruk																x	x	x	x		x														
	Grondbreuk	Laagopbouw, sterkte																x		x	x																
	Draagkracht ondergrond overschreden	Diepte, pakkingsdichtheid en heterogeniteit van draagkrachtige laag																x		x	x																
	Opbarsten bouwput	Laagopbouw, volumegewicht, doorlatendheid, grondwaterdruk																x	x	x	x		x		x												
	Slib of veeninsluiting in onderwaterbetonvloer	Aanwezigheid van veen of siltlagen ter diepte van vloer																x		x	x		x														
	Stabiliteitsverlies (talud, kade, grondkerende constructie)	Laagopbouw, sterkte, doorlatendheid, peil oppervlaktewater, grondwaterdruk																x	x		x	x		x													
Onderloopsheid, achterloopsheid, piping	Aanwezigheid van lokale zandlagen, korrelgrootte, doorlatendheid, peil oppervlaktewater, grondwaterdruk																x	x		x	x		x	x	x												

Bron	Ongewenste geotechnische gebeurtenis / mechanisme	Kritiek ondergrondfenomeen	Tabel uit CUR 247														Aanvullend			Publiek beschikbare informatiebronnen																Opmerking
			8 Bouwrijp maken	9 Lijninfra	10 Kleine kunstwerken	11 Bruggen en viaducten	12 Overlatten	13 Sluizen	14 Tunnels en aquaducten	15 Polderconstructies	16 Bouwputten	17 Baggerwerken	18 Steigers	19 Kademuren	20 Leidingen	Stortplaatsen	Afdichtingen van kanaalbodems	Waterkeringen	GeoTOP	REGIS	DINOloket boringen, CPT, peilbuizen	Deltares geotechnische profielen	Zettingskaart	Diktekaart slappe lagen	Actueel Hoogtebestand Nederland AHN	Nationaal Hydrologisch Instrumentarium NHI	Bodemloket	Solirisk Horizontaal Gestuurde Boringen	Wegen Analyse Model	Overgangsconstructies	CROW keuzeModel	Wegconstructies	Rijksdienst Cultureel Erfgoed zettingskaarten	Archeologische Monumenten en Waarden	Kabels en Leidingen Informatie Centrum (KLIC)	
	Gronddrukken te hoog of te laag in tunnelwand of front	Laagopbouw, sterkte, stijfheid, aanwezigheid overgeconsolideerde grond, grondwaterdruk						x										x		x	x				x											
	Waterdruk onder folie te hoog	Laagopbouw, volumegewicht, doorlatendheid, grondwaterdruk							x											x					x											
	Zettingsvloeiing	Dikte en pakkingsdichtheid van zand						x	x								x	x		x	x															
	Kleilaag te ondiep, waterdichtheid van kleilaag onvoldoende	Dikte, zandgehalte, diepteligging, continuïteit en doorlatendheid, grondwaterdruk							x	x					x			x	x	x	x		x		x											
	Volumegewicht grondlagen boven klei te laag	Laagopbouw, volumegewicht, grondwaterdruk							x	x								x		x	x				x											
	Injectielaag te ondiep of onvoldoende waterdicht (grout of chemische injectie)	Heterogeniteit van laag die wordt geïnjecteerd, korrelgrootte, doorlatendheid, grondwaterdruk								x	x								x	x	x	x		x		x										
	Baggerwerken: kwaliteit en/of hoeveelheid materiaal wingebied minder dan verwacht	Dikte en soort materiaal, heterogeniteit van de te winnen laag, korrelgrootte, kleigehalte van te winnen zand									x								x		x	x														
	Draagvermogen palen te hoog of te laag, inklemming niet voldoende	Diepte, pakkingsdichtheid en heterogeniteit van draagkrachtige laag										x							x		x	x														

