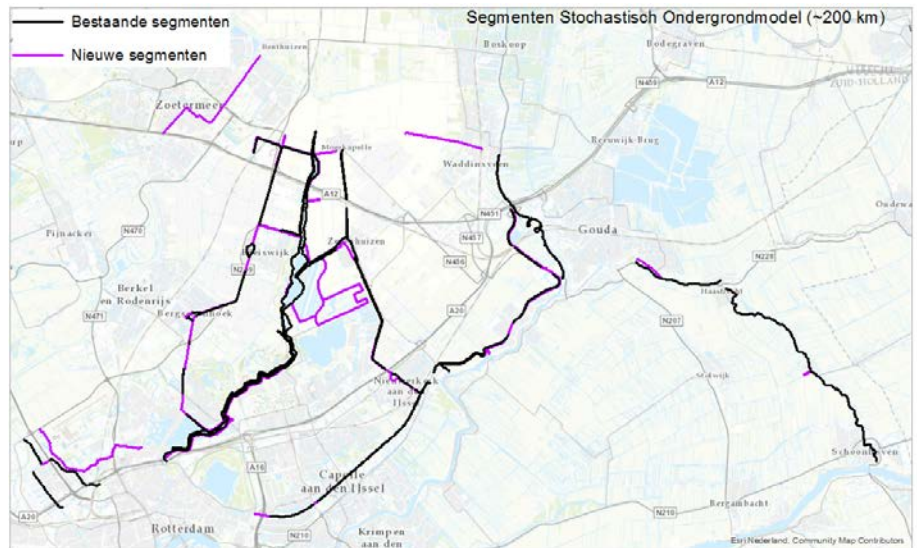


Stochastisch ondergrondmodel voor regionale keringen

Een stochastisch ondergrondmodel helpt inzicht te krijgen in de geologische variatie van de grondlagen. Dit is nuttig bij het vaststellen van de sterkte van dijken. Het Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard (HHSK) heeft hier positieve ervaring mee opgedaan.

HHSK is in 2017 gestart met de tweede toetsronde van de regionale waterkeringen. De toetsing van de keringen wordt deels uitgevoerd met de dijksterkteanalysemodule (DAM), een softwarepakket om aan de stabiliteit van keringen te rekenen. Een belangrijk onderdeel van de invoer voor dit rekenpakket is een ondergrondmodel. HHSK maakt hierbij gebruik van een stochastische ondergrond schematisatie (SOS) die in de eerste toetsronde door Deltares was opgesteld. Een SOS beschrijft welke grondopbouw in een bepaalde strekking (segment) kan worden verwacht gezien de geologie en het beschikbare grondonderzoek. Voor iedere strekking worden scenario's van de ondergrondopbouw gemaakt, waaraan een kans van voorkomen wordt toegekend. Door te rekenen met scenario's en deze te visualiseren worden de onzekerheden in de ondergrond op een duidelijke wijze inzichtelijk. HHSK en Crux Engineering hebben, in samenwerking met Deltares, het ondergrondmodel uit de eerste toetsronde geactualiseerd en uitgebreid.



Segmenten toetsing regionale keringen HHSK.

Geologische deelgebieden

In het beheergebied van HHSK liggen ruim 200 km te toetsen regionale keringen. Dit zijn door de provincie Zuid-Holland genormeerde boezemkades, bijvoorbeeld langs de Rotte en de Zuidplaspolder, maar ook niet-genormeerde keringen die voor de waterveiligheid van belang zijn, zoals langs vliegveld Zestienhoven en waterberging de Eendragtspolder.

De opbouw van de ondergrond is bij toetsing van waterkeringen een bepalende factor voor de sterkte en stabiliteit van de waterkering. Het beheergebied van HHSK kent veel variatie. Veenpakketten worden doorsneden door kleiige en zandige sedimenten die in oude riviergeulen zijn afgezet. En ook de invloed van de zee is in de ondergrond terug te vinden in de afzettingen van kreken, kwelders en zandplaten. Dit levert grofweg zeven geologische deelgebieden op, waarbij naar het westen de afzettingen vanuit zee en naar het oosten de afzettingen van de rivieren domineren.

Om lokale variatie te dekken, zijn de te toetsen strekkingen in segmenten opgedeeld met variërende lengte van maximaal drie kilometer. In totaal omvatten de zeven deelgebieden 179 segmenten. Hiervan was voor honderd segmenten al een globaal ondergrondmodel gemaakt in de eerste toetsronde. 79 segmenten zijn nieuw.

