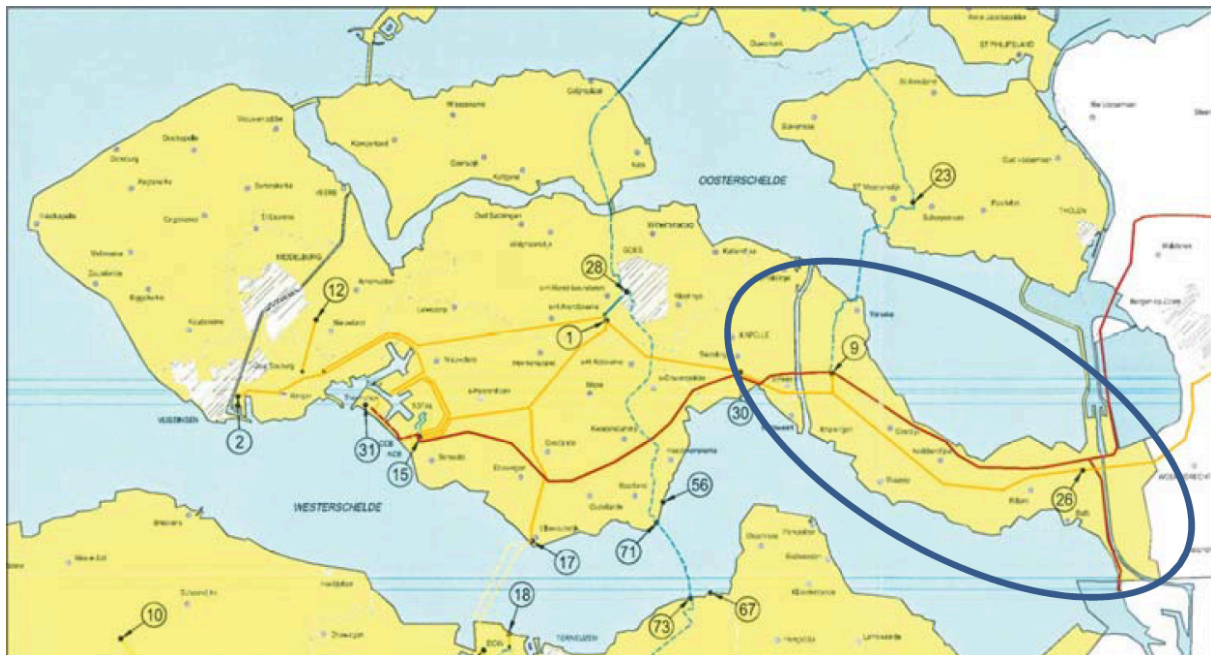


“Vitale infrastructuur in Reimerswaal”

Toetsing van de stabiliteit en erosiebestendigheid van de Rijksweg A58 in Reimerswaal



Auteur:
Cursuscode:
Opleiding:
Begeleidend docent:

Jesper Steur
CU11068
Civiele Techniek
J.M. Buijs
L. Papenborg
Vlissingen
2015-2016, tweede semester
22-06-2016
1.11

Plaats van uitgave:
Studiejaar en semester:
Jaar en datum van uitgave:
Versie:

Minor Civiele techniek

“Vitale infrastructuur in Reimerswaal”

Toetsing van de stabiliteit en erosiebestendigheid van de Rijksweg A58

Auteur:	Jesper Steur
Cursuscode:	CU11068
Opleiding:	Civiele Techniek
Begeleidend docent:	J.M. Buijs L. Papenburg
Plaats van uitgave:	Vlissingen
Studiejaar en semester:	2015-2016, tweede semester
Jaar en datum van uitgave:	22-06-2016
Aantal Woorden:	16709
Versie:	1.11

Voorwoord

Voor u ligt de uitwerkingsrapportage van 'De toetsing stabiliteit en erosiebestendigheid van de Rijksweg A58.' Het onderzoek is onderdeel van een grotere Case studie 'overstroming van het grondgebied van de Gemeente Reimerswaal' en is uitgevoerd i.s.m. de Delta onderzoeksgroep. Het onderzoek dat is uitgevoerd is in het kader van mijn onderzoeksminor aan de opleiding Civiele Techniek aan de HZ University of Applied Sciences.

Binnen het onderzoek ben ik begeleid door Dhr. L. Papenborg en Dhr. J.M. Buijs. In de beginweken van het onderzoek ben ik door mijn begeleiders goed op weg geholpen en zijn de onderzoeks- vragen en deelvragen geformuleerd. Ook ben ik via Dhr. J.M. Buijs in contact gekomen met Deltares die mij meer informatie kon bieden over de probleemstelling. De samenwerking met de begeleiders is als zeer positief ervaren. Bijsturing en advies is gegeven wanneer dat nodig was.

Vanuit Rijkswaterstaat zijn ook gegevens beschikbaar gesteld waar binnen dit onderzoek veel gebruik van is gemaakt. Tevens heeft Rijkswaterstaat mij de mogelijkheid geboden om een locatieonderzoek uit te voeren langs de Rijksweg A58. Hier wil ik Rijkswaterstaat dan ook voor bedanken.

Jesper Steur

Vlissingen, 22 Juni 2016

Samenvatting

Het onderzoek wat is uitgevoerd in het kader van het 'Projectplan RAAK Publiek Vitale Infrastructuur in de Veerkrachtige Delta' valt onder de Case Studie 'Overstroming van het grondgebied van de gemeente Reimerswaal'. Binnen deze Case studie is er een deelonderwerp verder uitgewerkt. Het uitgewerkte deelonderzoek betreft het onderzoeken van de gevolgen van een overstroming op de stabiliteit van de Rijksweg A58 in Reimerswaal en in hoeverre de bermen erosiebestendig zijn tijdens een overstroming.

Dit onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van het nieuwe beleid omtrent meerlaagsveiligheid. Binnen dit beleid wordt er niet alleen meer gekeken naar het voorkomen van een overstroming, maar ook gekeken naar de gevolgen van een overstroming en de preventie/ herstel daarvan. Het doel van het onderzoek is geweest om te toetsen of de snelweg voldoende draagkracht heeft tijdens en na een overstroming. Voor de bermen was het van belang om te toetsen of het voldoende erosiebestendig is tegen een overstroming.

Om het onderzoek uit te voeren is gebruik gemaakt van verschillende onderzoeksmethodes. Voor het bepalen van de benodigde parameters is gebruik gemaakt van deskresearch. Ontbrekende parameters die niet gevonden konden worden d.m.v. deskresearch, zijn aangevraagd bij Rijkswaterstaat. Voor het toetsen van de stabiliteit van de Rijksweg A58 is er gebruik gemaakt van het modelleringsprogramma D-geo Stabiliteit van Deltares. Hierin zijn de gevonden parameters ingevoerd en zijn verschillende locaties getoetst op stabiliteit. Om een oordeel te kunnen geven over de erosiebestendigheid van de bermen, is er informatie verstrekt bij Rijkswaterstaat. Tevens is er een locatieonderzoek uitgevoerd langs de Rijksweg A58 om de vegetatie inzichtelijk te krijgen in werkelijkheid.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat de stabiliteit van het weglichaam na een overstroming niet altijd gewaarborgd blijft. Het onderzoek dat is uitgevoerd door Deltares 'KPP Aanlegvraagstukken Klimaatbestendigheid geotechnische constructies' is dan ook als leidraad gebruikt voor dit onderzoek. Rijkswaterstaat heeft tijdens de presentatie van de onderzoeksresultaten van Deltares dan ook verschillende wensen uitgesproken, die zijn toegepast binnen dit onderzoek. De resultaten omtrent stabiliteit en erosiebestendigheid van de Rijksweg A58 zijn positief uitgevallen. De aanwezige vegetatie is volgroeid en geeft indien gemaaid voldoende weerstand tegen een overstroming. De stabiliteit van de Rijksweg A58 blijft ook volgens het model boven de benodigde minimale waarden. Hierdoor kan gezegd worden dat de Rijksweg A58 voldoende stabiliteit heeft tijdens een overstroming en de bermen erosiebestendig zijn.

Inhoudsopgave

Lijst met figuren en tabellen	7
Inleiding	10
1. Introductie	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Probleemstelling	12
1.3 Doelstelling	14
1.4 Onderzoeksvragen	14
2. Onderzoeksmethode	15
3. Theoretisch kader	17
Sint-Felixvloed 1530	17
Orkaan Katrina New Orleans 2005	17
INCAH - Casus Rotterdam Noord Klimaat effecten bij wegen en kaden	18
Nieuwe Deltaprogramma	18
KPP Aanlegvraagstukken Klimaatbestendigheid geotechnische constructies	19
Meerlaagsveiligheid	20
Faalmechanisme	21
4. Resultaten	24
4.1 Welke parameters zijn er voor het D-Geo Stability model nodig om de stabiliteit te toetsen tijdens en na een overstroming?	24
4.1.1 Onderzoek locaties vaststellen	24
4.1.2 Overzicht belangrijkste parameters model	26
4.1.3 Grondopbouw	27
4.1.4 Constructie afmetingen/ opbouw	29
4.1.5 Grondwaterstand/ drooglegging	31
4.1.6 Overstromingsscenario's	33
4.1.7 Verkeersbelasting	37
4.2 Welke parameters zijn er nodig voor het toetsen van de erosiebestendigheid van de berm?	39
4.2.1 Welke parameters zijn er nodig voor het toetsen van de grasbekleding aan de hand van de beheercategorie?	39
4.2.2 Welke parameters zijn er nodig voor het toetsen van de reststerkte van de kleilaag aan de hand van de Atterberg methode?	43
4.3 Wat zijn de uitkomsten en adviezen aan de hand van de drie getoetste tijdsvakken van het D-Geo Stability model?	46
4.3.1 Uitwerkingen t.b.v. stabiliteit wegconstructie	46
4.4 Wat zijn de uitkomsten en adviezen m.b.t. de erosiebestendigheid van de berm?	56
4.4.1 Uitwerkingen t.b.v. toetsing vegetatie	56
4.4.2 Uitwerkingen t.b.v. reststerkte kleilaag	58
4.4.3 Uitwerkingen t.b.v. locatie onderzoek	58
4.4.4 Uitwerkingen t.b.v. overslagproeven	60
5. Conclusie	62
6. Discussie & Aanbevelingen	64
7. Bibliografie	65
Bijlage I 'Onderzoek locaties'	67
Bijlage II 'Grondopbouw'	70
Bijlage III 'Afmetingen weglichaam'	75
Bijlage IIII 'Resultaten locatie 1'	79
Bijlage V 'Resultaten locatie 2'	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Bijlage VI 'Resultaten locatie 3'	85

Lijst met figuren en tabellen

Figuur 1 Overstromingsscenario vanuit de Kruiningenpolder http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo/48/77/13715/13958/13965/13966 (Overstromingen, 2016).....	13
Figuur 2 Algemene Hoogtekaart Reimerswaal http://ahn.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=c3c98b8a4ff84ff4938faf e7cc106e88 (Nederland, 2016)	13
Figuur 3 Dwarsprofiel stabiliteitstoetsing vanuit modelleringsprogramma D-Geo stabiliteit (Deltares, D-Geostability, 2016).....	19
Figuur 4 Overstromingsrisico http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Meerlaagsveiligheid_in_de_praktijk.aspx	21
Figuur 5 Verlies aan draagkracht ondergrond (Landwehr, 2014)	21
Figuur 6 Gevolgen verweking wegtalud (Landwehr, 2014)	22
Figuur 7 Principe golfoverslag weglichaam (Meer, 2012).....	23
Figuur 8 Google earth gekozen locaties + kilometrering (Applemaps, 2016)	24
Figuur 9 Algemene hoogtekaart Nederland ingezoomd op de gemeente Reimerswaal http://www.ahn.nl/pagina/viewer.html (Nederland, 2016)	25
Figuur 10 Sondeeroverzicht DINOloket https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen (DINOloket, 2016).....	27
Figuur 11 Overzichtstekening AHN3 DSM model	29
Figuur 12 Standaard wegconstructie Rijksweg 2x2 (Landwehr, 2014)	30
Figuur 13 Grondwateronderzoeken overzicht locaties https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen (DINOloket, 2016).....	31
Figuur 14 Overstromingsscenario t.b.v. onderzoek locatie nr. 1 t.p.v. Oost-inkelenpolder gegenereerd op http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo/48/77/13715/13977/13984/13985 (Overstromingen, 2016).....	33
Figuur 15 Overstromingsscenario t.b.v. onderzoek locatie nr. 2 t.p.v. Waardepolder-Oost gegenereerd op http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo/48/77/13715/14034/14041/14042 (Overstromingen, 2016).....	34
Figuur 16 Overstromingsscenario t.b.v. onderzoek locatie nr. 3 t.p.v. Bath http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo/48/77/13715/14110/14117/14118 (Overstromingen, 2016).....	34
Figuur 17 Stijgsnelheid overstromingsscenario 1 http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo/48/77/13715/13977/13984/13987 (Overstromingen, 2016).....	35
Figuur 18 Impressie tandemstelsel toetsen weglichaam (mstudioblackboard TUDelft, 2016)	37
Figuur 19 Afdracht aslast richting onderbouw (Landwehr, 2014).....	38
Figuur 20 Eenvoudige toetsregels erosie wegtalud (Meer, 2012)	40
Figuur 21 Cumulatieve overbelasting met een kritische snelheid van 4m/s (Meer, 2012).....	41
Figuur 22 Atterberg diagram (Meer, 2012).....	43
Figuur 23 EK 2 Bloemrijke glanshaverhooilanden	
Figuur 24 AK 2 Ruige Glanshaver hooilanden	45
Figuur 25 Impressie wegprofiel locatie 1 weergegeven in D-geo Stability	46
Figuur 26 Impressie maatgevend afschuifvlak weglichaam locatie 1	47
Figuur 27 Safetyfactoren t.o.v. de tijd T10 locatie 1	
Figuur 28 Waterstandsverloop t.o.v. de tijd T10 locatie 1	48
Figuur 29 Safetyfactoren t.o.v. de tijd T20 locatie 1	
Figuur 30 Waterstandsverloop t.o.v. de tijd T20 locatie 1	48
Figuur 31 Safetyfactoren t.o.v. de tijd T30 locatie 1	
Figuur 32 Waterstandsverloop t.o.v. de tijd T30 locatie 1	49

Figuur 33	Overzicht safetyfactoren t.o.v. dagen verschillende leegpompsituaties locatie 1	49
Figuur 34	Impressie wegprofiel locatie 2 weergegeven in D-geo Stability	50
Figuur 35	Impressie maatgevend afschuifvlak weglichaam locatie 2	50
Figuur 36	Safetyfactoren t.o.v. de tijd T10 locatie 2	
Figuur 37	Waterstandsverloop t.o.v. de tijd T10 locatie 2	51
Figuur 38	Safetyfactoren t.o.v. de tijd T20 locatie 2	
Figuur 39	Waterstandsverloop t.o.v. de tijd T20 locatie 2	52
Figuur 40	Safetyfactoren t.o.v. de tijd T30 locatie 2	
Figuur 41	Waterstandsverloop t.o.v. de tijd T30 locatie 2	52
Figuur 42	Overzicht safetyfactoren t.o.v. dagen verschillende leegpompsituaties locatie 2	52
Figuur 43	Impressie wegprofiel locatie 3 weergegeven in D-geo Stability	53
Figuur 44	Impressie maatgevend afschuifvlak weglichaam locatie 3	53
Figuur 45	Safetyfactoren t.o.v. de tijd T10 locatie 3	
Figuur 46	Waterstandsverloop t.o.v. de tijd T10 locatie 3	54
Figuur 47	Safetyfactoren t.o.v. de tijd T20 locatie 3	
Figuur 48	Waterstandsverloop t.o.v. de tijd T20 locatie 3	55
Figuur 49	Safetyfactoren t.o.v. de tijd T30 locatie 3	
Figuur 50	Waterstandsverloop t.o.v. de tijd T30 locatie 3	55
Figuur 51	Overzicht safetyfactoren t.o.v. dagen verschillende leegpompsituaties locatie 3	55
Figuur 52	Vegetatie t.p.v. hmp 136:00 (Googlemaps, 2016)	56
Figuur 53	Boormonster locatie 1 voorkant	
Figuur 54	Boormonster locatie 1 achterkant	58
Figuur 55	Boormonster locatie 2 voorkant	
Figuur 56	Boormonster locatie 2 achterkant	59
Figuur 57	Boormonster locatie 3 voorkant	
Figuur 58	Boormonster locatie 3 achterkant	59
Figuur 59	Overslagproef vechtdijk - 0-situatie	60
Figuur 60	Overslagproef vechtdijk - Eerste schade	60
Figuur 61	Overslagproef vechtdijk – Eindresultaat overslagproef	61
Figuur 62	Overslagproef vechtdijk - Eindresultaat overslagproef	61
Figuur 63	Overzicht safetyfactoren t.o.v. dagen verschillende leegpompsituaties locatie 1	62
Figuur 64	Algemene hoogtekaart Nederland locatie 1 (Nederland, 2016)	67
Figuur 65	Google earth t.p.v. locatie 1 (Googlemaps, 2016)	67
Figuur 66	Google straatview t.p.v. locatie 1 hmp 136:00 (Googlemaps, 2016)	67
Figuur 67	Algemene hoogtekaart Nederland locatie 2 (Nederland, 2016)	68
Figuur 68	Google earth t.p.v. locatie 2 (Googlemaps, 2016)	68
Figuur 69	Google straatview t.p.v. locatie 2 hmp 133:00 (Googlemaps, 2016)	68
Figuur 70	Algemene hoogtekaart Nederland locatie 3 (Nederland, 2016)	69
Figuur 71	Google earth t.p.v. locatie 3 (Googlemaps, 2016)	69
Figuur 72	Google straatview t.p.v. locatie 3 hmp 127:30 (Googlemaps, 2016)	69
Figuur 73	Grondopbouw volgens grondboring B49C1400 (DINOloket, 2016)	70
Figuur 74	Grondopbouw volgens grondboring B49C1062 (DINOloket, 2016)	71
Figuur 75	Grondopbouw volgens grondboring B49C0959 (DINOloket, 2016)	72
Figuur 76	Aanvulling grondopbouw volgens grondboring B49C0141 (DINOloket, 2016)	73
Figuur 77	Uitleg grondparameters volgens NEN 9997	74
Figuur 78	Impressie dwarsprofiel wegconstructie locatie 1	75
Figuur 79	Hoogtegrafiek gegenereerd uit het GIS-model	75
Figuur 80	Google street view t.p.v. locatie 1 (Googlemaps, 2016)	75
Figuur 81	Locatie 1 dwarsprofiel vanuit Ogis	76
Figuur 82	Impressie dwarsprofiel wegconstructie locatie 2	76
Figuur 83	Hoogtegrafiek gegenereerd uit het GIS-model	76
Figuur 84	Google street view t.p.v. locatie 2 (Googlemaps, 2016)	77
Figuur 85	Locatie 2 dwarsprofiel vanuit Ogis	77
Figuur 86	Impressie dwarsprofiel wegconstructie locatie 2	78
Figuur 87	Hoogtegrafiek gegenereerd uit het GIS-model	78
Figuur 88	Google street view t.p.v. locatie 2 (Googlemaps, 2016)	78