Bron	Ongewenste geotechnische gebeurtenis / mechanisme	Kritiek ondergrondfenomeen	Tabel uit CUR 247																Aanvullend			Publiek beschikbare informatiebronnen																Opmerking
			8 Bouwrijp maken	9 Lijninfra	10 Kleine kunstwerken	11 Bruggen en viaducten	12 Overlaten	13 Sluizen	14 Tunnels en aquaducten	15 Polderconstructies	16 Bouwputten	17 Baggerwerken	18 Steigers	19 Kademuren	20 Leidingen	Stortplaatsen	Afdichtingen van kanaalbodems	Waterkeringen	GeoTOP	REGIS	DINOloket boringen, CPT, peilbuizen	Deltares geotechnische profielen	Zettingskaart	Diktekaart slappe lagen	Actueel Hoogtebestand Nederland AHN	Nationaal Hydrologisch Instrumentarium NHI	Bodemloket	Soilrisk Horizontaal Gestuurde Boringen	Wegen Analyse Model	Overgangsconstructies	CROW KeuzeModel	Wegconstructies	Rijksdienst Cultureel Erfgoed	Zettingskaarten	Archeologische Monumenten en Waarden	Kabels en Leidingen Informatie Centrum (KLIC)		
	Onvoldoende rekening gehouden met ontgroning (onder water)	Dikte, korrelgrootte en pakkingsdichtheid van zand en silt water)										x					x	x		x	x																	
	Diverse grondrisico's gerelateerd aan microtunneling	Laagopbouw, grondsoort, aanwezigheid grind en keien, zwellende klei, overgeconsolideerd materiaal, dichtgepakt zand												x				x		x	x																	
	Diverse grondrisico's gerelateerd aan HDD	Laagopbouw, grondsoort; aanwezigheid grof zand, grind of keien, zwellende klei, overgeconsolideerd materiaal, dichtgepakt zand												x				x		x	x						x											
	Degeneratie boorspoeling of smeervloeistof bij HDD of microtunneling	Zoutgehalte van grondwater													x					x								x										
aanvullend	Verschilzetting verkeerd ingeschat	Laagopbouw, heterogeniteit, samendrukbaarheid, begraven zandbanen, oude voorbelastingen	x	x														x		x	x	x	x	x														
	Verschilzetting verkeerd ingeschat bij wegverbredingen	Dikte en samendrukbaarheid van slappe lagen onder en naast bestaande aardebaan			x													x		x	x	x	x															
	Verschilzetting verkeerd ingeschat	Aanwezigheid van gedempte sloten en watergangen	x	x							x							x		x	x	x	x	x														

Bron	Ongewenste geotechnische gebeurtenis / mechanisme	Kritiek ondergrondfenomeen	Tabel uit CUR 247																Aanvullend			Publiek beschikbare informatiebronnen																Opmerking
			8 Bouwrijp maken	9 Lijninfra	10 Kleine kunstwerken	11 Bruggen en viaducten	12 Overlaten	13 Sluizen	14 Tunnels en aquaducten	15 Polderconstructies	16 Bouwputten	17 Baggerwerken	18 Steigers	19 Kademuren	20 Leidingen	Stortplaatsen	Afdichtingen van kanaalbodems	Waterkeringen	GeoTOP	REGIS	DIN-loket boringen, CPT, peilbuizen	Deltares geotechnische profielen	Zettingskaart	Diktekaart slappe lagen	Actueel Hoogtebestand Nederland AHN	Nationaal Hydrologisch Instrumentarium NHI	Bodemloket	Soilrisk Horizontaal Gestuurde Boringen	Wegen Analyse Model	Overgangsconstructies	CROW KeuzeModel	Wegconstructies	Rijksdienst Cultureel Erfgoed zettingskaarten	Archeologische Monumenten en Waarden	Kabels en Leidingen Informatie Centrum (KLIC)			
	Kortsluiting tussen oppervlaktewater en eerste watervoerend pakket door te diep gezette drains	Aanwezigheid van Holocene zandlagen, begraven zandbanen die in contact staan met eerste watervoerend pakket, rivierduinen	x	x							x							x	x	x	x		x		x													
	Drooglegging onvoldoende	Grondwaterstand in natuurlijke ondergrond of aardebaan	x	x							x								x	x			x		x													
	Omgevingsbeïnvloeding; deformaties van kabels, leidingen, rioleringen	Dikte en stijfheid slappe lagen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x		x	x		x										x	Grootste risico: incomplete / onjuiste informatie over aanwezigheid en ligging van kabels, leidingen en rioleringen				
	Risico's gerelateerd aan stortplaats: verontreinigingen	Aanwezigheid verontreinigingen, opbouw, doorlatendheid en waterverdeling in de stortplaats													x				x	x		x				x												
	Risico's gerelateerd aan stortplaats: verschilzetting	Opbouw, heterogeniteit, en samendrukbaarheid stortmateriaal													x				x	x		x	x															
	Beschadiging van archeologische resten	Dikte en samendrukbaarheid van slappe lagen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x			x	x									x	x						
	Aanwezigheid obstakels in ondergrond	Aanwezigheid grind en keien, boomstronken in veen, door de mens ingebrachte obstakels	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x			x	x												x				