Grondlagen

Voor de beoordeling van primaire keringen is in het kader van de eerste beoordelingsronde een landelijk stochastisch ondergrondmodel (WBI-SOS) gemaakt. De beschrijving van afzettingen en bijbehorende codering voor grondlagen is ook goed bruikbaar voor de regionale keringen.

Op basis van de WBI-SOS codering, de regionale proevenverzameling van HHSK en de geologische beschrijving van het gebied zijn zeven kenmerkende grondlagen geïdentificeerd: humeuze, siltige en zandige klei, Basisveen, Hollandveen, zand en antropogeen dijksmateriaal. Hierbij zijn grondlagen van dezelfde geologische afzettingen en zelfde sterkte-eigenschappen gebundeld. Vervolgens is ieder scenario in het ondergrondmodel uit een combinatie van deze zeven grondlagen opgebouwd. In een scenario wordt de ondergrond eendimensionaal geschematiseerd. Er wordt geen onderscheid gemaakt in het grondprofiel onder de buitenzijde, kruin en de binnenzijde van de waterkering. De laag-scheidingen zijn bepaald op basis van beschikbaar grondonderzoek uit het archief van HHSK en DINOloket. Ook is gebruikgemaakt van het Actuele Hoogtebestand Nederland en de stroombanenkaarten van de Universiteit Utrecht om bijvoorbeeld de ligging van oude geulen te identificeren.

IN 'T KORT - SOS

Een stochastisch ondergrondmodel helpt inzicht te krijgen in grondlagen

SOS beschrijft welke grondopbouw in een bepaald segment kan worden verwacht

In het beheergebied van HHSK liggen 200 km te toetsen regionale keringen

De ondergrond is bij toetsing van waterkeringen een bepalende factor

Scenario's

Binnen de al bestaande scenario's uit de eerste toetsronde was veel optimalisatie mogelijk. Een segment telde soms zeventig scenario's die vanwege dubbelingen in grondopbouw, minimale kans van voorkomen (<0,1 procent). Op basis van nieuw grondonderzoek kon het aantal scenario's aanzienlijk worden verminderd. Een belangrijke eerste stap was daarom het 'opschonen' van de bestaande scenario's. Waar mogelijk werd op basis van de diepteligging van de maatgevende glijcirkels uit de vorige toetsronde een uniforme aanzet van het Pleistocene zand in de scenario's aangehouden. Zodra een scenario in een segment wordt verwijderd, moeten de kansen op voorkomen worden aangepast. De som van de kans van voorkomen van alle scenario's in een segment moet immers altijd 100 procent zijn. De kansen van voorkomen van de verwijderde scenario's zijn daarom opgeteld bij de resterende representatieve scenario's. Voor strekkingen waar vanuit de eerste toetsronde geen ondergrondmodel was, zijn nieuwe segmenten en scenario's gemaakt. Ook hier is het beschikbare grondonderzoek gebruikt om de grenzen van de nieuwe segmenten en de opbouw en kans op voorkomen van de scenario's te bepalen. Een uitgangspunt was dat er minimaal drie boringen of sonderingen aanwezig moeten zijn binnen een afstand van 50 m tot de waterkering om scenario's te kunnen maken. Ook moeten de sonderingen tot minimaal in het pleistocene zijn uitgevoerd om het gehele Holocene pakket te kunnen beschrijven.

Ontwikkelde tools

De grote hoeveelheid scenario's (soms zeventig per segment) en beschikbaar grondonderzoek vroegen om een efficiënte en

niveau	lagen per niveau	code	laag verdeling	WBI-SOS code	bk [NAP .m]	CPT2	CPT7	CPT8	CPT10	P(laag I)	ΣP(level)				
1	3	1.1	3	H_Aa_k	+10,0	I				0,25	1,00				
				H_Vhv_v	-2,0										
		H_Mp_k	-4,5												
	1.2	2	H_Aa_k	+10,0	I							I		0,50	
			H_Vhv_v	-2											
	1.3	1	H_Aa_k	+10,0									I	0,25	
2	3	2.1	2	H_Mp_k	-4,5		I	I		0,50	1,00				
				H_Rk_k	-7,0										
		2.2	2	H_Mp_k	-4,5									I	0,25
				H_Vhv_v	-10,5										
		2.3	2	H_Mp_k	-4,5							I			0,25
				H_Rk_k	-7,0										
3	2	3.1	1	P_Rg_zm	-11,0	I	I	I		0,75	1,00				
				H_Rk_ko	-11,0										
		3.2	3	H_Vbv_v	-14,0									I	0,25
				P_Rg_zm	-14,5										

Voorbeeld van bepalen van kans van voorkomen van een grondlaag in een segment.