Figuur 89 Safety-factor verloop bij leegpompen in 10 dagen locatie 1	
Figuur 90 Waterstandsverloop bij leegpompen in 10 dagen locatie 1	79
Figuur 91 Safety-factor verloop bij leegpompen in 20 dagen locatie 1	
Figuur 92 Waterstandsverloop bij leegpompen in 20 dagen locatie 1	80
Figuur 93 Safety-factor verloop bij leegpompen in 30 dagen locatie 1	
Figuur 94 Waterstandsverloop bij leegpompen in 30 dagen locatie 1	81
Figuur 95 Safety-factor verloop bij leegpompen in 10 dagen locatie 2	
Figuur 96 Waterstandsverloop bij leegpompen in 10 dagen locatie 2	82
Figuur 97 Safety-factor verloop bij leegpompen in 20 dagen locatie 2	
Figuur 98 Waterstandsverloop bij leegpompen in 20 dagen locatie 2	83
Figuur 99 Safety-factor verloop bij leegpompen in 30 dagen locatie 2	
Figuur 100 Waterstandsverloop bij leegpompen in 30 dagen locatie 2	84
Figuur 101 Safety-factor verloop bij leegpompen in 10 dagen locatie 3	
Figuur 102 Waterstandsverloop bij leegpompen in 10 dagen locatie 3	85
Figuur 103 Safety-factor verloop bij leegpompen in 20 dagen locatie 3	
Figuur 104 Waterstandsverloop bij leegpompen in 20 dagen locatie 3	86
Figuur 105 Safety-factor verloop bij leegpompen in 30 dagen locatie 3	
Figuur 106 Waterstandsverloop bij leegpompen in 30 dagen locatie 3	87
Tabel 1 Overzicht parameters onderzoeklocaties	26
Tabel 2 Matrix overzicht parameters D-Geo Stability	26
Tabel 3 Grondopbouw locatie 1	28
Tabel 4 Grondopbouw locatie 2	28
Tabel 5 Grondopbouw locatie 3	28
Tabel 6 Matrix afmetingen dwarsprofielen	29
Tabel 7 Matrix parameters t.b.v. grondwaterstanden	31
Tabel 8 Doorlatendheid per grondsoort in meters per dag http://www.grondwaterformules.nl/index.php/vademecum/ondergrond/globale-doorlatendheid (grondwaterformules, 2016)	32
Tabel 9 Overzicht overstromingsverloop dijkdoorbraak (Landwehr, 2014)	35
Tabel 10 Matrix Overstromingsscenario parameters bepaald vanuit het Liwo	35
Tabel 11 Aslasten per rijstrook volgens NEN-EN 1991 (mstudioblackboard TUDelft, 2016)	37
Tabel 12 Matrix toetsingen verschillende grasbekleding a.d.h.v. handreiking (Meer, 2012)	43
Tabel 13 Matrix beheercategorie	45
Tabel 14 Overzicht kerngetallen locatie 1	47
Tabel 15 Overzicht kerngetallen locatie 2	51
Tabel 16 Overzicht kerngetallen locatie 3	54
Tabel 17 Matrix toetsing grasbekleding	57
Tabel 18 Grondparameters volgens NEN 9997	74
Tabel 19 Overzicht onderzoeksresultaten locatie 1 bij leegpompen in 10 dagen	79
Tabel 20 Overzicht onderzoeksresultaten locatie 1 bij leegpompen in 20 dagen	80
Tabel 21 Overzicht onderzoeksresultaten locatie 1 bij leegpompen in 30 dagen	81
Tabel 22 Overzicht onderzoeksresultaten locatie 2 bij leegpompen in 10 dagen	82
Tabel 23 Overzicht onderzoeksresultaten locatie 2 bij leegpompen in 20 dagen	83
Tabel 24 Overzicht onderzoeksresultaten locatie 2 bij leegpompen in 30 dagen	84
Tabel 25 Overzicht onderzoeksresultaten locatie 3 bij leegpompen in 10 dagen	85
Tabel 26 Overzicht onderzoeksresultaten locatie 3 bij leegpompen in 20 dagen	86
Tabel 27 Overzicht onderzoeksresultaten locatie 3 bij leegpompen in 30 dagen	87

Inleiding

Om dit onderzoek uit te voeren is er in het voortraject een onderzoeksvoorstel opgesteld dat heeft gediend als leidraad voor het onderzoek. Door het volgen van verschillende onderzoeksmethodes en onderzoek cyclussen is er een gestructureerd onderzoek uitgevoerd. Na het toetsen van de hoofdvraag is er een conclusie opgesteld met adviezen hierin.

Dit onderzoek wordt verder ingekaderd, door onderzoek te doen naar de gevolgen van een overstroming op de Rijksweg A58 in Reimerswaal. De volgende hoofdvraag is hieruit voortgekomen:

‘Wat zijn de gevolgen van een overstroming op de stabiliteit van de Rijksweg A58 in Reimerswaal en in hoeverre zijn de bermen erosiebestendig tijdens een overstroming?’

Zoals te zien in de hoofdvraag is het onderzoek opgebouwd uit twee deelonderzoeken die onderling met elkaar corresponderen. Om deze onderzoeken uit te voeren moet vooraf een hoop uitgezocht worden omtrent te gebruiken instrumenten en modellen. De Rijksweg A58 zal op verschillende plaatsen onderzocht worden. Voor de locaties moeten verschillende parameters bepaald worden (beschreven in het onderzoeksvoorstel). Vervolgens gaan deze parameters gebruikt worden voor het onderzoeken van de stabiliteit van de snelweg en de erosiebestendigheid van de bermen.

Het overstromingsscenario wat onderzocht gaat worden is een dijkdoorbraak vanuit de Westerschelde. Hiervoor is gekozen omdat van alle aanwezige scenario's, dit scenario het meest relevant is m.b.t. kans tot overstromen.

Daarbij moet worden aangetekend dat de kanteldijk gelegen bij de Vlaketunnel buiten de scope van dit project is gelaten. Dit is mede gedaan omdat er voor het onderzoek van de kanteldijk te weinig tijd is. Ook is het noodzakelijk om bij het onderzoeken van de kanteldijk verder te kijken dan alleen het gebied in Reimerswaal. Ook daarom is de afweging gemaakt om dit buiten het onderzoek te houden.

1. Introductie

In het onderzoek naar de cascade effecten van een overstroming, wordt er specifiek gekeken naar wat voor effecten dit heeft op de gemeente Reimerswaal. Deze gemeente heeft als belangrijkste eigenschap dat het een sleutelgemeente is m.b.t. import en export naar de achtergelegen deelgebieden Walcheren en Zuid-Beveland. Bij het wegvallen van de Rijksweg A58 binnen Reimerswaal, is de kans zeer reëel dat de achtergelegen deelgebieden hier ook overlast van zullen ondervinden. Door het onderzoeken en aanpassen van de Rijksweg A58 binnen Reimerswaal wordt er een klimaat adaptieve snelweg gecreëerd, die bestand en robuust is tegen overstromingen.

1.1 Achtergrond

De gemeente Reimerswaal onderscheidt zich op economisch gebied o.a. in de mossel- en oesterhandel en de grote uien- en aardappelen- productie. Ook zijn er belangrijke infrastructuren die het gebied passeren. De snelweg van Zeeland (Rijksweg A58) bevindt zich in het gebied en is van groot belang voor Midden-Zeeland. Tevens loopt ook de enige spoorweg van Zeeland door dit gebied die ook door de industrie van Vlissingen-Oost gebruikt wordt. De internationale leidingstraat loopt ook door dit gebied t.b.v. het transport van olie, gas en elektra.

Het modelleringsprogramma dat in dit onderzoek gebruikt gaat worden is het D-Geo Stability programma van Deltares. Dit modelleringsprogramma is in het leven geroepen om het Nederlandse dijksysteem te controleren op stabiliteit. In het geval van dit onderzoek heeft het programma een toegevoegde waarde. Binnen dit onderzoek wordt de rijksweg beschouwd als dijklichaam en gaat zodoende getoetst worden op de stabiliteit. Het programma biedt verschillende specifieke functies die de stabiliteit van de wegconstructie gedetailleerd kunnen weergeven. Deltares heeft een handleiding geschreven waarin per onderdeel uitgebreid omschreven staat welke stappen gevolgd moeten worden om tot een juiste modellering te komen. (Deltares, DGeoStability User Manual, 2016)

Door het toetsen met het modelleringsprogramma D-Geo Stability is het mogelijk om de volgende resultaten te genereren:

- Veiligheidsfactoren voor de draagkracht;
- Kritische afschuifvlak;
- Invloedrijke factoren.

Uiteindelijk kan er door de nieuwe inzichten een advies geschreven worden met acties, die de stabiliteit van de Rijksweg moet bevorderen.

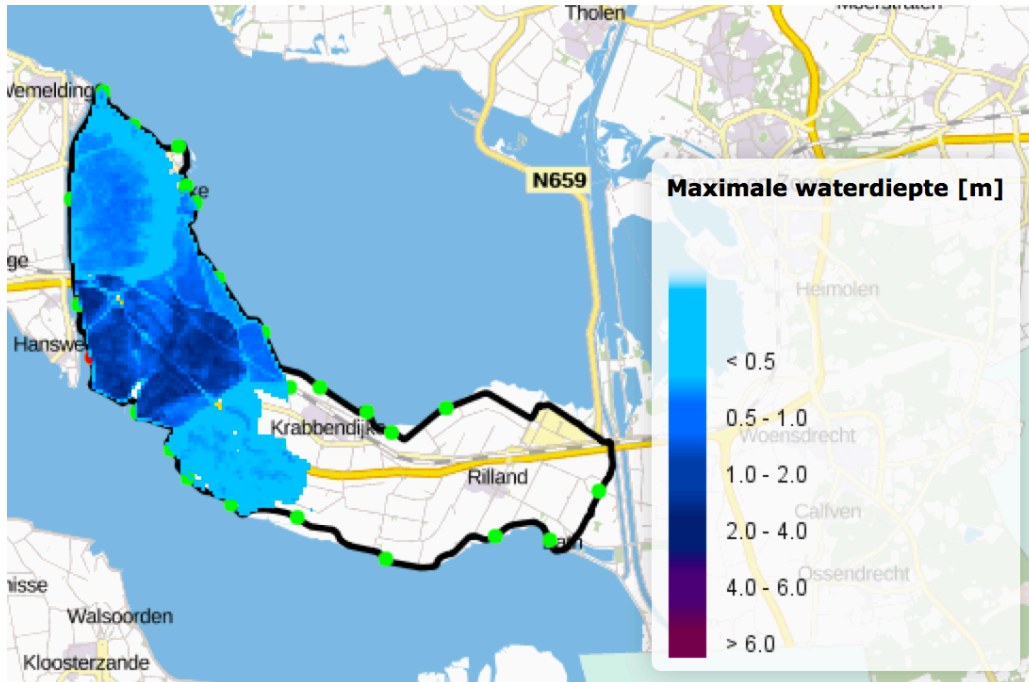
1.2 Probleemstelling

Het Nederlandse beleid omtrent waterveiligheid bevindt zich na het nieuwe deltaprogramma 'Nieuwbouw en herstructurering' uit 2014 in een transitie. Hierin is de prioriteit van het 100% voorkomen van een overstroming verandert in meerlaagsveiligheid. Bij meerlaagsveiligheid wordt er naast het voorkomen van overstromingen ook gekeken naar de gevolgen op maatschappelijk vlak en de gevolgschade daarvan. Met deze transitie kunnen eventuele maatregelen getroffen worden om gevolgschade op verschillende vlakken te minimaliseren. Bij een overstroming is het mogelijk dat verschillende kritische infrastructuren (hierbij denkend aan gas, water, wegen en telefonie) voor een bepaalde tijd kunnen wegvallen, waardoor evacuatie en nader herstel van het gebied vermoeilijkt wordt. "Onder vitale infrastructuren verstaan we producten, diensten en de onderliggende processen die, als zij uitvallen, grootschalige maatschappelijke ontwrichting kunnen veroorzaken" (Addae, 2015). De gemeente Reimerswaal beschikt over veel kritische infrastructuren (waaronder de Rijksweg A58) en wordt ook gezien als het verbindingsschakel naar de achtergelegen gebieden Walcheren en Zuid-Beveland. Bij een overstroming van de gemeente Reimerswaal wordt het achterliggend gebied (Walcheren en Zuid-Beveland) zo goed als geïsoleerd en komen verschillende stromen tot stilstand. Belangrijke vitale infrastructuur zoals de enige autosnelweg en spoorlijn van Zeeland bevinden zich in de gemeente Reimerswaal. Tevens is er een zeer belangrijke leidingstraat die het gebied passeert. Deze leidingstraat heeft een verbinding van Rotterdam tot het havengebied van Vlissingen-Oost. Uitval van deze infrastructuur kan voor grote maatschappelijke én economische ontwrichting zorgen, dit onderzoek gaat meer inzicht bieden in de cascade effecten die een overstroming zal veroorzaken in de gemeente Reimerswaal.

Eerder onderzoek op de effecten en gevolgen van overstromingen zijn vooral op nationaal niveau onderzocht en bieden geen goed draaiboek met betrekking tot de gevolgen van een overstroming op regionaal niveau. Via een onderzoek dat gericht is op de waterveiligheid van de Zeeuwse delta's, kan er door specifieke aanpassingen een optimaal resultaat behaald worden. De vraag van de opdrachtgever is dan ook: 'Hoe zijn de cascade-effecten van verstoringen in de vitale infrastructuur te beperken door maatregelen in respons en herstel?'

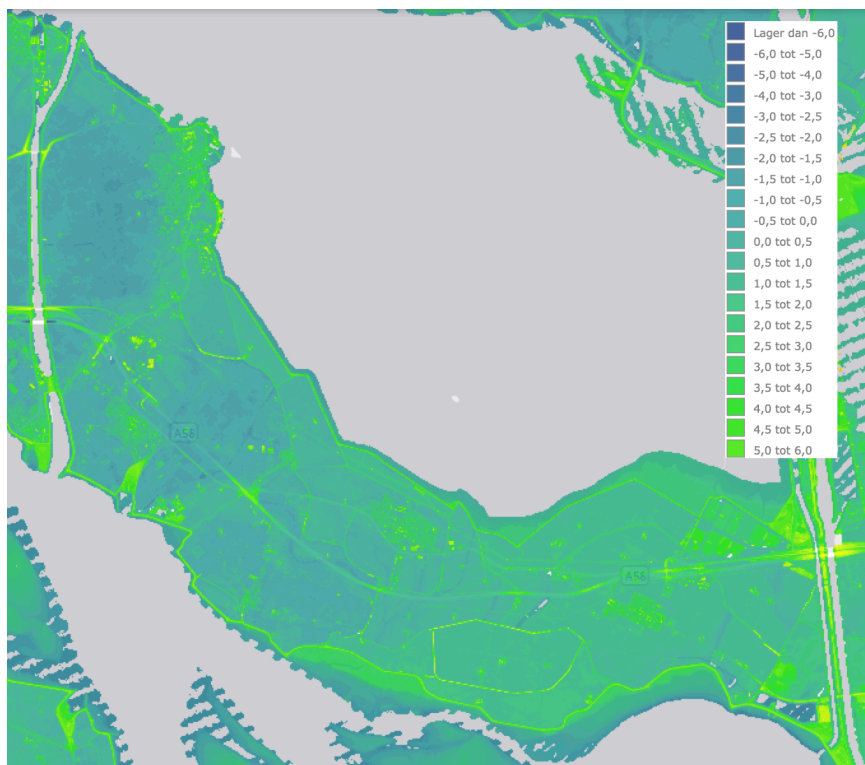
De opzet van deze vraag is heel breed en is voor deze onderzoeksminder een te groot vraagstuk. In dit onderzoek wordt de nadruk gelegd op de Rijksweg A58 gelegen tussen de Vlaketunnel en de Kreekrakbrug. Dit onderzoek moet inzicht geven in wat de gevolgen zijn die een overstroming heeft op de stabiliteit van de Rijksweg en maatregelen die getroffen kunnen worden, zodat de Rijksweg zijn functie kan behouden of zo snel mogelijk terug in zijn functie kan komen. Een ander onderdeel van dit onderzoek is het onderzoeken van erosie die bij de bermen optreedt bij een overstroming. Bij een eventuele overstroming is het van essentieel belang zijn om het gebied zo snel en veilig mogelijk te kunnen evacueren.

Het overstromingsscenario welke de grootste kans heeft van voorkomen is een dijkdoorbraak aan de zijde van de Westerschelde. Vanuit deze filosofie gaat de Rijksweg A58 ook getoetst worden. Vanuit het overstromingsscenario wordt er in drie toestanden getoetst: Leegpompen in 10 dagen, Leegpompen in 20 dagen en leegpompen in 30 dagen. De te onderzoeken locaties gaan bepaald worden aan de hand van de hoogteligging.