Bron	Ongewenste geotechnische gebeurtenis / mechanisme	Kritiek ondergrondfenomeen	Tabel uit CUR 247												Aanvullend			Publiek beschikbare informatiebronnen															Opmerking				
			8 Bouwrijp maken	9 Lijninfra	10 Kleine kunstwerken	11 Bruggen en viaducten	12 Overlaten	13 Sluizen	14 Tunnels en aquaducten	15 Polderconstructies	16 Bouwputten	17 Baggerwerken	18 Steigers	19 Kademuren	20 Leidingen	Stortplaatsen	Afdichtingen van kanaalbodems	Waterkeringen	GeoTOP	REGIS	DINOloket boringen, CPT, peilbuizen	Deltares geotechnische profielen	Zettingskaart	Diktekaart slappe lagen	Actueel Hoogtebestand Nederland AHN	Nationaal Hydrologisch Instrumentarium NHI	Bodemloket	Soilrisk Horizontaal Gestuurde Boringen	Wegen Analyse Model	Overgangsconstructies	CROW KeuzeModel	Wegconstructies	Rijksdienst Cultureel Erfgoed zettingskaarten	Archeologische Monumenten en Waarden	Kabels en Leidingen Informatie Centrum (KLIC)		
	Funderingselementen komen niet op diepte	Gestuwde afzettingen, overgeconsolideerde afzettingen				x		x	x		x							x		x	x						x										
	Afsluitende folie is lek	Aanwezigheid van houtresten, grind of keien								x	x							x		x	x																
	Verspreiding van verontreinigd percolaat naar de omgeving	Aanwezigheid verontreinigingen, doorlatendheid afdichtende voorzieningen, dikte en doorlatendheid onderliggende zandlagen, grondwaterstroming rond stortplaats													x			x	x	x	x					x										Zie ook de website van het Expertise Centrum Bodem	
	Integriteit van afdichtende voorzieningen op lange termijn is onvoldoende	Opbouw, heterogeniteit, en samendrukbaarheid stortmateriaal													x																						
	Lekkage uit kanalen en boezems	Dikte en doorlatendheid afdichtende lagen, dikte en doorlatendheid onderliggende zandlagen, grondwaterstroming										x					x	x	x		x	x					x										
	Erosie van taluds	Dikte, zandgehalte en erosiebestendigheid van beschermende lagen, aanwezigheid en soort vegetatie, mate van aantasting door gravende dieren																x			x																Zie ENW voor richtlijnen

B Voorbeeld van het opstellen van een kwantitatief ondergrondmodel

Dit voorbeeld betreft een de aanleg van een weg in het gebied rond vliegveld Zestienhoven in Rotterdam (Figuur B.1). Het voorbeeld is gebaseerd op het rapport 'Invloed van geotechnische onzekerheid op de bandbreedte in de kostenraming van wegen' [13]. Het rapport is niet openbaar. Het artikel 'Building with the subsurface for realizing cost-efficient infrastructure' [14] beschrijft ditzelfde voorbeeld, maar met een meer complexe wijze van ondergrond modellering en meerdere uitvoeringsvarianten. Dit artikel is te vinden in de 'bundel betrouwbaar ondergrond model' via www.geoimpuls.org.