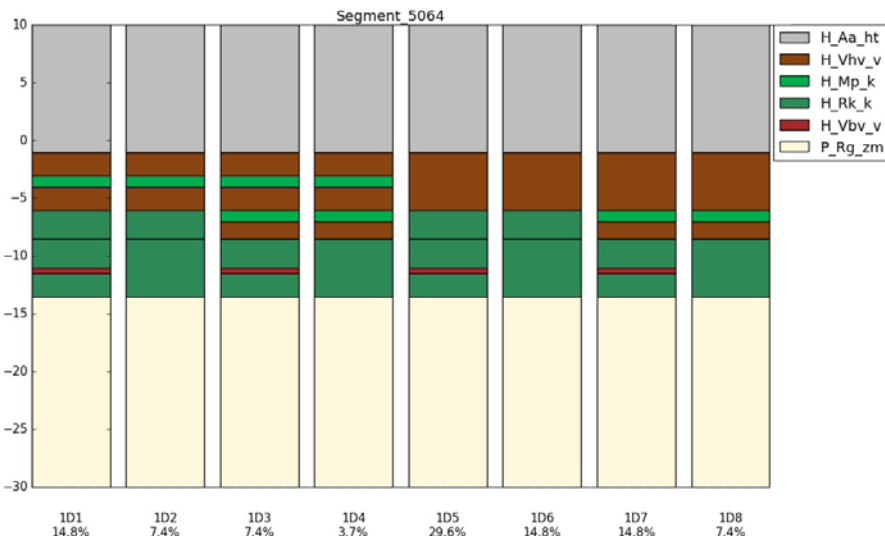
overzichtelijke manier van werken. Voor het relatief snel en eenduidig interpreteren van sonderingen en het opstellen van scenario's heeft Crux tools ontwikkeld. Een tool voor de automatische interpretatie van sonderingen bepaalt de aanwezige grondlagen op basis van de conusweerstand, wrijvingsgetal en de diepteligging. De grenzen van de conusweerstand en wrijvingsgetal zijn gedefinieerd volgens de WBI-SOS eenheden en het vergelijken van de sonderingen met boringen. De relatieve ligging van geologische formaties bepaalt de diepteligging van de grenzen tussen grondlagen. Met de tool kunnen op een eenvoudige wijze sonderingen worden geïnterpreteerd en gevisualiseerd. Zo kunnen sonderingen gemakkelijk worden vergeleken en scenario's worden samengesteld. Een tweede tool berekent de kansen op voorkomen van de scenario's in een segment volgens de methode die ook bij het WBI-SOS is toegepast. Per scenario worden alle aanwezige grondlagen ingevoerd. Per onderzoekspunt (boring of sondering) wordt aangegeven of een grondlaag op een bepaalde diepte is

aangetroffen. Aan de hand van de invoer wordt voor elk scenario een kans van voorkomen berekend op basis van de kans op voorkomen van een grondlaag op een bepaalde diepte. De opgestelde scenario's met kans van voorkomen en de bijbehorende grondprofielen worden naar een *csv-bestand weggeschreven. Een met Python ontwikkelde tool visualiseert vervolgens de scenario's. Hiermee kan eenvoudig worden gecontroleerd of de scenario's logisch en volledig zijn opgebouwd. De *csv-bestanden vormen het ondergrondmodel en kunnen direct in het rekenprogramma DAM worden ingelezen.

Grondonderzoek

In zowel de bestaande als de nieuwe segmenten waren niet altijd voldoende ondergrondgegevens beschikbaar. Hier zijn de 'opgeschoonde' scenario's van de in de nabijheid gelegen segmenten gebruikt. Voor deze locaties lijkt het zinvol om aanvullend onderzoek uit te voeren als bijvoorbeeld de eerste, conservatieve rekenresultaten daar aanleiding toe geven. Ook is in de kade relatief weinig onderzoek beschikbaar. De opbouw van het dijklichaam is in de vorige toetsronde als een homogeen pakket van veen of klei beschouwd. In het nieuwe ondergrondmodel is deze opbouw waar mogelijk geverifieerd en aangevuld met de beschikbare gegevens. Om tot een meer realistisch beeld van de kadeopbouw te komen, zal ook aanvullend grondonderzoek nodig zijn. Een voordeel is dat wanneer nieuw grondonderzoek beschikbaar komt, dit nu met de ontwikkelde tools relatief eenvoudig in het geactualiseerde ondergrondmodel verwerkt kan worden. Het aanvullen en optimaliseren van het ondergrondmodel is hiermee een overzichtelijk proces geworden.

Michel de Koning en Alina Mihalache werken bij Crux Engineering; Mieke Huisman bij het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard.



Voorbeeld visualisatie scenario's en kans van voorkomen.