Figuur 1 Overstromingsscenario vanuit de Kruiningenpolder <http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo/48/77/13715/13958/13965/13966> (Overstromingen, 2016)

Het algemene vraagstuk van het overall onderzoek ‘vitale infrastructuur in Reimerswaal’ wordt in dit onderzoek verder ingekaderd. Hierdoor is de volgende vraagstelling tot stand gekomen: ‘Wat zijn de gevolgen van een overstroming op de stabiliteit van de Rijksweg A58 in Reimerswaal en in hoeverre zijn de bermen erosiebestendig tijdens een overstroming?’



Figuur 2 Algemene Hoogtekaart Reimerswaal <http://ahn.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=c3c98b8a4ff84ff4938fafa7cc106e88> (Nederland, 2016)

1.3 Doelstelling

Voor midden Zeeland is het van groot belang dat de Rijksweg te allen tijde zijn functie behoudt. Dit kan tijdens een grote overstroming niet gegarandeerd worden en voor problemen zorgen. Het doel van dit onderzoek is deze problemen te minimaliseren om ervoor te zorgen dat zowel de maatschappelijke als economische schade beperkt blijft. Er moet een transitie komen die de kwetsbaarheden van het gebied veranderen naar een veerkrachtige en klimaat adaptieve omgeving. Door verschillende brainstorm sessies en een uitgebreid bronnenonderzoek moet er informatie gewonnen worden met betrekking tot dit onderzoek. Het uiteindelijke resultaat moet de zwakheden van de snelweg inzichtelijk maken en inzichtelijk maken wat hieraan gedaan kan worden. Door middel van het toetsen van de snelweg op stabiliteit met het programma D-Geo Stability, wordt duidelijk of de snelweg voldoende stabiliteit heeft tijdens en na een overstroming. Door dit onderzoek kunnen er eventueel maatregelen getroffen worden die de snelweg voorbereiden voor de klimaat veranderingen die gaande zijn. De Nederlandse regering heeft als doelstelling gesteld dat Nederland voorloper moet worden in Europa met betrekking tot het klimaat adaptief inrichten van gebieden.

1.4 Onderzoeksvragen

Dit onderzoek is gericht op de weerbaarheid die de Rijksweg heeft tegen een overstroming vanuit de Westerschelde. Het onderzoeksobject binnen dit onderzoek is de Rijksweg A58. Deze Rijksweg wordt binnen een specifiek traject onderzocht namelijk binnen de gemeente Reimerswaal. Het onderzoek bestaat zoals eerder beschreven uit twee deelonderzoeken die ieder aan ander aspect van de snelweg bevatten. In het eerste onderzoek wordt de stabiliteit van de snelweg getoetst d.m.v. het modeleringsprogramma D-Geo Stability. Het tweede onderzoek richt zich op erosiebestendigheid van de bermen langs de Rijksweg. Deze bermen worden aan de hand van verschillende materiaaleigenschappen geanalyseerd, waarna een uitspraak gedaan kan worden over de erosiebestendigheid ervan. Aan de hand van deze deelonderzoeken is een hoofdvraag geformuleerd:

‘Wat zijn de gevolgen van een overstroming op de stabiliteit van de Rijksweg A58 in Reimerswaal en in hoeverre zijn de bermen erosiebestendig tijdens een overstroming?’

Om de hoofdvraag van dit onderzoek te kunnen beantwoorden is deze opgesplitst in 4 deelvragen:

1. Welke parameters zijn er voor het D-Geo Stability model nodig om de stabiliteit te toetsen tijdens en na een overstroming?
2. Welke parameters zijn er nodig voor het toetsen van de erosiebestendigheid van de bermen?
 - a. Welke parameters zijn er nodig voor het toetsen van de grasbekleding aan de hand van de beheercategorie?
 - b. Welke parameters zijn er nodig voor het toetsen van de reststerkte van de kleilaag aan de hand van de Atterberg methode?
3. Wat zijn de uitkomsten en adviezen aan de hand van de drie getoetste tijdsvakken van het D-Geo Stability model?
4. Wat zijn de uitkomsten en adviezen m.b.t. de erosiebestendigheid van de bermen?

Na het uitwerken van de hierboven genoemde deelvragen kan er een advies geschreven worden m.b.t. de erosiebestendigheid van de bermen en de stabiliteit van de snelweg tijdens en na een overstroming.

2. Onderzoeksmethode

Het onderzoek is opgebouwd uit een gekregen probleemstelling van de opdrachtgever die verder ingekaderd is. Uit de probleemstelling gaan verschillende deelvragen geformuleerd worden, waarop een antwoord op gegeven moet worden. In het onderzoeksvorstel zijn verschillende onderzoeksmethodes en onderzoeksstrategieën beschreven die toegepast zijn voor het verwerven van informatie. Dit onderzoek bestaat uit een groot deel uit het zoeken naar benodigde parameters zoals beschreven staat in deelvraag 1&2. Deze parameters gaan gevonden worden d.m.v. het raadplegen van openbare informatie die digitaal beschikbaar. Voor informatie die niet publiekelijk beschikbaar is kan Rijkswaterstaat benaderd worden.

Het eerste deelonderzoek bestaat uit het onderzoeken van de stabiliteit van de Rijksweg A58 in Reimerswaal. Voor dit onderzoek wordt gebruikt gemaakt van het modelleringsprogramma D-Geo Stability dat ontwikkeld is door Deltares. In paragraaf 1.1 wordt er meer informatie gedeeld m.b.t. dit programma. De uiteindelijke keuze voor het gebruik van D-Geo Stability is voortgekomen uit de filosofie om de wegconstructie te zien als een dijklichaam. Vervolgens wordt er onderzoek gedaan naar de mogelijkheid tot het toetsen van de stabiliteit van de wegconstructie. Deltares heeft een onderzoek uitgevoerd dat model staat voor dit onderzoek, het betreft de rapportage "KPP Aanlegvraagstukken Klimaatbestendigheid geotechnische constructies" (Landwehr, 2014) en biedt verschillende inzichten over stabiliteitstoetsingen op verschillende plaatsen binnen Nederland. Deze rapportage wordt ook gebruikt voor de case study research en is voor dit onderzoek van groot belang. Mede daarom wordt de rapportage van Deltares dan ook met aandacht bestudeerd. Ook dit onderzoek wordt verder toegelicht in het theoretisch kader.

Vervolgens kan er onderzoek gedaan worden naar de benodigheden voor het modeleringsprogramma. Voor het modeleringsprogramma zijn een groot aantal parameters nodig. De volgende parameters zijn gevonden/ aangenomen:

- Onderzoek locaties;
- Grondopbouw;
- Constructie opbouw;
- Grondwaterstand/ drooglegging;
- Overstromingsscenario's;
- Verkeersbelasting;

De parameters worden d.m.v. het toepassen van desk research bepaald. Als alle parameters en normen gevonden en aangenomen zijn, kan er begonnen worden met het modeleren. Binnen het model wordt er op verschillende overstromingsscenario's getoetst worden. Binnen het onderzoek van Deltares is er op de volgende scenario's getoetst:

- De Nul-situaties => Waarin de wegconstructie zich in zijn gebruiker toestand bevindt;
- De volledige overstroming (Acute fase) => Waarin het water zich ook in de wegconstructie bevindt en strijkt tot boven het wegdek;
- Na volledig leegpompen (Herstel fase) => Waarin het water weggepompt is uit het gebied, maar de grondwaterspiegel nog wel hoog is.

22 juni 2016

Uit de conclusie van de rapportage is gebleken dat de maatgevende situatie gevormd wordt als het water weggepompt wordt uit het gebied. De aanbeveling van Deltares is dan ook om het wegpompen in verschillende stappen te gaan onderzoeken. De volgende herstel situaties worden voor de toetsing gebruikt:

- Waterstand terug naar het polderpeil in 10 dagen;
- Waterstand terug naar het polderpeil in 20 dagen;
- Waterstand terug naar het polderpeil in 30 dagen.

Deze verschillende periodes van leegpompen zijn tot stand gekomen i.o.m. Deltares en Rijkswaterstaat. Door het toepassen van deze verschillende periodes kan er voor de toekomst een besluit genomen worden over het meest gunstige scenario's m.b.t. het leegpompen van het gebied. Na het modeleren in D-Geo Stability is het mogelijk om verschillende resultaten uit het model te genereren.

Voor het tweede deelonderzoek m.b.t. de erosiebestendigheid van de bermen wordt ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheid tot toetsen. In de vloeistofmechanica is theorie beschikbaar over de uitspoeling van klei. Het enige nadeel van deze theorie is dat het geen exacte waarden kan geven omtrent de erosiebestendigheid. De uitkomsten van deze berekeningen zijn alleen voor indicatiedoeleinden. Om deze reden is er verder gekeken naar een mogelijkheid tot toetsen. Net als met het toetsen van de stabiliteit van de Rijksweg, is de filosofie hetzelfde. Er wordt onderzoek gedaan naar toetsingen voor grasbekledingen op dijken. Rijkswaterstaat heeft in de loop der jaren veel onderzoek gedaan naar de erosiebestendigheid van een grasbekledingen op dijken. Hieruit is een handreiking ontstaan die tegenwoordig gebruikt wordt voor het toetsen van grasbekledingen.

Het onderzoek omtrent de erosiebestendigheid van de bermen langs de Rijksweg A58 maakt gebruik van deze handreiking. Aan de hand van verschillende parameters en onderhoud strategieën kan er een oordeel gegeven worden over de erosiebestendigheid van de bermen. Net als bij het onderzoek naar de stabiliteit, wordt er d.m.v. desk research gezocht naar parameters. Om een oordeel te kunnen geven van de aanwezige grasbekleding zijn de volgende parameters nodig:

- plasticiteitsindex;
- vloeigrens;
- beheercategorie.

Via de beheercategorie kan er iets gezegd worden van de kwaliteit van de grasbekleding. Deze kwaliteit kan vervolgens gelinkt worden aan toetsingen die Rijkswaterstaat uitgevoerd heeft op een dijkvak op een gerelateerde grasbekleding.

De erosiebestendigheid van de grasbekleding heeft ook zijn limieten. Nadat deze bezweken is, kan ook de reststerkte van de onderliggende kleilaag een belangrijke factor zijn m.b.t. de erosiebestendigheid. Deze reststerkte wordt aan de hand van het diagram van Atterberg bepaald. Hiervoor zijn zoals hierboven genoemd de plasticiteitsindex en de vloeigrens nodig. Als deze gegevens bekend zijn kan er een oordeel gegeven worden over de mate van erosiebestendigheid van de bermen.

3. Theoretisch kader

Dit onderzoek is in veel opzichten uniek en daardoor zijn er weinig tot geen vergelijkbare onderzoeken van te vinden. Toch kan er aan de hand van grote overstromingen een les geleerd worden met betrekking tot het managen van water. De afgelopen decennia is het besef van klimaatverandering groot geworden. Op mondiaal vlak worden er afspraken gemaakt om deze veranderingen in het klimaat in te dammen. Deze afspraken worden in een later stadium geïmplementeerd op landelijk niveau. De draaiboeken voor een overstroming op landelijk niveau liggen er maar op lokaal niveau is er vrij weinig bekend. De grote verschillen per regio zijn groot waardoor er nog veel winst te behalen valt op dit vlak.

Sint-Felixvloed 1530

Het onderzoeksgebied kent een rijk verleden met overstromingen en is zich daardoor bewust van de eventuele gevolgen van een overstroming. De oudste en tevens grootste overstroming die het gebied (tevens Nederland) gekend heeft is 'Sint-Felixvloed' uit 1530. Tijdens deze watersnoodramp op 5 november 1530 werden grote delen van Zeeland en Vlaanderen weggevaagd. Reimerswaal is toentertijd bijna geheel van de landkaart verdwenen. Het litteken dat deze watersnoodramp heeft achtergelaten heet nu het verdrinken land van Zuid-Beveland. De overstroming had ook grote gevolgen op de gemeenschap. Meer dan 100.000 mensen verloren hun leven tijdens deze ramp. Wat bij deze overstroming bijzonder is, is dat grote delen na de overstroming niet teruggewonnen zijn. Pas in de 19^e eeuw zijn er permanente dijkverhogingen aangebracht zodat het verliezen van land tot een halt geroepen werd. De maatschappelijke ontwrichting toentertijd was groot maar de complexiteit was zeer gering. De economische maatschappij was eenvoudig waardoor herstel snel te realiseren was. (Zeeuwse ankers, 2014)

Orkaan Katrina New Orleans 2005

Een dergelijke ramp die met de complexiteit van de huidige tijd te vergelijken is, is de overstroming die plaatsvond tijdens de Orkaan Katrina (2005) in New Orléans. De orkaan zorgde aan het einde van de zomer voor grote maatschappelijke ontwrichting in de golf van Mexico. De schade na deze orkaan is vastgesteld op 153 miljard dollars. De kosten die gemaakt zijn voor het herbouwen van het wegennetwerk worden geschat op 4,7 miljard dollar. Ook verloren een kleine 3600 mensen hun leven tijdens deze orkaan. Na deze gebeurtenis is er veel gedaan op het gebied van water management. New Orléans kende voor de orkaan een bruisend bestaan met een multiculturele samenleving. Nadat de orkaan toegeslagen had is er in de samenleving van New Orléans veel veranderd. Mensen zijn verhuisd naar andere steden en complete stadsdelen zijn van functie getransformeerd. Rondom New Orléans zijn verschillende stormvloedkeringen gerealiseerd die toekomstige stormen moeten tegenhouden, met een overschrijdingskans van 1 op de 100 jaar. Ter vergelijking: in Nederland hebben de zeedijken een minimale overschrijdingskans van 1:4000/ 1:10000. Het verschil daarin zit hem erin, dat het vechten tegen het water in het Nederlandse DNA zit en niet bij de Amerikanen. *"Amerikanen willen bescherming tegen terroristen, niet tegen water"* (Marel, 2015). *De maatregelen op water management en meerlaagsveiligheid is bij de Amerikanen nog niet doorgedrongen. Nederland is op dit gebied koploper en zal de vruchten plukken bij eventuele overstromingen.* Voor Nederland waren de gebeurtenissen in New Orleans een wake-up call m.b.t. de waterveiligheid waardoor de Nationale rampoefening opgesteld is in 2008. (Waterproof, 2008)

INCAH - Casus Rotterdam Noord Klimateffecten bij wegen en kaden

Omtrent deze onderzoeksminder zijn er in Nederland al een aantal studies verricht. Kennis voor Klimaat heeft een gebiedsstudie uitgevoerd voor de omgeving Rotterdam Noord (Tara Geerdink, 2014). Binnen deze case study wordt er inzicht gegeven in de kwetsbaarheid van drie infrastructuurnetwerken (Wegen, elektriciteit en leidingen) en worden er oplossingen gepresenteerd die deze kwetsbaarheden kunnen indammen. Eén van de studies is het toetsen van de kwetsbaarheid van de A13 op een overstroming. Het scenario waarin een overstroming voor een bepaalde tijd standhoudt en verschillende functies binnen de maatschappij ontregelt is beproefd en geanalyseerd. Om een gedetailleerd beeld te krijgen van het probleem, is er een proces doorlopen waarin met belanghebbenden stakeholders en onderzoekers in conclaaf gegaan zijn. Door het uitwisselen van informatie met elkaar en het stellen van gerichte vragen, zijn er visies en perspectieven opgesteld. Door deze manier van samenwerken, is het mogelijk om een integrale kwetsbaarheidsanalyse te maken van de infrastructuur.

Het onderzoek bracht verschillende zwakheden en verbeterpunten aan het licht. Tevens biedt het inzicht in de evacuatie tijd die er voor de gemeenschap is om het gebied te verlaten. Uit deze analyse zijn een aantal adviezen opgesteld met betrekking tot het robuust maken van de snelweg:

- Alternatieve verhardingen die makkelijk te onderhouden of vervangbaar zijn;
- Grondverbeteringen toepassen om de waterafvoer te bevorderen (vooral in Veengebieden);
- Duikers onder de verhardingen tijdelijk afsluiten;
- Weg gebruiken als tijdelijke waterkering;
- Minder mensen toelaten op de weg;

Nieuwe Deltaprogramma

In het Deltaprogramma van 2016 zijn met alle overheden verschillende ambities uitgesproken met betrekking tot het klimaatbestendig en waterrobuust maken van Nederland. In dit programma staat de ambitie dat in 2050 Nederland klimaatbestendig ingericht moet zijn en bestand moet zijn tegen een overstroming. Overheden hebben tot 2020 om het bedrijfsleven en de maatschappij daaromheen bewust te maken van het nieuwe begrip 'ruimtelijke adaptatie'. Vanaf deze jaargang (2020) gaat het nieuwe beleid in omtrent dit begrip. Het Deltaprogramma stelt ook verschillende eisen en ambities aan het wegennet. Voor alle hoofdstukken binnen het Deltaprogramma is een drie stappen strategie opgesteld waaraan het gekoppeld wordt:

1. Weten: Analyse van het ruimtelijke adaptatievermogen in het gebied;
2. Willen: Ambities en strategieën opstellen aan de hand van de uitgevoerde analyse;
3. Werken: Een beleid maken aan de hand van de opgestelde ambities en strategieën.

In grote lijnen wil men het volgende inzichtelijk krijgen voor het hoofdwegennet:

1. Weten: Inzicht krijgen in de risico's;
2. Willen: Keuzes en classificaties maken in het wegennet;
3. Werken: Borging, implementatie en uitvoering van het keuzes en ambities.