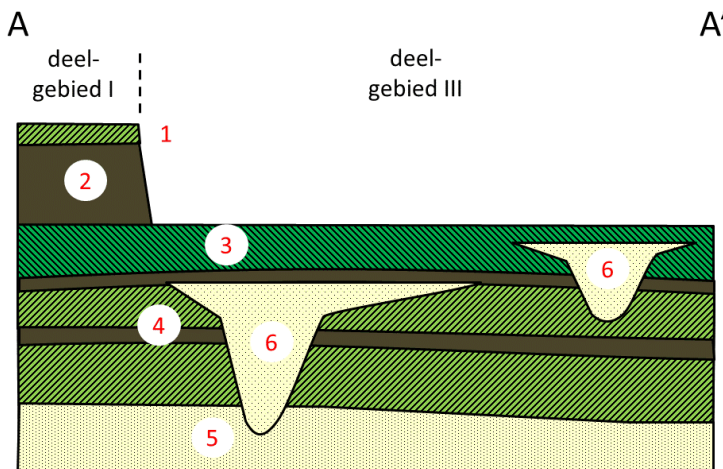


Figuur B.1: Situatie van case study rond vliegveld Zestienhoven in Rotterdam, met deelgebieden (rood, I tot en met III) en de locatie van profiel A-A' in [Figuur B.2](#).

De grondslag in het gebied bestaat uit ca. 15 m slappe lagen. De ontwerpvrage is hoe groot de levenscycluskosten van de weg en de bandbreedte daarin zijn. Als uitvoeringsvariant is in stap [VK 1.3: Bepaal de uitvoeringsvarianten](#) gekozen voor een traditionele ophoging in zand met tijdelijke overhoogte met toepassing van verticale kunststofdrains, met een bouwtijd van 1 jaar.

B.1 Stap VO 3.1: Inventiseer laagopbouwen en grondwaterhuishouding

In stap [VK 2.1: Verzamel gegevens voor de topisico's](#) zijn uit [DINOloket](#) gegevens van 76 boringen, 96 sonderingen en 10 peilbuizen in het hele gebied verzameld. Op basis van deze gegevens is in stap [VK 1.5: Inventariseer wat de mogelijke kritieke ondergrondfenomenen zijn](#) een kwalitatief ondergrondprofiel gemaakt dat toont welke ondergrondfenomenen van invloed zijn op ongewenste geotechnische gebeurtenissen ([Figuur B.2](#)).



Figuur B.2: Kwalitatieve visualisatie van geologische laagopbouw en relevante ondergrond-fenomenen. [Tabel B.1](#) beschrijft de bijbehorende ongewenste geotechnische gebeurtenissen.

Geologische formatie	Ongewenste geotechnische gebeurtenis
1. Kleidek / antropogene afzettingen	<ul style="list-style-type: none"> Verschilzettingen door oude voorbelastingen en begraven zandgeulen Grote (rest)zettingen
2. Veen	<ul style="list-style-type: none"> Grote (rest)zettingen
3. Wadafzettingen: zand, silt, klei met veenlagen / antropogene afzettingen	<ul style="list-style-type: none"> Verschilzettingen door oude voorbelastingen en begraven zandgeulen Grote (rest)zettingen
4. Rivierafzettingen: zand, silt, klei met veenlagen	<ul style="list-style-type: none"> Verschilzettingen door begraven zandgeulen Grote (rest)zettingen
5. Pleistocene rivierafzettingen: zand	<ul style="list-style-type: none"> Zoute kwel
6. Begraven geulen: zand, silt	<ul style="list-style-type: none"> Verschilzettingen Zoute kwel door insnijding in Pleistocene afzettingen