(Jessica Keetelaar, 2015)

KPP Aanlegvraagstukken Klimaatbestendigheid geotechnische constructies

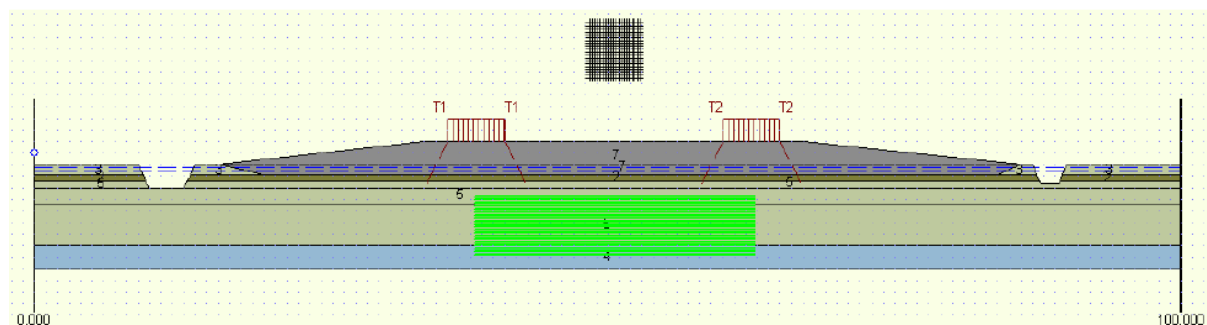
In de rapportage 'KPP Aanlegvraagstukken klimaatbestendigheid geotechnische constructies' (Landwehr, 2014) is uitgebreid onderzoek gedaan naar de robuustheid van het hoofdwegennet op verschillende 'zwakke schakels'. Binnen het vraagstuk zijn verschillende onderdelen onderzocht:

- Stabiliteit en sterkte van het weglichaam tijdens verschillende overstromingssituaties;
- Stabiliteit en sterkte gerelateerd aan safety-factoren;
- Stabiliteit en sterkte van de bermen onder bepaalde taludhellingen.

Binnen het onderzoek wordt er eerst onderzoek gedaan naar de verschillende vormen van het falen van de wegconstructie. Door het inzichtelijk maken van deze faalmechanismes wordt er meer duidelijkheid geboden over de mogelijke toedracht van het bezwijken van de wegconstructie. Zo wordt er geschetst dat de weg door de volgende gebeurtenissen kan bezwijken:

- Bezwijken door verlies aan draagkracht ondergrond;
- Bezwijken door verlies aan draagkracht wegverharding;
- Bezwijken door verlies aan macrostabiliteit wegtalud;
- Bezwijken door verweking wegtalud;
- Bezwijken door uittreding grondwater uit de wegconstructie;
- Bezwijken door erosie uitstromend water.

De desbetreffende onderwerpen worden uitgebreid onderzocht en geven een duidelijk inzicht in de gevolgen. Uit de onderzochte wegprofielen is gebleken dat er geen verlies aan draagkracht is tijdens het onderwater staan van de wegconstructie. Alleen bij uitzonderlijke gevallen waarbij zeer zwaar wegverkeer (>200KN) over de vluchtstrook rijdt, is de kans aanwezig dat de stabiliteit in gevaar komt.



Figuur 3 Dwarsprofiel stabiliteitstoetsing vanuit modelleringsprogramma D-Geo stabiliteit (Deltares, D-Geostability, 2016)

Ook werden er geen resultaten gevonden waaruit bleek dat de wegtaluds zouden bezwijken of uitspoelen bij of na een overstroming. Omdat de wegtaluds langs de Nederlandse snelwegen relatief vlak zijn (flauwer dan 1:5) is de kans op uitspoeling gering. Wel wordt aangekaart dat er op plekken waar de ruimte gering is en er minder plek is voor een grondlichaam de kans aanwezig is op verweking. Deze verweking is mogelijk bij viaducten of andere kunstwerken.

De belangrijkste conclusie uit deze rapportage is, dat het grondlichaam naast de weg de belangrijkste component is met betrekking tot de stabiliteit van de wegconstructie. Is de berm te smal, dan is de kans op bezwijken van de wegconstructie vele maler groter.

Meerlaagsveiligheid

Het huidige veiligheidsbeleid is gebaseerd op een overschrijdingskans van 1 op een aantal jaar. Hierin wordt er vanuit gegaan dat de waterkering een storm kan weerstaan die eens in een aantal jaar voorkomt. Bij het eventueel falen van de constructie zijn de kosten niet te overzien en is maatschappelijke ontwrichting onvermijdelijk. Hierdoor is er met het oog op de toekomst een nieuw beleid gevormd.

Ruimtelijke adaptatie is voortgekomen uit het concept meerlaagsveiligheid dat in 2008 in het leven geroepen is. Meerlaagsveiligheid bestaat in principe uit drie lagen. Bij deze drie lagen worden alle facetten van de maatschappij meegenomen en worden gebieden ingedeeld in economische klassen. Heeft een gebied veel economische waarde, dichte bevolking en/ of belangrijke vitale infrastructuur, dan is de classificatie hoger dan bij een gebied die dat niet heeft. De veiligheid per persoon blijft. Iedereen die zich gevestigd heeft in Nederland heeft het recht beschermd te worden door een dijk, duin of dam. In de Wet op de waterkering (1996) is opgenomen dat de overlijdenskans bij een overstroming niet meer mag zijn dan 1:100.000 jaar.

In het nieuwe beleid worden vitale infrastructuren extra beschermd tegen een eventuele overstroming. De kritische infrastructuur is het scharnierpunt van iedere crisis. Zijn deze infrastructuren slecht beschermd tegen een overstroming dan is de kans op maatschappelijke ontwrichting groot en is de tijd van herstel vele malen langer. In het nieuwe beleid staat het dijkringenstelsel niet meer centraal maar worden dijkringen per traject ingedeeld (H.Massink, 2015). Dit is gedaan omdat er binnen een dijkkring een verschil in economische waarde kan zijn. Het zuidelijke gedeelte kan bijvoorbeeld meer waarde hebben dan het noordelijke gedeelte. Hierdoor is er een transitie gaande van het indelen van gebieden in dijkringen, naar het indelen van gebieden in dijktrajecten.

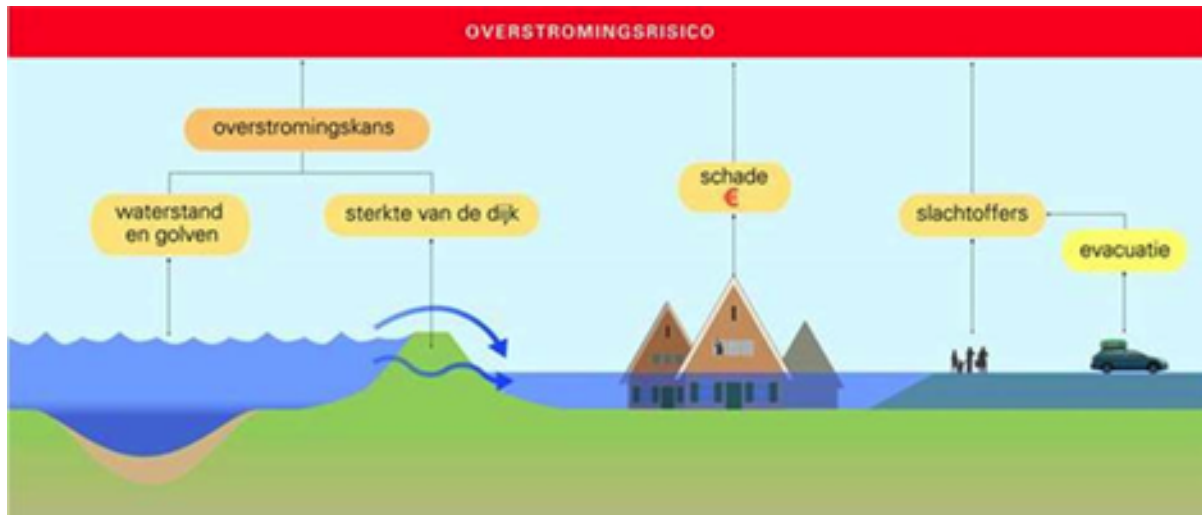
De verschillende lagen binnen deze veiligheidsvisie bieden een betere veerkracht en weerbaarheid bij een eventuele overstroming. Laag 1 is de veiligheid met betrekking tot de primaire waterkeringen. De primaire waterkeringen in Nederland zijn sinds de afronding van het project zwakke schakels van hoge kwaliteit. (rijksoverheid, 2012) In deze laag is voor de komende 50 jaar weinig winst te halen omdat deze al voldoen aan de geldende eisen.

In laag 2 valt nog veel winst te halen. Deze laag is verantwoordelijk voor het inperken van de gevolgen tijdens en na een overstroming. Dit is een nieuw onderdeel binnen het Nederlands waterbeleid. Door de nieuwe manier van denken moet er nog veel gedaan worden om uiteindelijk tot een klimaat adaptief landschap te komen. Door een duurzame aanpak kan er een waterrobuuste omgeving gerealiseerd worden die tijdens en na een overstroming een veerkrachtige reactie kan geven. Verschillende voorbeelden van ruimtelijke adaptatie zijn (deltaproof, 2015):

- Compartimentering (Een groter gebied verdelen in kleinere gebieden);
- Verhoogd bouwen, waterproof bouwen, drijvend bouwen;
- Kritische infrastructuur robuust maken (strategisch, beschermd aanleggen van infrastructuur);
- Crisismanagement (zorgen voor vluchtplaatsen/ routes);
- Zonering (classificeer gebieden m.b.t. overstromingsgevaar).

Deze maatregelen zorgen uiteindelijk dat vitale infrastructuren beschermd/ robuust zijn voor overstromingen en de kosten gereduceerd zullen zijn.

Net als laag 2 is laag 3 ook een relatief nieuw begrip. In deze laag van meerlaagsveiligheid wordt het crisismanagement vastgelegd. Landelijke richtlijnen zijn hiervoor bekend maar op regionaal vlak is dat nog niet het geval. Specifieke informatie per deelgebied kunnen bijdragen aan een betere evacuatie en kunnen levens redden.



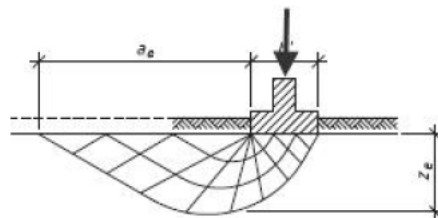
Figuur 4 Overstromingsrisico http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Meerlaagsveiligheid_in_de_praktijk.aspx

Faalmechanisme

Om een oordeel te kunnen geven over de kwetsbaarheden van de wegconstructie, is het belangrijk om bepaalde faalmechanismes te beschrijven.

Verlies aan draagkracht ondergrond

Bij een overstroming stijgt de waterstand van het oppervlakewater. De grondwaterstand zal ook stijgen na verloop van tijd en dit heeft als gevolg dat de draagkracht van de ondergrond af zal nemen. Als de grondwaterstand te hoog wordt, kan de wielbelasting niet meer worden opgenomen door de wegconstructie en is het mogelijk dat de wegconstructie bezwijkt.



Legenda

a_e is de invloedsbreedte
 z_e is de invloedsdiepte

Figuur 5 Verlies aan draagkracht ondergrond (Landwehr, 2014)

Het principe van deze vorm van bezwijken is weergegeven in figuur 5 waarbij de richting naar links is aangenomen. In het figuur is tevens te zien dat de invloedsbreedte veel groter is dan de invloeddiepte. Het is belangrijk dat de invloedsbreedte binnen de wegconstructie valt. Is dit niet het geval dan is het mogelijk dat het talud kan bezwijken.

Microstabiliteit

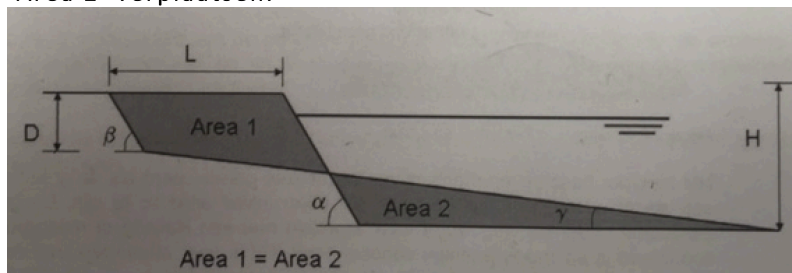
Nadat een overstroming plaats heeft gevonden en stand heeft gehouden, is het grondwater in het weglichaam ook gestegen. Nadat het water uit het gebied gepompt is, daalt het grondwater ook gestaag. Als de grondwaterstand niet mee kan dalen met de waterstand buiten het grondlichaam, is het mogelijk dat de zanddeeltjes in het grondlichaam uitspoelen via het talud. Deze uitspoeling kan ervoor zorgen dat de stabiliteit van het weglichaam achteruit gaat. Omdat de afdekking van het weglichaam vaak van klei is, is de kans op uitspoeling gering. De doorlatendheid van klei is zeer slecht, waardoor de uittreding van water minimaal zal zijn.

Bezwijken door macrostabiliteit:

Als het weglichaam bezwijkt door een tekort aan macrostabiliteit, komt dit doordat de korrelweerstand in het talud te klein is. Hierdoor zal de berm afschuiven en afkalven. In het geval van een overstroming zal de grondwaterspiegel binnenin het grondlichaam veranderen en dus ook de stabiliteit ervan. De opneembare schuifspanning plus het tegenwerkende moment zal afnemen waardoor er instabiliteit kan optreden en het grondlichaam uiteindelijk kan bezwijken.

Bezwijken door verweking:

Doordat de weg op veel plekken in een ophoging gelegen is, is er tijdens en na een overstroming kans op verweking. Net als bij het verlies van de macrostabiliteit is er bij verweking een verlies aan opneembare schuifspanning. Dit heeft als gevolg dat het talud kan bezwijken en het onderuit kan zakken. In figuur 4 is te zien wat de gevolgen kunnen zijn van verweking. Het talud kan over een lengte L afschuiven en de grond aanwezig in 'Area 1' naar 'Area 2' verplaatsen.



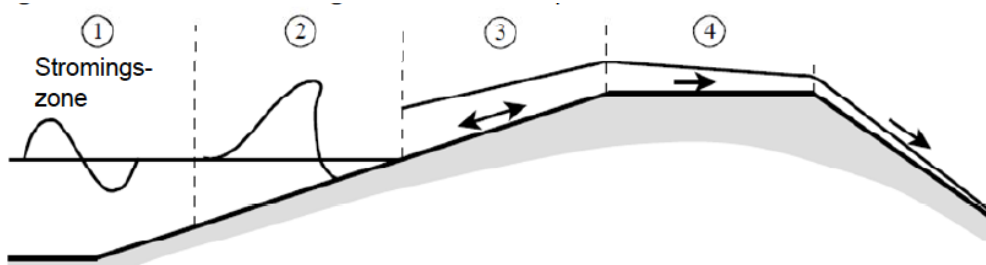
Figuur 6 Gevolgen verweking wegtalud (Landwehr, 2014)

Als de taludhelling van het grondlichaam steiler is dan 1:2, dan is de kans op verweking groter dan bij flauwere taluds. Een erosiebestendige grasbekleding op de taludhelling kan helpen tegen het verweken van het grondlichaam. De belangrijkste parameter voor het verweken van het talud is de pakkingsdichtheid.

Dit faalmechanisme wordt in dit onderzoek niet meegenomen i.v.m. niet te verwachten afschuiving door de vlakke taludhellingen in Reimerswaal. Een talud van 1:4 en flauwer zal eveneens niet kunnen afschuiven, tenzij de fundatie bestaat uit veen (Meer, 2012). In de gemeente Reimerswaal bestaat de grond uit klei of zand en uit flauwere taluds dan 1:4 waardoor dit faalmechanisme n.v.t. is.

Erosie door Stromend water:

De wegconstructie wordt zoals eerder beschreven beschouwd als een dijklichaam. Bij een dijklichaam kan er bij grote golven sprake zijn van golfoverslag. Van dit principe is ook sprake bij een overstroming van een weglichaam. Zie het principe terug in figuur 7.



Figuur 7 Principe golfoverslag weglichaam (Meer, 2012)

De grasbekleding die op het bermtalud aanwezig is, is van groot belang voor de erosiebestendigheid ervan. Obstakels en overgangen naar kunstwerken zijn kwetsbare locaties waar erosie zou kunnen optreden.

4. Resultaten

4.1 Welke parameters zijn er voor het D-Geo Stability model nodig om de stabiliteit te toetsen tijdens en na een overstroming?

In deze paragraaf wordt er meer informatie gegeven over welke parameters nodig zijn om de stabiliteit van de Rijksweg te kunnen toetsen. Om de snelweg te laten functioneren tijdens en na een overstroming, is het van essentieel belang dat er duidelijk is wat de gevolgen zijn van een overstroming. Als uit onderzoek blijkt dat de wegconstructie onvoldoende stabiliteit heeft, moeten er aanpassingen gedaan worden die ervoor zorgen dat de wegconstructie wel genoeg stabiliteit heeft. De stabiliteit van de wegconstructie wordt getoetst met het modelleringsprogramma D-Geo Stability van Deltares.

Een parameter is een variabele of constante in een model waar een waarde aan moet worden toegekend om tot een uitkomst van de berekening te komen. In deze paragraaf gaan de benodigde parameters beschreven worden. Voor het eerste onderzoek (D-Geo Stability model) is het aantal parameters groter dan bij het tweede onderzoek (toetsing grasbekledingen). Het model vraagt voor verschillende functies een x-aantal gegevens. Deze gegevens kunnen d.m.v. het raadplegen van verschillende bronnen en instanties gevonden worden.