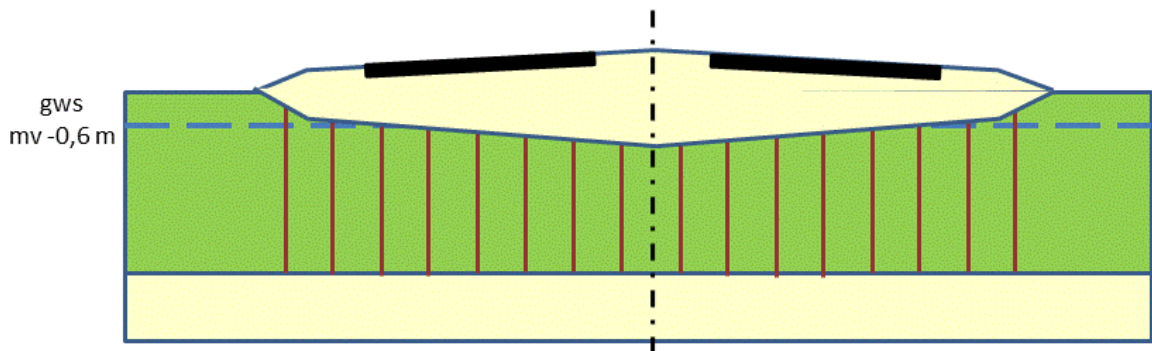
Tabel B.1: Ongewenste geotechnische gebeurtenissen voor de kwalitatieve visualisatie in [Figuur B.2](#).

In stap [VK 3.3: Maak een gebiedsindeling](#) is een gebiedsindeling gemaakt op grond van duidelijk verschillen in grondopbouw. De gebiedsindeling is aangegeven in [Figuur B.1](#). Het tracé van de weg doorsnijdt de gebieden I en III. In gebied I is vlak onder het maaiveld een veenlaag aanwezig, die in gebied III is weggegraven.

B.2 Stap VO 3.2: Kies representatieve rekenprofielen

De rest van dit voorbeeld betreft de wegaanleg in gebied III, het gebied zonder veenlaag vlak onder het maaiveld.

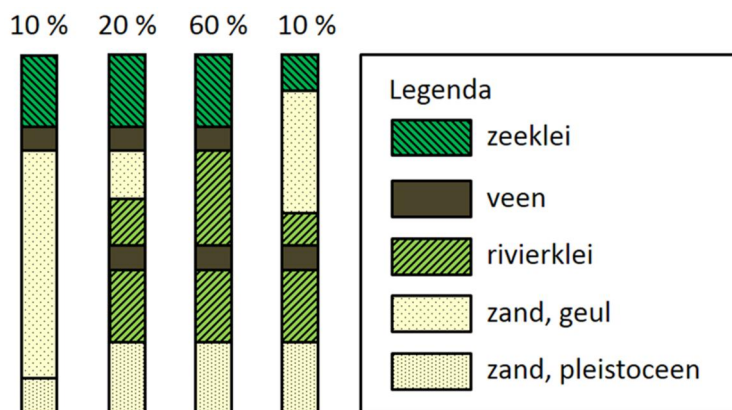
[Figuur B.3](#) geeft een representatief profiel van de weg voor de ontwerpberekeningen.



Figuur B.3: Dwarsdoorsnede van de weg gebouwd volgens traditionele methode met zand, verticale kunststofdrains en tijdelijke overhoogte.

B.3 Stap VO 3.3: Bepaal representatieve discrete ondergrond- en grondwaterscenario's

Een ervaren geotechnicus heeft uit het beschikbare grondonderzoek de vier representatieve discrete ondergrondscenario's gekozen die zijn gegeven in [Figuur B.4](#). De grondwaterhuishouding is hetzelfde in alle vier scenario's.



Figuur B.4: Ondergrondscenario's voor gebied III uit [Figuur B.2](#), met de kans van voorkomen.

B.4 Stap VO 3.4: Bepaal gemiddelde en spreiding van de grondeigenschappen

Uit lokaal beschikbaar grondonderzoek zijn gemiddelde en standaardafwijking bepaald van volumegewicht, samendrukkingsconstanten en consolidatiecoëfficiënten van de grondsoorten in de ondergrondscenario's uit [Figuur B.4](#). Ook zijn correlatiecoëfficiënten tussen grondeigenschappen bepaald omdat er onderlinge correlaties zijn tussen bijvoorbeeld volumegewicht en samendrukkingsconstanten.

B.5 Stap VO 3.5: Gebruik een informatiesysteem

Als informatiesysteem zijn databases met grond- en geometriegegevens van de M-serie (tegenwoordig D-serie) software van Deltares gebruikt.

B.6 Stap VO 4.1: Maak ontwerpberoeeningen

De ontwerpberoeeningen voor de traditionele bouwmethode zijn uitgevoerd met de toepassing MRoad. MRoad is een schil om M-serie software van Deltares. MRoad stuurt databases met grondgegevens, geometriegegevens en de zettingsberoeeningen aan en berekent de levenscycluskosten van de weg.

Het ontwerp bestaat uit de volgende stappen:

- a. Bepaal voor elk ondergrondscenario's hoe groot de invloed is van de eigenschappen van de grondlagen in het scenario op de levenscycluskosten. Dit kan gebeuren door de grondeigenschappen één voor één te variëren om hun gemiddelde waarde en het effect op de levenscycluskosten te berekenen. Deze methode staat bekend als de perturbatiemethode.

De bandbreedte van de levenscycluskosten blijkt het sterkst te worden bepaald door de spreiding in de samendrukkingsconstanten en de consolidatiecoëfficiënt van de slappe lagen.

- b. Bepaal voor elk ondergrondscenario de gemiddelde levenscycluskosten van de weg en de bandbreedte in de levenscycluskosten. De gemiddelde levenscycluskosten zijn de kosten die worden berekend op grond van de gemiddelde waarden van de grondeigenschappen in het ondergrondscenario. De bandbreedte is direct afhankelijk van de standaardafwijking van de levenscycluskosten. Deze standaardafwijking kan worden bepaald door middel van de gelineariseerde First Order Second Moment (FOSM) methode:

$$S_{K;sc} = \sqrt{\sum_i^n \sum_j^n r_{ij} \left(\frac{\partial K}{\partial X_i} \right) \left(\frac{\partial K}{\partial X_j} \right) S_{X_i} S_{X_j}}$$

Waarin:

$S_{K;sc}$	= standaardafwijking van de levenscycluskosten van het ondergrondscenario
n	= aantal grondeigenschappen in het ondergrondscenario
r_{ij}	= correlatiecoëfficiënt tussen de grondeigenschappen X_i en X_j in het ondergrondscenario
$\partial K / \partial X_i$	= verandering van de levenscycluskosten als gevolg van kleine veranderingen in de grondeigenschap X_i ; gevoeligheid van de kosten voor grondeigenschap X_i
$\partial K / \partial X_j$	= verandering van de levenscycluskosten als gevolg van kleine veranderingen in de grondeigenschap X_j ; gevoeligheid van de kosten voor grondeigenschap X_j
S_{X_i}	= standaardafwijking van grondeigenschap X_i
S_{X_j}	= standaardafwijking van grondeigenschap X_j

- c. Bepaal voor het hele deelgebied de gemiddelde levenscycluskosten van de weg en de bandbreedte in de levenscycluskosten. De gemiddelde levenscycluskosten worden bepaald uit:

$$K_{gem;geb} = \sum_i^4 f_i K_{gem;sc;i}$$

Waarin:

$K_{gem;geb}$	= gemiddelde levenscycluskosten van de weg in het gebied
f_i	= kans van voorkomen van scenario i in het gebied
$K_{gem;sc;i}$	= gemiddelde levenscycluskosten van de weg in scenario i

De bandbreedte van de gemiddelde levenscycluskosten in het gebied is direct afhankelijk van de standaardafwijking van de levenscycluskosten. Deze standaardafwijking kan worden bepaald volgens:

$$s_{K;geb} = \sqrt{\frac{L_{var}}{L_{weg}} \sum_i^4 f_i^2 s_{K;sc;i}^2}$$

Waarin:

- $s_{K;geb}$ = standaardafwijking van de gemiddelde levenscycluskosten van de weg in het gebied
- L_{var} = afstand waarover de ondergrond van scenario verandert; uit de analyse van het grondonderzoek blijkt deze afstand hier ca. 50 m te bedragen
- L_{weg} = lengte van de weg in het gebied
- f_i = kans van voorkomen van scenario i in het gebied
- $s_{K;sc;i}$ = standaardafwijking van de gemiddelde levenscycluskosten van de weg in scenario i

In dit geval treedt uitmiddeling van de spreiding in de levenscycluskosten op omdat het wegtracé bestaat uit een aantal L_{weg}/L_{var} onafhankelijke segmenten waarvan de levenscycluskosten worden opgeteld.