4.1.1 Onderzoek locaties vaststellen

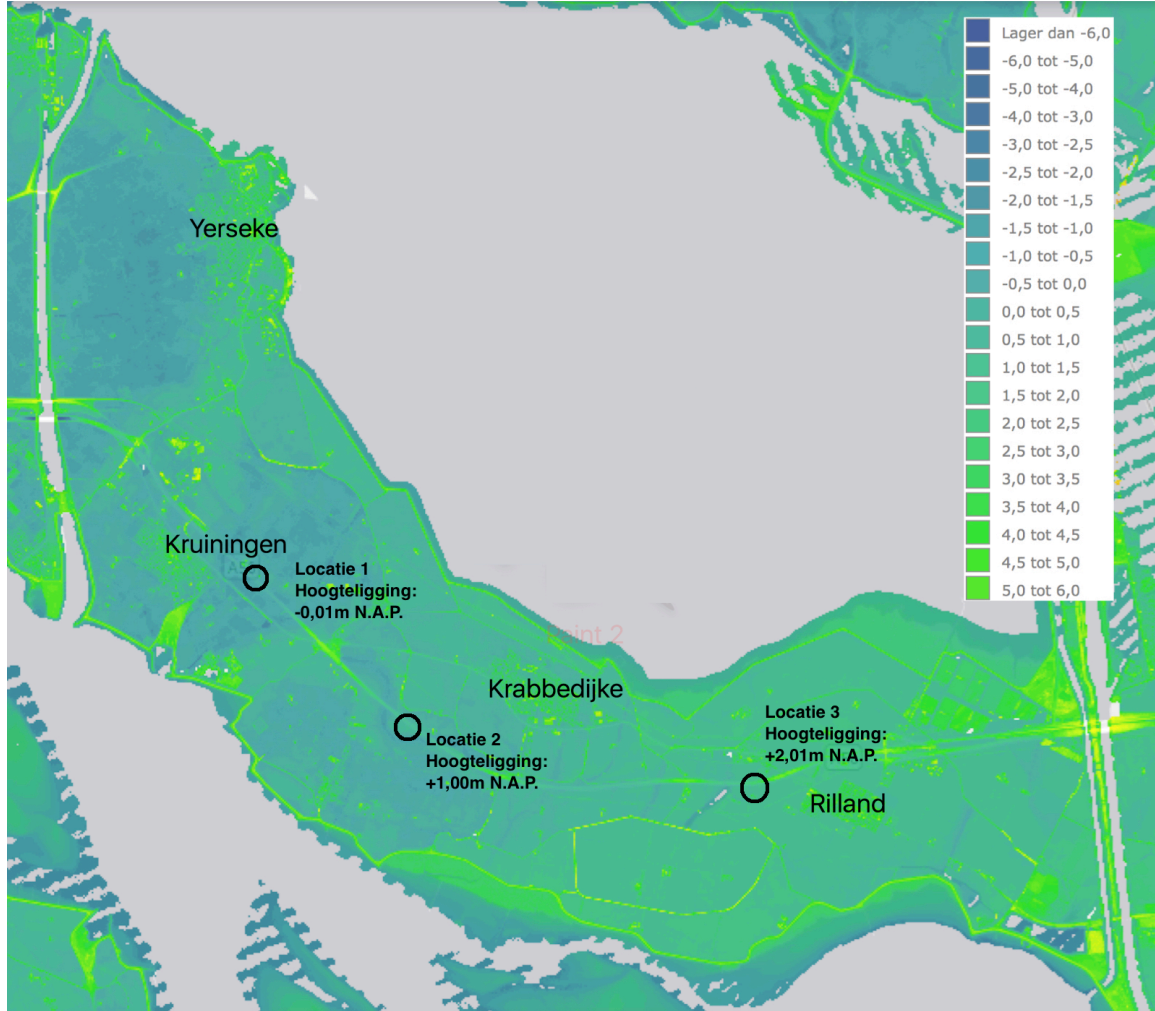
Ten eerste is het belangrijk dat de te onderzoeken locaties bepaald worden. Per locatie kan er naderhand onderzoek gedaan worden naar de parameters. Het bepalen van de te onderzoeken locaties wordt gedaan aan de hand van hoogteligging. Hiervoor is gekozen omdat er getoetst wordt via verschillende overstromingsscenario's. De verschillende hoogtes waaraan de Rijksweg getoetst wordt, geeft uiteindelijk een overzichtelijk inzicht m.b.t. stabiliteit.



Figuur 8 Google earth gekozen locaties + kilometrering (Applemaps, 2016)

4.1.1.1 Algemene hoogtekaart Nederland

Op de algemene hoogtekaart Nederland is goed te zien wat de hoogtes zijn binnen het gebied. De hoogtes van Reimerswaal worden weergegeven in de kleuren blauw (laag) en groen (hoog). Op de kaart is goed te zien dat de laagst gelegen gebieden tussen Kruiningen en Krabbedijke liggen. Uiteindelijk worden drie locaties onderzocht.



Figuur 9 Algemene hoogtekaart Nederland ingezoomd op de gemeente Reimerswaal
<http://www.ahn.nl/pagina/viewer.html> (Nederland, 2016)

Met behulp van de Algemene hoogtekaart Nederland is een keuze gemaakt m.b.t. de te onderzoeken locaties. De drie locatie zijn gelegen op:

Locatie 1 - Kilometrering hpm 136.00 – Hoogteligging -0,01m N.A.P.

Locatie 2 - Kilometrering hmp 133.00 – Hoogteligging +1,00m N.A.P.

Locatie 3 - Kilometrering hmp 127.30 – Hoogteligging +2,01m N.A.P.

In Bijlage I zijn meer foto's ingevoegd m.b.t. de gekozen locaties.

22 juni 2016

Zoals te zien is in de gegevens is er gekozen voor drie verschillende hoogtes die nagenoeg afgerond zijn op hele meters. Het laagste punt van de snelweg is gelegen op locatie 1 en staat tijdens een overstroming het langs onderwater. De verwachting is dan ook dat deze locatie de maatgevende plaats is m.b.t. instabiliteitsproblemen. De overige twee locatie zijn gelegen op hogere delen binnen het gebied.

Matrix overzicht locaties					
Weg locatie	hmp	Weg hoogte	Drooglegging	Xcoor	Ycoor
		[N.A.P.]	[m]		
Rijksweg A58	136.00	-0,01	2,41	61918	385137
Rijksweg A58	133.00	1,00	1,74	64237	382951
Rijksweg A58	127.30	2,01	1,73	69728	381917

Tabel 1 Overzicht parameters onderzoeklocaties

De X- en Y-Coördinaten die weergegeven zijn in tabel 1 komen voort uit het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting.

4.1.2 Overzicht belangrijkste parameters model

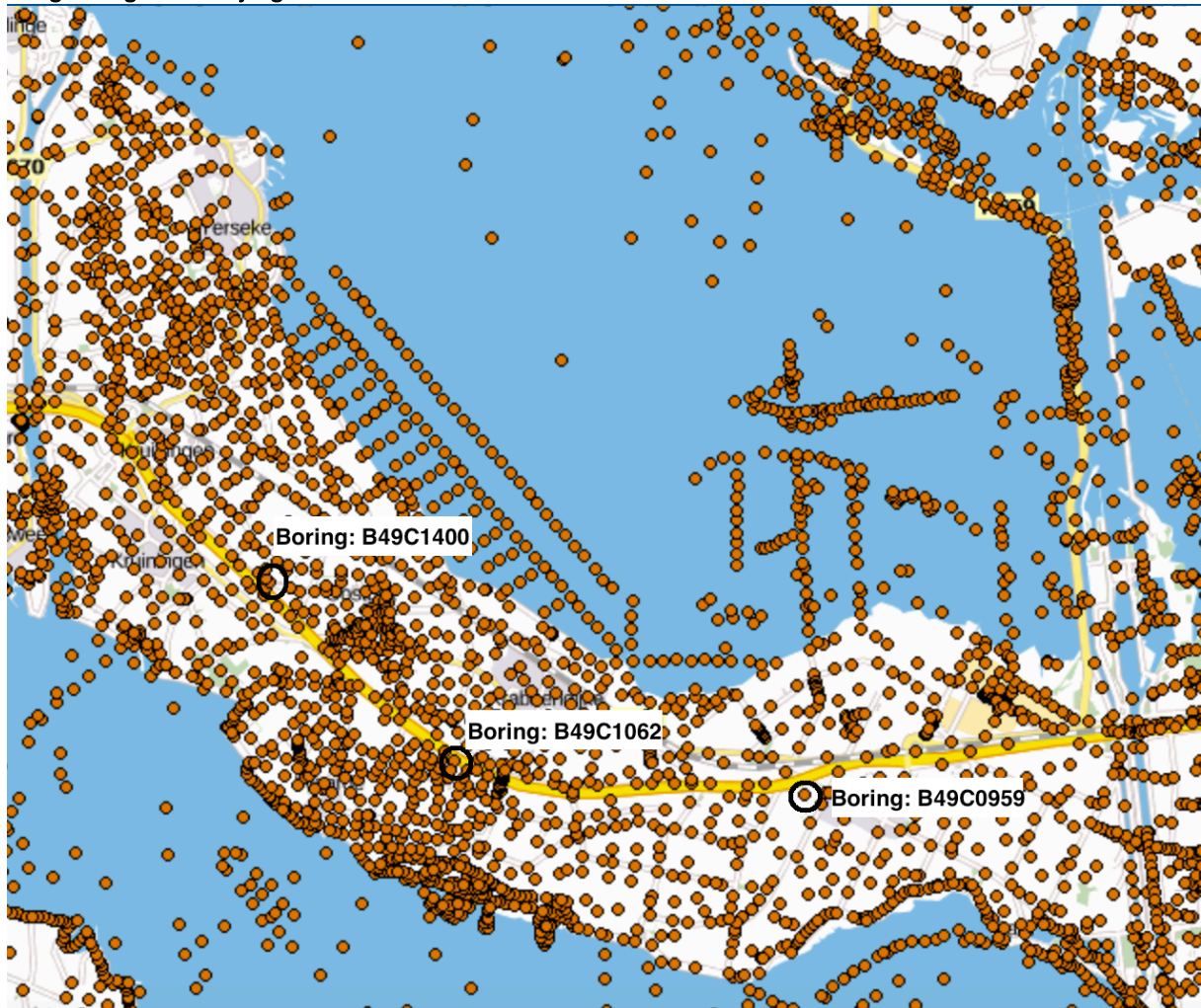
Voor het programma D-Geo Stability zijn er verschillende parameters nodig om het model te kunnen modelleren. In het onderzoeksvorstel is de onderzoekscycles van het modelleringsprogramma beschreven. Hierin staan alle stappen beschreven die nodig zijn om tot een volwaardig en werkend model te komen.

Matrix parameters D-Geo Stability						
Hoofdrijbaan	Locatie 1		Locatie 2		Locatie 3	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Hoogte kant asfalt [NAP]	-0,30	-0,30	0,70	0,70	1,70	1,70
Maaiveldniveau [NAP]	-0,90	-1,10	0,10	0,10	0,50	0,50
Hoogte Talud [NAP]	-0,80	-0,80	0,30	0,20	1,10	1,10
Breedte Talud [m]	4,80	4,20	3,00	3,00	4,00	4,00
Taludhelling	2:3	2:3	2:3	2:3	2:3	2:3
Freatische waterstand [NAP]	-2,41		-0,74		-0,55	
Overstromingsniveau [NAP]	+1,50		+2,20		+2,70	
Waterniveau [NAP]	-2,50	-2,50	-0,90	-0,85		
Toplaag bermen	Klei		Klei		Klei	
Ondiepe lagen	Klei		Klei		Zand	
Diepe lagen	Zand		Zand		Zand	

Tabel 2 Matrix overzicht parameters D-Geo Stability

4.1.3 Grondopbouw

Het D-Geo Stability modelleringsprogramma heeft voor het bepalen van de stabiliteit van de wegconstructie de opbouw van de ondergrond nodig. Deze gegevens kunnen gegenereerd worden vanuit het openbaar beschikbare DINOloket platform. Dit platform beschikt binnen Nederland over veel informatie over de bodemopbouw. Per locatie is er een boring gevonden die de parameters omtrent de grondsoort gedetailleerd weergeeft. In de figuur 10 is te zien waar de boringen gevonden zijn en welke boring er gebruikt is. Overige parameters m.b.t. conservatieve grondparameters worden uit de NEN 9997 tabel 2 gehaald. De tabel is toegevoegd aan bijlage II.



Figuur 10 Sondeeroverzicht DINOloket <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen> (DINOloket, 2016)

22 juni 2016

Locatie 1 t.p.v. hmp 136.00 heeft tot een diepte van 5,70m t.o.v. N.A.P. zwak tot slappe grond. Dit is bepaald op basis van boormonsterprofiel B49C1400. Dit boormonsterprofiel rijkt tot een diepte van -6,00m N.A.P. en is aangevuld met boormonsterprofiel B49C0141 tot -10,00m N.A.P. De weghoogte van dit profiel bedraagt -0,30m N.A.P.

Matrix Grondopbouw Locatie 1 N.A.P. 0,01		
Grondsoort	Van [N.A.P.]	Tot [N.A.P.]
Klei	-0,30	-2,00
Veen	-2,00	-2,20
Klei	-2,20	-6,00
Zand	-6,00	-10,00

Tabel 3 Grondopbouw locatie 1

Locatie 2 t.p.v. hmp 133.00 bestaat uit 7,60m kleiige grond met een tussenveenlaag op -1,60m t/m 2,60m onder het maaiveld op basis van boormonsterprofiel B49C1062. Dit boormonsterprofiel rijkt tot een diepte van -7,20m N.A.P. en is aangevuld met boormonsterprofiel B49C0141 tot -10,00m N.A.P. De weghoogte van dit profiel bedraagt 0,70m N.A.P.

Matrix Grondopbouw Locatie 2 N.A.P. 1,00		
Grondsoort	Van [N.A.P.]	Tot [N.A.P.]
Klei	0,40	-1,00
Zand	-1,00	-1,10
Klei	-1,10	-1,60
Veen	-1,60	-2,60
Klei	-2,60	-7,00
Veen	-7,00	-7,20
Zand	-7,20	-10,00

Tabel 4 Grondopbouw locatie 2

Locatie 3 t.p.v. hmp 127.30 bestaat uit een dikke kleilaag van 1,20m met daaronder een zandlaag van 1,80m. Vervolgens is er een zwakke veenlaag aanwezig met een dikte van 2,00m op basis van boormonsterprofiel B49C0959 die rijkt tot een diepte van -4,00m N.A.P. De overige grondopbouw is uit boormonsterprofiel B49C0141 gehaald. De weghoogte van dit profiel bedraagt 1,70m N.A.P.

Matrix Grondopbouw Locatie 3 N.A.P. 2,01		
Grondsoort	Van [N.A.P.]	Tot [N.A.P.]
Klei	1,20	0,00
Zand	0,00	-1,80
Veen	-1,80	-3,80
Zand	-3,80	-10,00

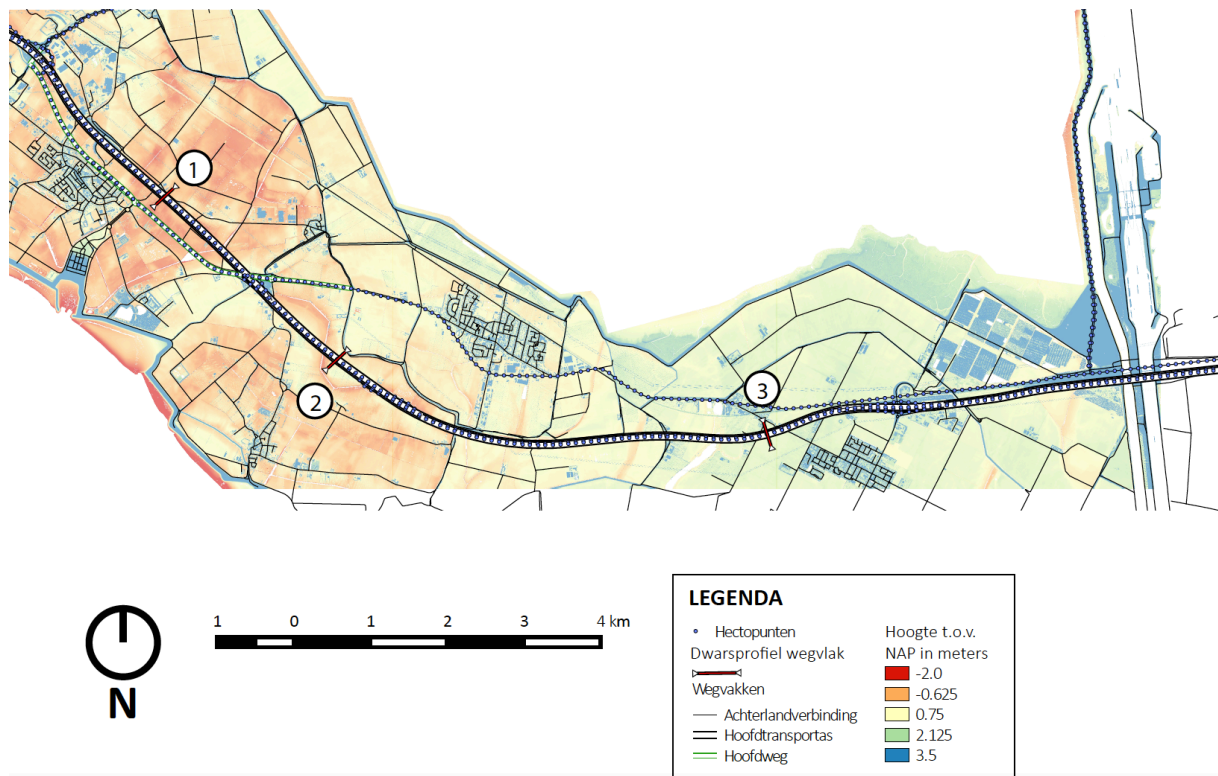
Tabel 5 Grondopbouw locatie 3

De visualisaties m.b.t. de grondopbouw die gegenereerd zijn uit het DINOloket zijn ingevoegd in bijlage II.

4.1.4 Constructie afmetingen/ opbouw

Voor het bepalen van de afmetingen van de verschillende weglichamen, is gebruik gemaakt van de GIS-analyse. Deze methode is toegepast i.v.m. het ontbreken van dwarsprofielen die aangevraagd zijn bij Rijkswaterstaat.

De punten die zijn weergegeven in de onderstaande kaart, die is opgebouwd uit het AHN3 DSM model en het nationale wegen bestand van Rijkswaterstaat (RWS, 2015), zijn voortgekomen uit de hoogtebepaling van de algemene hoogtekaart Nederland (Nederland, 2016). Er is gekozen voor het AHN3 DSM, omdat deze is bedoeld als ruw bestand. Waarbij alle punten behalve die geïdentificeerd als "water" tot een raster zijn herbemonsterd op basis van een Squared IDW methode. Er zijn geen verdere bewerking uitgevoerd. Bij het DTM bestand zijn alle kunstwerken weg gefilterd.



Figuur 11 Overzichtstekening AHN3 DSM model

Hieronder de afmetingen van de onderzochte dwarsprofielen:

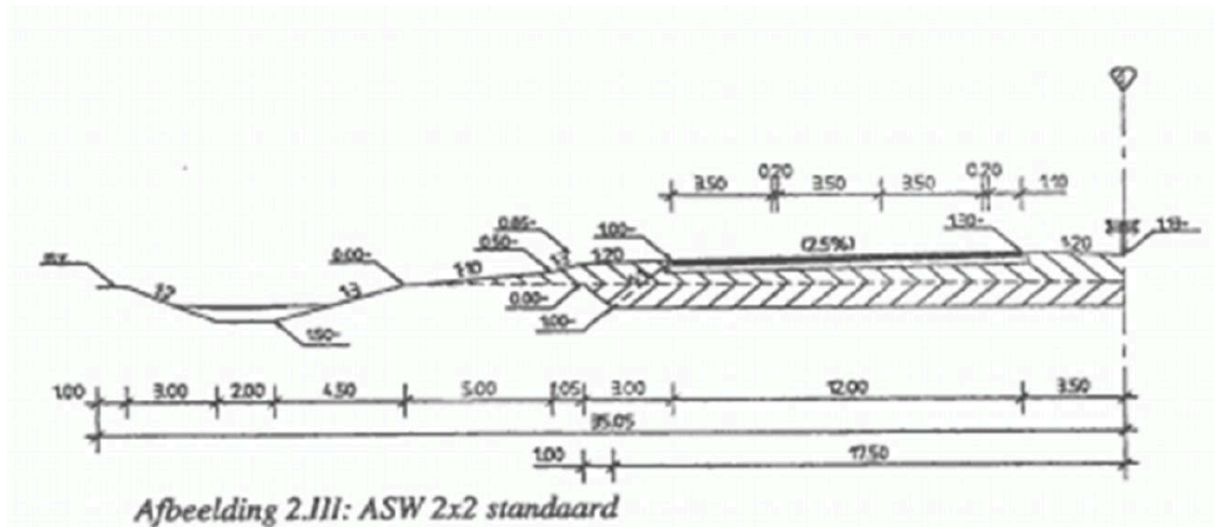
Matrix afmetingen dwarsprofielen						
	Locatie 1		Locatie 2		Locatie 3	
	Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Hoogte kans asphalt [NAP]	-0,30	-0,30	0,70	0,70	1,70	1,70
Maaiveldniveau [NAP]	-0,90	-1,10	0,10	0,30	0,50	0,50
Hoogte Talud [NAP]	-0,80	-0,80	0,30	0,20	1,20	1,20
Breedte Talud [m]	2,25	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00
Taludhelling	1:3	1:3	2:3	2:3	2:3	2:3

Tabel 6 Matrix afmetingen dwarsprofielen

In bijlage III zijn de dwarsprofielen en gegenereerde hoogtegrafieken uit het GIS-model toegevoegd.

De basis ontwerpregels zijn verworven uit de richtlijn ontwerp autosnelwegen 2014 (CROW, 2014). In deze richtlijn wordt aangegeven dat een standaard opbouw van de Rijksweg er als volgt uitziet:

Asfaltdikte = 0,28 meter
 Granulaat = 0,25 meter
 Zandpakket = 2,00 meter



Figuur 12 Standaard wegconstructie Rijksweg 2x2 (Landwehr, 2014)

De constructielagen zijn zo aangelegd zodat deze vanaf kantasfalt in een denkbeeldige lijn van 45 graden naar beneden lopen. Dit wordt in de wegebouw toegepast i.v.m. het afdragen van belastingen. Voor de wegtaluds is voor de bermen een helling aangenomen van 1:20 en voor de rijbaan is deze vastgesteld op 2,5%. De Watergangen zijn a.d.h.v. de hoogtegrafieken uit GIS bepaald. Hieruit is gebleken dat het gemiddelde talud 2:3 is. Omdat de diepte van de watergangen niet bekend zijn, zijn deze aangenomen op een diepte van 1 meter.

4.1.5 Grondwaterstand/ drooglegging

Net als de bodemopbouw zijn de grondwaterstanden opgehaald vanuit het DINOloket. De grondwaterstanden zijn van groot belang voor het model. Als de grondwaterstand binnen het weglichaam te hoog wordt, wordt de stijfheid van de grond kleiner. Dit effect kan grote gevolgen hebben voor de stabiliteit van de weg. Voor Rijkswegen binnen Nederland is een drooglegging (afstand tussen bovenkant asfalt tot grondwaterstand) van 1,30m vastgesteld. De waterstand in de watergangen langs de snelweg zijn doorgaans lager i.v.m. de opbolling van het freatische grondwater.

De locaties van de gevonden grondwaterstanden zijn weergegeven in figuur 13 en de informatie is in tabel 7 weergegeven.



Figuur 13 Grondwateronderzoeken overzicht locaties <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen> (DINOloket, 2016)

Matrix Grondwateronderzoek				
	Boring	Maaiveld	Grondwater-	Drooglegging
		[N.A.P.]	stand [N.A.P.]	[m]
Locatie 1	B49C0141	-0,76	-2,41	1,65
Locatie 2	B49C0140	0,33	-1,41	1,74
Locatie 3	B49C0135	1,88	-0,55	2,43

Tabel 7 Matrix parameters t.b.v. grondwaterstanden

In de toetsing is de doorlatendheid van de grond een belangrijke parameter. De doorlatendheid van de grond bepaald de tijd die nodig is waarin het grondwater kan terugkeren naar de oorspronkelijke situatie. Als de doorlatendheid groot is, betekend dit dat het grondwater zich snel na het leegpompen van gebied terugkeert naar zijn normale situatie. Uit het onderzoek dat uitgevoerd is door Deltares (Landwehr, 2014) blijkt dat er een maatgevend situatie voortdoet als het gebied wordt leeggepompt. De snelheid van het leegpompen heeft grote invloed op de stabiliteit van de weg. In de tabel hieronder is de doorlatendheid per grondsoort weergegeven.

grondsoort	doorlatendheid (m/dag)
zware klei	0.0001
potklei	0.001
matig zware klei	0.01
zandige klei	0,05
keileem	0,05
veen	0.001 - 0.1
kleilig veen	0,005
sterk zandig veen	0,05
leem/löss	0,05
zandige leem	0,3
lichte zavel	0,5
teelaarde	5
schelpen	30
fijn zand	1 - 10
duinzand	7
grof zand	30
zeer grof zand	80
uiterst grof zand	200
fijn grind	1.000 - 10.000
grof grind	10.000 - 100.000

Tabel 8 Doorlatendheid per grondsoort in meters per dag

<http://www.grondwaterformules.nl/index.php/vademecum/ondergrond/globale-doorlatendheid> (grondwaterformules, 2016)

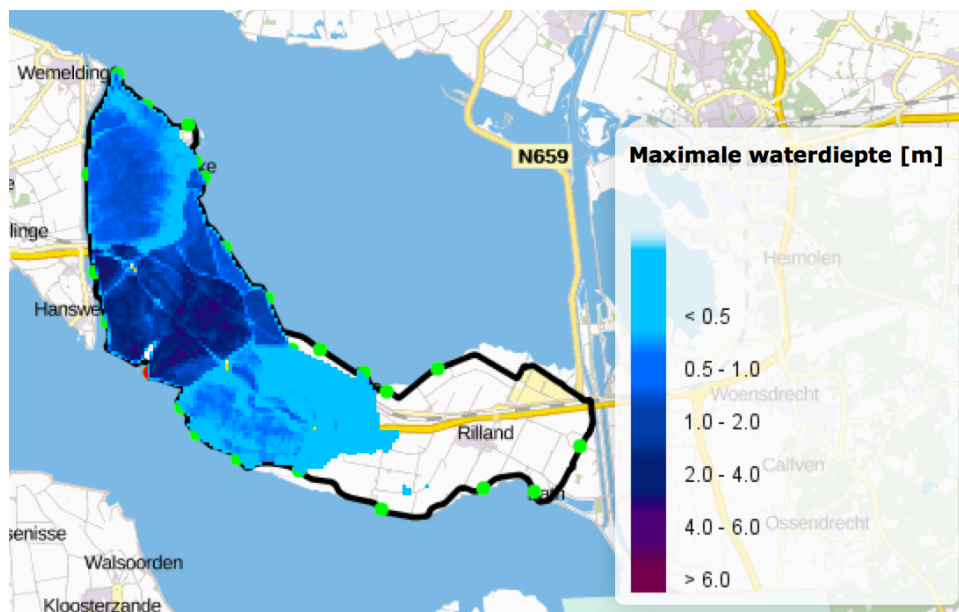
4.1.6 Overstromingsscenario's

Het overstromingsscenario wat ingevoerd gaat worden in het D-Geo Stability modeleringsprogramma betreft de waterdiepte en de snelheid waarmee het zeewater de Rijksweg nadert. De noordzijde van de gemeente Reimerswaal wordt beschermd door een extra primaire stormvloedkering gelegen in de Oosterschelde. Het scenario dat aan de noordzijde een dijkdoorbraak komt is daardoor niet aannemelijk en niet maatgevend. De maatgevende dijkdoorbraak die ook de meeste kans tot voorkomen heeft is een dijkdoorbraak aan de zuidzijde van Reimerswaal via de Westerschelde.

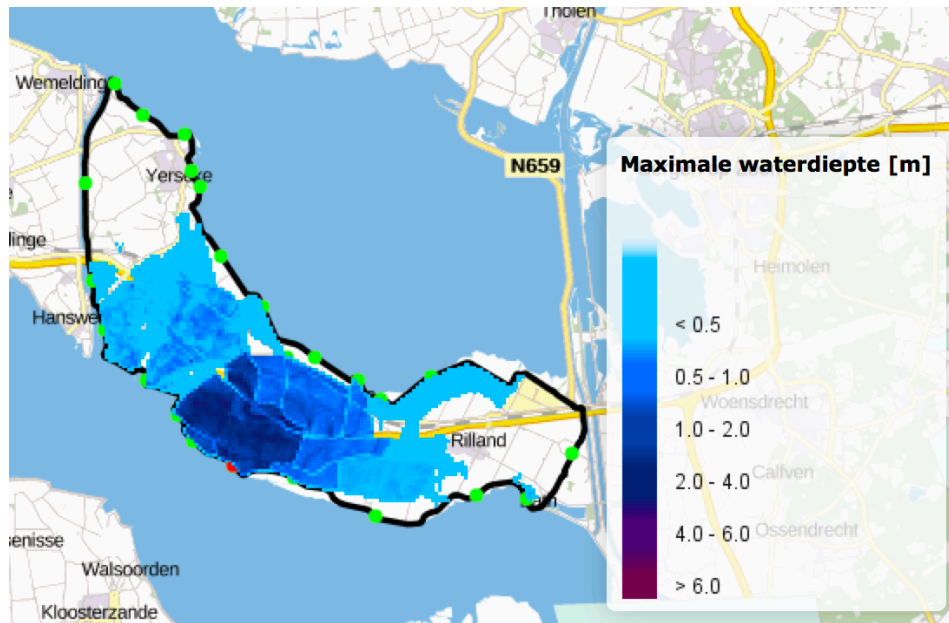
In het vooronderzoek geschreven door J. Kuzmin (Kuzmin, 2014) wordt aangegeven dat de maatgevende dijkdoorbraken gelegen zijn op de volgende plaatsen:

- Oost-inkelenpolder;
- Waardepolder-Oost;
- Bath;

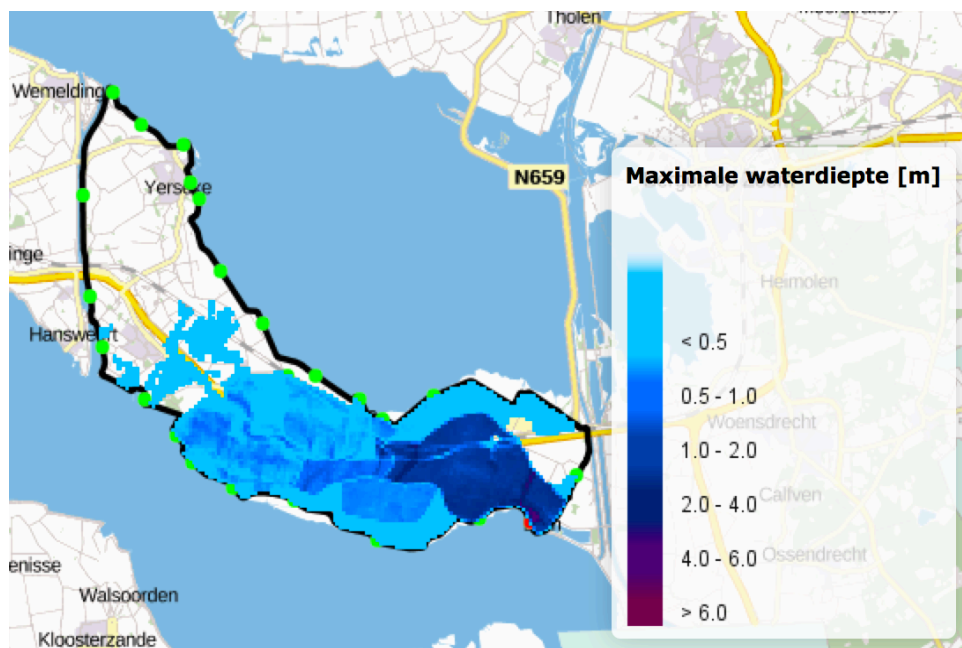
De gekozen dijkvakken zijn op basis van overstromingsgrote en de mate van waterdiepte vorming binnendijs gekozen. De waterdiepte vorming in het gebied wordt over een groot gebied meer dan 4 meter t.o.v. het maaiveld. De waterstand t.p.v. de Rijksweg zal minder zijn dan deze 4 meter. Dit komt doordat de Rijksweg aangelegd is in een ophoging. Dit is ook goed te zien in figuur 14. Voor locatie 1 is dit overstromingsscenario maatgevend.



Figuur 14 Overstromingsscenario t.b.v. onderzoek locatie nr. 1 t.p.v. Oost-inkelenpolder gegenereerd op <http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo/48/77/13715/13977/13984/13985> (Overstromingen, 2016)



Figuur 15 Overstromingsscenario t.b.v. onderzoek locatie nr. 2 t.p.v. Waardepolder-Oost gegenereerd op <http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo/48/77/13715/14034/14041/14042> (Overstromingen, 2016)



Figuur 16 Overstromingsscenario t.b.v. onderzoek locatie nr. 3 t.p.v. Bath <http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo/48/77/13715/14110/14117/14118> (Overstromingen, 2016)

In de rapportage 'KPP Aanlegvraagstukken Klimaatbestendigheid geotechnische constructies' (Landwehr, 2014) wordt beschreven hoelang een overstroming in een gebied standhoudt. Hier wordt beschreven dat het na een dijkdoorbraak 5 dagen duurt voordat het dijkvak gedicht is. Vervolgens duurt het nog eens 15 dagen voordat het water teruggebracht is tot polderpeil. Deze 15 dagen is een variabele die als gemiddelde is gebruikt. De verlagingssnelheid van het waterpeil binnendijks gebeurt met een snelheid van 0,13m per dag (2m per 15 dagen). In tabel 9 is het verloop van een dijkdoorbraak geschematiseerd.

22 juni 2016

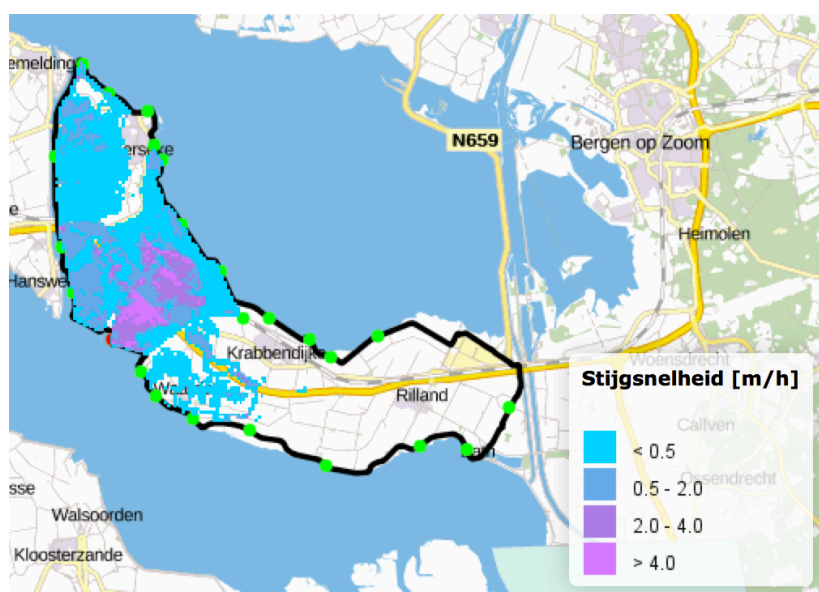
Tijd [dagen]	Beschrijving	Toelichting
- X	Doorbraak	Er treedt een doorbraak op. Vanaf dat moment stroomt het achterliggende gebied gedurende X dagen vol tot een evenwichtswaterstand wordt bereikt. Afhankelijk van lokale omstandigheden (weerstand van het gebied, secundaire/tertiaire keringen) bereikt het water een bepaalde hoogte bij de rijksweg.
0	Water tegen rijksweg of op rijksweg	
5	Doorbraak gedicht en start wegpompen	Vanaf dit moment zakt het 'buitenwater' en zal het grondwater in het weglichaam deze daling volgen afhankelijk van de doorlatendheid de grond in het weglichaam
20	Water op beheerniveau (polderpeil)	

Tabel 9 Overzicht overstromingsverloop dijkdoorbraak (Landwehr, 2014)

Op het Liwo (Landelijk Informatiesysteem Water en Overstromingen) is het mogelijk om meer parameters omtrent de overstromingsscenario's te genereren. Ook van belang zijn de stroomsnelheden en de tijd die het water nodig heeft om tot de Rijksweg te komen. De desbetreffende parameters zijn weergegeven in tabel 7.

Matrix Overstromingsscenario parameters				
	Dijkdoorbraak t.p.v.	Aankomsttijd X - dagen	Stroomsnelheid [m/s]	Waterdiepte t.p.v. Rijksweg
		Overstromingswater		
Locatie 1	Oost-inkelpolder	0 - 0,25	2,00	1,50m
Locatie 2	Waardepolder-Oost	0 - 0,25	1,50	1,20m
Locatie 3	Bath	0 - 0,25	0,50	0,70m

Tabel 10 Matrix Overstromingsscenario parameters bepaald vanuit het Liwo



Figuur 17 Stijgsnelheid overstromingsscenario 1 <http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo/48/77/13715/13977/13984/13987> (Overstromingen, 2016)

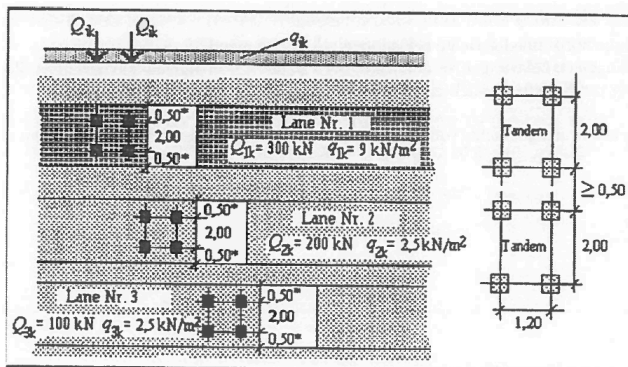
4.1.7 Verkeersbelasting

De stabiliteit van de wegconstructie zal als de weg niet gebruikt wordt door voertuigen niet instabiel worden. Dit verandert wanneer er een veranderlijke belasting over de wegconstructie gaat in de vorm van een auto of vrachtwagen. De eisen en normen omtrent deze belastingen zijn niet opgenomen in de NEN normen voor wegen. Wat wel beschikbaar is en relevant is in dit onderzoek zijn de NEN normen voor draagconstructies. Deze normen hebben betrekking op de belastingen die bruggen en viaducten moeten dragen en kunnen omgevormd en gebruikt worden binnen dit onderzoek.

Locatie	Belasting door 2-assig laststelsel: Q_{ik} [kN]	Gelijkmatig verdeelde belasting: $(q_{ik}), (q_{rk})$ [kN/m ²]
rijstrook 1	300	9,0
rijstrook 2	200	2,5
rijstrook 3	100	2,5
overige stroken	0	2,5
restruimte (q_{rk})	0	2,5

Tabel 11 Aslasten per rijstrook volgens NEN-EN 1991 (mstudioblackboard TUDelft, 2016)

NEN-EN 1991 is zoals eerder genoemd voor het beoordelen van draagconstructies zoals bruggen en viaducten. Deze NEN norm geeft aslasten aan die gebruikt kunnen worden voor het toetsen van deze constructies.

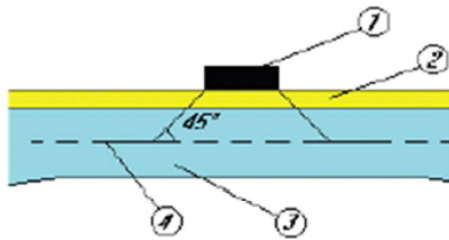


Figuur 18 Impressie tandemstelsel toetsen weglichaam (mstudioblackboard TUDelft, 2016)

Het tandemstelsel wordt toegepast voor het lokaal toetsen van draagconstructies op de meest ongunstige situatie. In dit onderzoek worden de rijstroken (inclusief de vluchtstrook) volgens dit principe getoetst. Er moet wel gesteld worden dat deze manier van toetsen conservatief is i.v.m. de grote waarden waarmee getoetst wordt. Voor brugconstructies zijn deze waarde meer relevant i.v.m. het niet mogen bezwijken van de constructie in 100 jaar. Het bezwijken van een weglichaam zoals bij een brugconstructie is minder relevant omdat het weglichaam geen overspanning heeft. Om toch een oordeel te kunnen doen omtrent de stabiliteit van de wegconstructie tijdens en na een overstroming wordt dit principe toegepast.

Binnen het tandemstelsel principe wordt het contactoppervlak van de banden vastgesteld op $0,40 \times 0,40 \text{ m}^2$. De afdracht van de aslasten worden zoals weergegeven in figuur 19 via een hoek van 45 graden afgedragen naar de onderbouw. De aslasten worden per rijstrook volgens NEN-EN 1991 vastgesteld op:

Rijstrook 1 (vluchtstrook)	: 300 kN
Rijstrook 2	: 200 kN
Rijstrook 3	: 100 kN



Verklaring

- 1 wielcontactdruk
- 2 slijtlaag

Figuur 19 Afdracht aslast richting onderbouw (Landwehr, 2014)

In de berekening wordt geen rekening gehouden met het verkeer dat stil kan staan op de rijksweg. Dit is aangenomen omdat het verkeer te weinig stil staat om een significante factor te worden binnen de stabiliteitsberekening. De veiligheidsfactor m.b.t. schade is 1,00 omdat er gerekend wordt met conservatieve grondparameters.

4.2 Welke parameters zijn er nodig voor het toetsen van de erosiebestendigheid van de bermen?

Zoals eerder genoemd wordt er op twee vlakken onderzoek gedaan die onderling met elkaar corresponderen. Deze twee onderzoeken worden uitgevoerd omdat het beide een goed beeld geeft van de kwetsbaarheden waarmee de wegconstructie te maken krijgt tijdens en na een overstroming.

De erosiebestendigheid van de bermen is van groot belang voor de stabiliteit van de wegconstructie tijdens en na een overstroming. Als de bermen eroderen heeft dit als gevolg dat de wegconstructie in een later stadium ook zal eroderen en/of bezwijken. Door het nieuwe beleid omtrent ruimtelijke adaptatie is er de noodzaak naar onderzoek over dit onderwerp.

4.2.1 Welke parameters zijn er nodig voor het toetsen van de grasbekleding aan de hand van de beheercategorie?

In deze paragraaf worden de eigenschappen van de grasbekledingen beoordeeld en geclassificeerd. De kwaliteit van de grasbekleding kan naarmate de onderhoudsrapporten geanalyseerd zijn, getoetst worden aan gestelde eisen. In de handreiking 'Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde toetsronde' is onderzoek gedaan naar het gedrag van grasbekledingen op golfoverslag op dijken. Vanuit deze handreiking kan een realistische beoordeling opgezet worden.

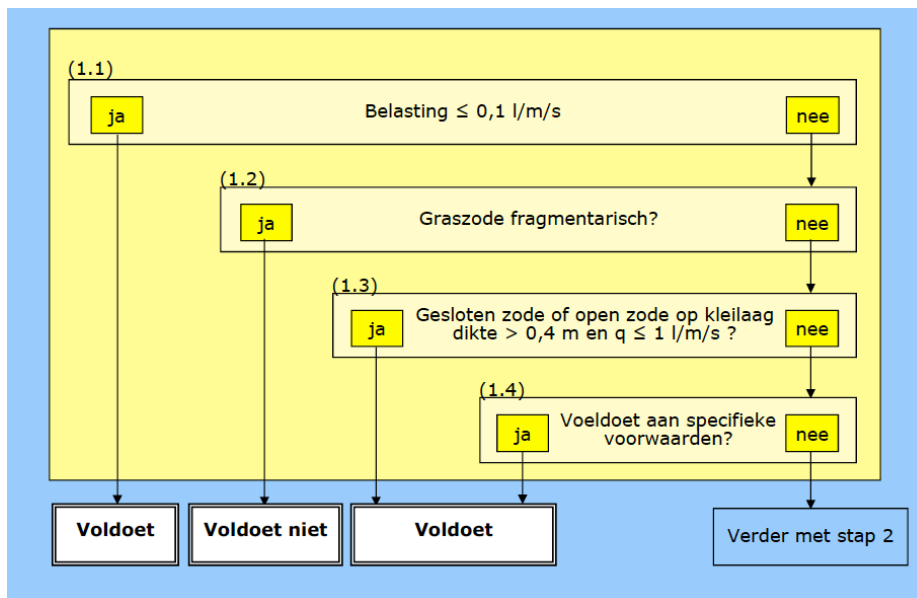
De beoordelingsstrategie wordt toegepast i.v.m. de complexiteit die theoretische berekeningen met zich meebrengen. Door deze vorm van beoordelen kan er een eenvoudige beeldvorming geschetst worden van de erosiebestendigheid van de grasbekleding.

4.2.1.1 Stappenplan toetsing grasbekleding

In de handreiking worden eenvoudige toetsregels beschreven waaraan een grasbekleding getoetst kan worden. Door de specificaties en parameters de volgende stappen te laten volgen, kan er uiteindelijk een conclusie getrokken worden.

De volgende stappen moeten gevolgd worden per te onderzoeken locatie:

- Stap 1: de eenvoudige toetsregels;
 - o Stap 1.1: Overslagdebiet $\leq 0,10$ l/m/s
Bij een overslagdebiet kleiner dan deze waarde, wordt er aangenomen dat de schade aan de grasbekleding zeer klein is en toelaatbaar;
 - o Stap 1.2: Kwaliteit van de grasbekleding
De kwaliteit van de grasmat kan d.m.v. onderhoudsrapporten bepaald worden en tevens door visuele inspectie vastgesteld worden. in het onderzoeksvoorstel staat in de paragraaf 'vegetatie eigenschappen' beschreven welke zones er aanwezig moeten zijn in een volgroeide grasbekleding;
 - o Stap 1.3: Overslagdebiet $\leq 1,00$ l/m/s
De grasbekleding voldoet aan deze stap als het overslagdebiet kleiner is dan 1,00 l/m/s en een gesloten grasmat heeft of het kan een open grasbekleding hebben met daaronder een kleilaag van minimaal 0,40m dik;
 - o Stap 1.4: Specifieke eigenschappen
Tevens zijn er specifieke eigenschappen waaraan de grasbekleding aan moet voldoen om te slagen voor stap 1.
 - Gesloten graszode;
 - Overslagdebiet kleiner of gelijk aan 5 l/m/s
 - Kleilaag aanwezig van minimaal 0,40m of taludhelling flauwer dan 1:4;
 - Obstakels in/ op de grasbekleding mogen niet groter zijn dan $0,15\text{m}^2$.



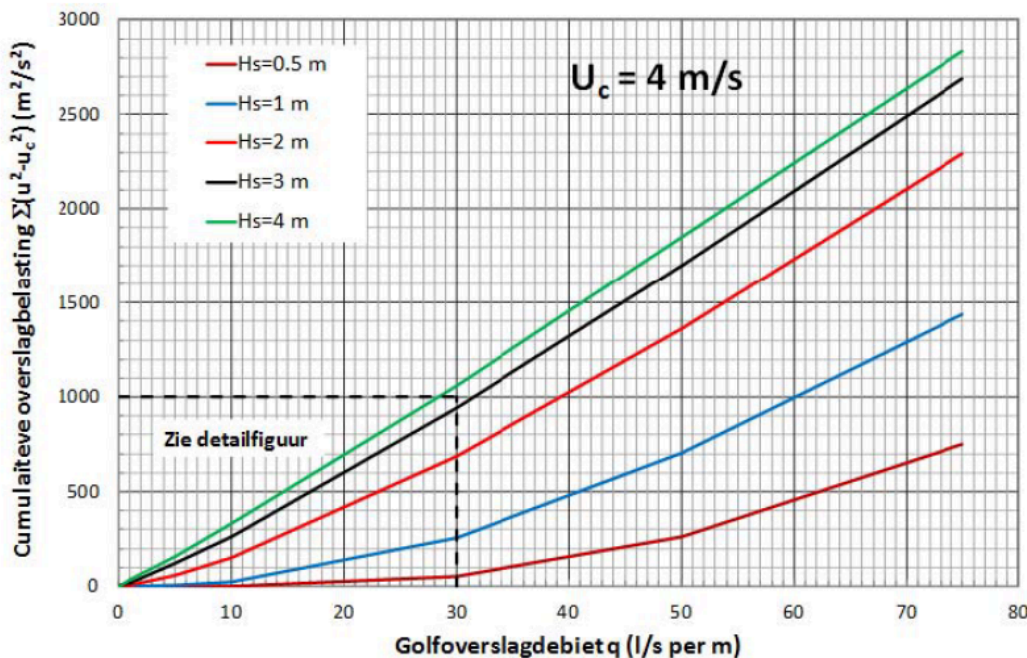
Figuur 20 Eenvoudige toetsregels erosie wegtalud (Meer, 2012)

Als de grasbekleding voldoet aan de gestelde eisen binnen de vier sub-stappen, dan kan stap 2 overgeslagen worden en voldoet de grasbekleding.

- Stap 2: Gedetailleerde toets regels

Bij deze gedetailleerde toetsing wordt de berm blootgesteld aan een cumulatieve overbelasting, waarbij gebruik gemaakt wordt van een kritische snelheid van 4 m/s. De kritische snelheid is de parameter die de sterkte van de berm bepaald. De handreiking toetsing grasbekledingen heeft een grafiek opgesteld waarin af te lezen valt wat de kritische waarde is van $1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Bij het toetsen van deze waarde moet er voldaan worden aan de volgende randvoorwaarden:

- De grasbekleding moet dicht zijn en moet ontdaan zijn van tuintjes en begroeiingen;
- Taludhelling mag niet meer zijn dan 1:2,3;
- Er moet een kleilaag aanwezig zijn van 0,40m dikte;
- Objecten groter dan 0,15 x 0,15 mogen niet in de berm aanwezig zijn;



Figuur 21 Cumulatieve overbelasting met een kritische snelheid van 4m/s (Meer, 2012)

De grafiek hierboven geeft aan welke overslag debieten er maatgevend zijn bij een bepaalde golfhoogte [hs]. In het geval van een dijkdoorbraak zal deze golfhoogte gering zijn met een aangenomen maximum van 1 meter. In de handreiking wordt dit overslag debiet gekoppeld aan de toetsingen die op de desbetreffende grasbekledingen zijn uitgevoerd.

4.2.1.2 Beheercategorie grasbekleding

De vorm van het beheren van de grasbekleding bepaald voor een groot gedeelte de erosiebestendigheid ervan. Uit de onderhoudsrapporten moet duidelijk worden welke beheercategorie er gebruikt wordt voor het onderhoud van de grasbekleding. In de Handreiking grasbekledingen zijn vier beheercategorieën opgesteld die gehandhaafd worden:

Beheercategorie A:

Deze categorie is de hoogste in zijn klasse en zorgt voor een hoge natuurwaarde. Binnen deze categorie worden twee beheertype onderschreden:

Beheertype hooien HH-

- Jaarlijks twee keer maaien;
- Maaisel afvoeren binnen een week.
- Doorworteling vooral in bovenste 15 cm.

Beheertype beweiden WW- (n.v.t. in deze situatie)

- Beweiden met schapen (het hele jaar door);
- Lage veedichtheid;
- Doorworteling vooral in bovenste 15 cm.

Beheercategorie B:

Deze categorie onderscheidt zich in een doorwortelingsdichtheid die gering is i.v.m. categorie A. De natuurwaarde van deze categorie is ook veel lager. Binnen deze categorie worden twee beheertype onderschreden:

Beheertype agrarisch WW+

- Beweiden met schapen (periodiek of continue);
- Grasbekleding wordt bemest;
- Hoge veedichtheid;
- Doorworteling vooral in de bovenste 10 cm.

Beheertype gazonbeheer KG+

- Toegepast als grasbekleding meerdere functies heeft;
- Er wordt 7-10 keer per jaar gemaaid en maaisel blijft liggen;
- Geen bemesting;
- Doorworteling vooral in de bovenste 5 cm.

Beheercategorie C:

Deze categorie kenmerkt zich door een niet gesloten grasbekleding en een slecht doorgewortelde toplaag. Binnen deze categorie worden twee beheertype onderschreden:

Beheertype intensief agrarisch WW++ of HH+

- Hooien of beweiden (kan beide);
- Zware bemesting;
- Lage worteldichtheid.

Beheercategorie D:

Deze categorie kenmerkt zich als zeer erosiegevoelig. Deze erosiegevoelige grasbekledingen worden slecht tot niet beheerd en dat komt door:

Geen beheertype

- Geen tot weinig maaien;
- Afbranden van de vegetatie;
- Beweiden met zwaar vee;
- Zware bemesting.

22 juni 2016

De grasbekledingen langs de Rijksweg worden uiteindelijk ingedeeld in één van deze beheercategorieën. De daarvoor benodigdheden (parameters) hiervoor zijn de onderhoudsrapporten en/of strategieën.

Vervolgens kan er aan de hand van de beheercategorie een locatie gezocht worden die dezelfde specificaties heeft als de bermen langs de rijksweg. De onderzochte locaties die in de handreiking 'Toetsen grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde' staan zijn onderzocht en getoetst op een bepaalde overslag. Deze gegevens kunnen gebruikt worden voor de bepaling van de erosiebestendigheid van de grasbekleding.

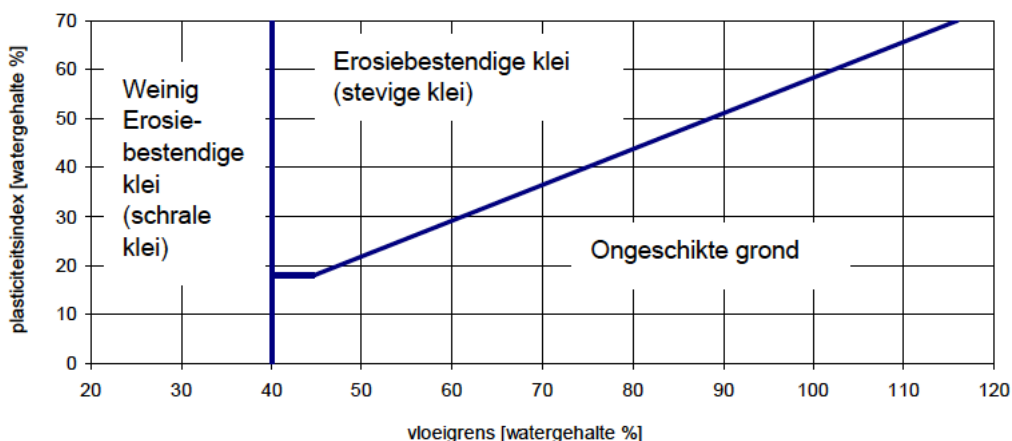
Matrix Parameters beheercategorie bermen				
Proefstrook	Beheertype	Beheer- categorie	Grastype	Kwaliteit Grasvegetatie
Boomweg	HH-	A	h3	Goed
Vechtdijk	HH-	A	W2	Matig
Boomweg	WW-	A	w2	Matig
Afsluitdijk	WW+	B	w2	Matig
Kattendijk	HH+	C	h3	Goed
Delfzijl	KG+	D	w1	Slecht

Tabel 12 Matrix toetsingen verschillende grasbekleding a.d.h.v. handreiking (Meer, 2012)

4.2.2 Welke parameters zijn er nodig voor het toetsen van de reststerkte van de kleilaag aan de hand van de Atterberg methode?

4.2.2.1 Reststerkte kleilaag

De erosiebestendigheid kan d.m.v. de Atterberg methode bepaald worden. Met deze methode is het mogelijk om de restwaarde van de kleilaag te bepalen. Deze methode kan de mate van verwerkbaarheid bepalen door de vloeigrens tegenover de plasticiteitsindex te zetten. De vloeigrens van een materiaal is gedefinieerd als de grens tussen de plastische fase en de vloeibare fase. De plasticiteitsindex wordt gedefinieerd als het verschil tussen de vloeigrens en uitrolgrens. De uitrolgrens is gedefinieerd als de grens tussen vaste fase en plastische fase.



Figuur 22 Atterberg diagram (Meer, 2012)

In het diagram hierboven zijn drie klassen onderscheiden van elkaar:

- Klasse 1: Stevige klei (Zeer erosie bestendig);
- Klasse 2: Schrle klei (Weinig erosiebestendig);
- Klasse 3: Ongeschikte grond (niet erosiebestendig).

22 juni 2016

De klassen 1 en 2 zijn goed tot acceptabel omtrent erosiebestendigheid. Klasse 3 is slecht bestand tegen erosie maar hoeft niet direct afgekeurd te worden. De rede hiervoor is als de grasmat die aanwezig is op de ongeschikte grond voldoende sterkte heeft, is dit voldoende voor de veiligheidstoetsing.

De waardes omtrent vloeigrens en plasticiteitsindex kunnen gevonden worden door het toepassen van twee methodes:

Casagrande methode: Bij deze methode wordt er gebruikt gemaakt van een casagrande toetsel. Uit grondboringen worden verschillende monsters bij verschillende vochtpercentages onderzocht. Het monster wordt door een trillende naald bewogen waarna er gekeken wordt wanneer het dichtvloeit over een lengte van 1cm.

Cone Penetrometer methode: Bij deze methode wordt het monster met verschillende vochtgehalten onder een conus geplaatst. Het vochtgehalte bij een indringing van 20mm bepaald wat de vloeigrens is.

Na het bepalen van de vloeigrens met deze methodes kan er in het Atterberg diagram gekeken worden in welke klasse de klei valt. Overigens gelden voor erosiebestendige klei de volgende aanvullende eisen:

- De klei moet uit een natuurlijke bron geproduceerd zijn;
- Het zandgehalte in het monster mag niet groter zijn dan 40%;
- Er mag niet meer dan 5% organisch materiaal aanwezig zijn in het monster;
- De klei mag niet verzadigd zijn met puin en grind;
- De klei moet zo egaal mogelijk zijn zonder significante verkleuringen;

De benodigdheden omtrent deze toetsing is naar alle waarschijnlijkheid niet beschikbaar binnen Rijkswaterstaat. Om toch een uitspraak te kunnen doen over de kwaliteit van de klei wordt er een vergelijkbare kleilaag gebruikt die gerelateerd kan worden aan de kleilaag langs de Rijksweg.

4.2.2.2 Parameters m.b.t. bermen

Zoals eerder beschreven in paragraaf 1.2.1.2 worden de grasbekledingen getoetst d.m.v. de beheercategorie en de kwaliteit van de grasbekleding. De beheercategorie die de grasbekleding heeft, zegt iets over de mogelijkheid die de grasbekleding krijgt tot het ontwikkelen van een wortelstelsel. Dit wortelstelsel zorgt ervoor dat de grasbekleding zijn erosiebestendigheid krijgt. Nadat na verloop van tijd de grasbekleding geërodeerd is, is het belangrijk dat de kleilaag weerstand kan bieden.

Vanuit Rijkswaterstaat zijn gegevens verstrekt m.b.t. de beheercategorie en het type gras wat aanwezig is langs de Rijksweg. Op veel plaatsen langs de Rijksweg bestaat de vegetatie uit het z.g. 'Eindbeeld EK 2 Bloemrijke glanshaverhooilanden' (Keizer, 2008). Deze vegetatie bestaat uit een bloemrijk hooiland en wordt in Nederland veel toegepast op brede bermen. Het optimale beheer van deze vegetatie is twee maal per jaar maaien met afvoer van het maaisel. Het afvoeren van het maaisel is van essentieel belang voor de kwaliteit van de vegetatie.

De bestaande vegetatie verandert langzaam in het z.g. 'Actueel beeld AK 2 Ruige Glanshaver hooilanden' (Keizer, 2008). Deze verandering ontstaat door het invoeren van het versoberde beheer. De versobering houdt in dat er i.p.v. twee keer per jaar, nog maar één keer per jaar wordt gemaaid. Dit is met het oog op de erosiebestendigheid niet wenselijk. Aan de andere kant moet er gezegd worden dat de natuur op deze manier meer de vrijheid krijgt om zich te ontwikkelen. De vegetatie bestaat uit hoogproductief grasland met hoge kruidachtige planten. In het voorjaar vaak rijke bloei van fluitekruid. Het optimale beheer van deze vegetatie is één keer per jaar maaien met afvoer van het maaisel en past perfect bij de ingevoerde versobering.

Over de kleilaag die aanwezig is onder de vegetatie zijn geen gegevens bekend. Aan de hand van een uit te voeren locatieonderzoek gaat hier meer informatie over gewonnen worden. De resultaten hierover worden beschreven in hoofdstuk 4.4.

Matrix Beheercategorie		
	Rijksweg A58	Vergelijkbaar met
Categorie	1-2x per jaar gemaaid met afvoer	HH-

Tabel 13 Matrix beheercategorie



Figuur 23 EK 2 Bloemrijke glanshaverhooilanden



Figuur 24 AK 2 Ruige Glanshaver hooilanden

4.3 Wat zijn de uitkomsten en adviezen aan de hand van de drie getoetste tijdsvakken van het D-Geo Stability model?

Om een oordeel te kunnen geven van de stabiliteit van de Rijksweg is er gebruikt gemaakt van het D-geo Stability programma van Deltares. De hiervoor benodigde parameters zijn verzameld en beschreven in de vorige paragraaf. Hieronder worden per locatie de bevinden m.b.t. de stabiliteit gepresenteerd.

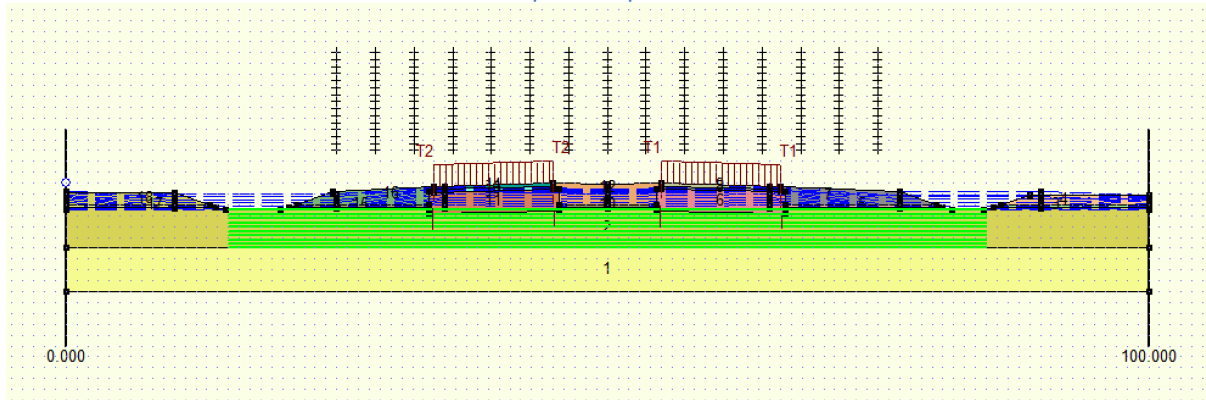
4.3.1 Uitwerkingen t.b.v. stabiliteit wegconstructie.

Het modelleren van het model is na verloop van tijd voltooid waarin verschillende stappen zijn doorlopen:

1. Het invoeren van verschillende parameters;
 - a. Grond parameters
 - b. Boven belasting
 - c. Freatische waterstand
 - d. Grondopbouw
2. Invoer Wegprofiel;
3. Grondwaterstandverloop overstromingsscenario;
4. Afschuifvlak bepalen;

De waterstand in het weglichaam is de maatgevende factor omtrent de stabiliteit. Om de grondwaterstanden per dag te kunnen bepalen is er een Excel bestand opgesteld met daarin de grondwaterstandverloop per dag. Dit Excel bestand is bijgevoegd in bijlage IIII, Bijlage V en Bijlage VI.

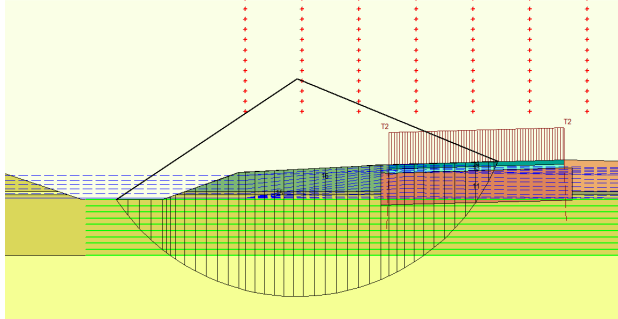
4.3.1.1 Onderzoeksresultaten locatie 1 t.p.v. hmp 136:00



Figuur 25 Impressie wegprofiel locatie 1 weergegeven in D-geo Stability

Zoals te zien is in figuur 25 ligt het weglichaam in een ophoging en bestaat de grondopbouw voornamelijk uit zand en vaste klei. De grondwaterstand op locatie 1 is vastgesteld op -2,40m N.A.P.

Voor het bepalen van de safety factoren wordt er gebruik gemaakt van de methode Bishop. De methode Bishop gaat uit van cirkel vormige glijvlakken. De potentiële afschuivende grondmassa's worden in verticale lamellen gedeeld, waaraan uit momenten evenwicht per potentieel schuifvlak de veiligheid tegen afschuiven wordt berekend. (bodemrichtlijn, 2016)



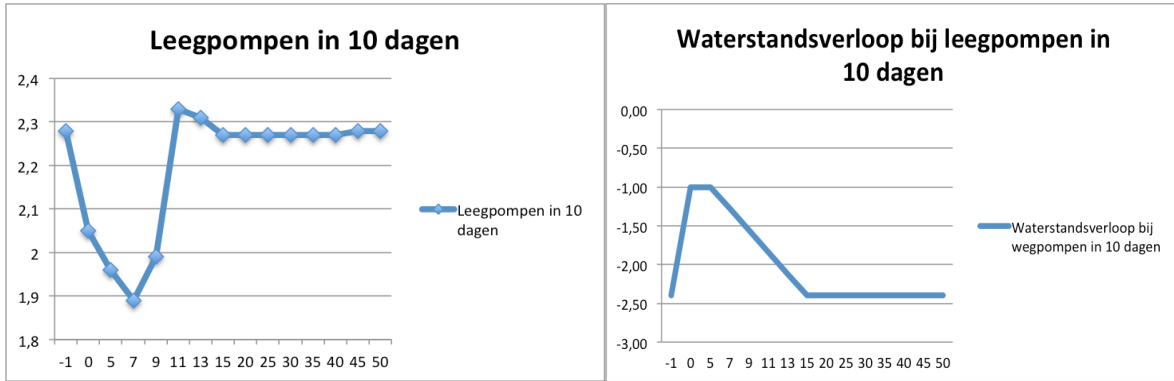
Figuur 26 Impressie maatgevend afschuifvlak weglichaam locatie 1

In de tabel hieronder zijn enkele belangrijke kerngetallen weergegeven van locatie 1 t.p.v. hmp 136:00.

Parameter	Links	Recht
Hoogte kant asfalt mNAP	-0,30	-0,30
Maaiveldniveau mNAP	-0,90	-1,10
Taludhelling	1:3	1:3
Breedte Talud	6	6
	Gehele wegprofiel	
Waterstand na overstroming mNAP	+1,50	
Waterstand in 0-situatie mNAP	-2,40	
Grondsoort toplaag	Klei	
Grondsoort diepelaag	Klei	
Safety factor 0-situatie	2,28	
Safety factor laagste T10	1,89	
Safety factor hoogste T10	2,33	
Safety factor laagste T20	2,05	
Safety factor hoogste T20	2,30	
Safety factor laagste T30	2,05	
Safety factor hoogste T30	2,31	

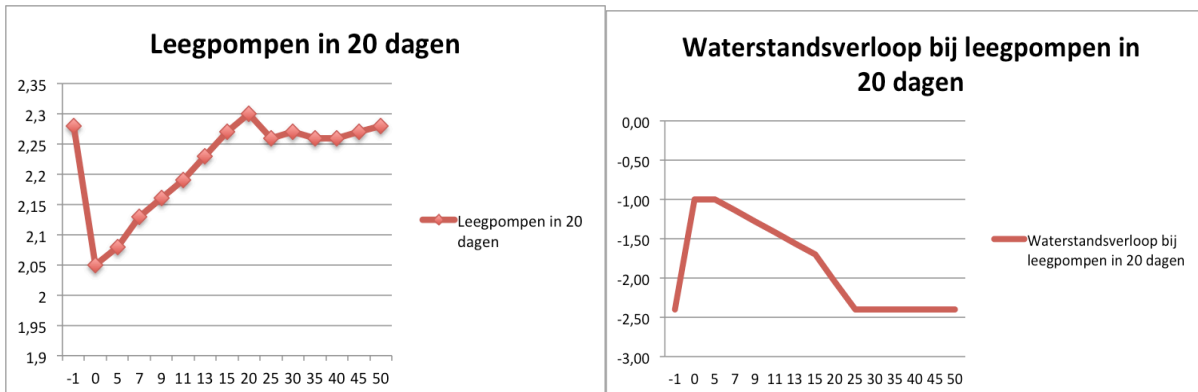
Tabel 14 Overzicht kerngetallen locatie 1

De safety factoren die weergegeven zijn in de tabel hierboven zijn voortgekomen uit de berekeningen van het model. Om een inzicht te geven van het verloop van de safety factoren in de tijd, zijn er per leegpomp situatie grafieken gegenereerd.



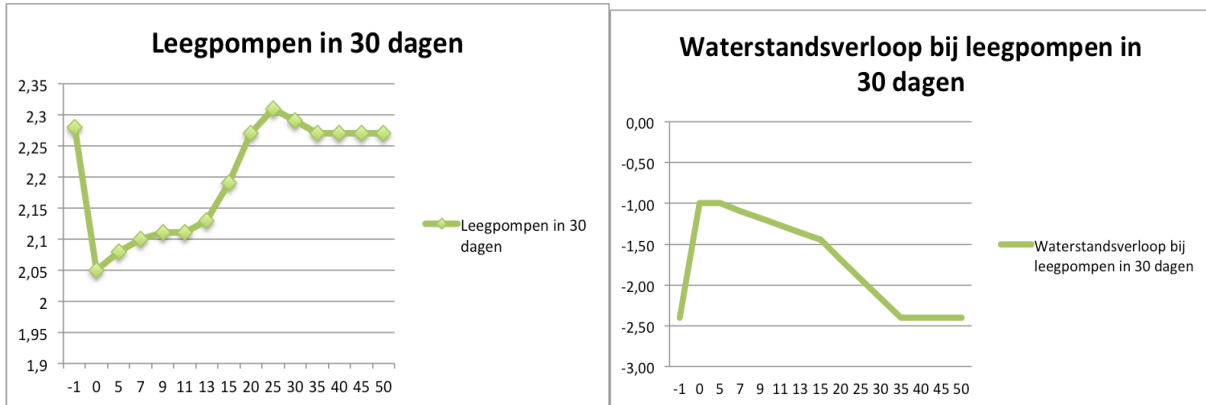
Figuur 27 Safety factoren (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T10 locatie 1 Figuur 28 Waterstandsverloop (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T10 locatie 1

In het figuur hierboven is te zien dat de safety factor van het weglichaam met ongeveer 17% daalt tot 1,89 nadat er een overstroming heeft plaatsgevonden. De overstroming vindt plaats op dag 0 en er wordt begonnen met pompen op dag 5. Nadat er een begin is gemaakt met pompen is te zien dat de safety factor nog enige dagen verder zakt om vervolgens op dag 15 terug te keren naar het oorspronkelijke niveau van 2,28.



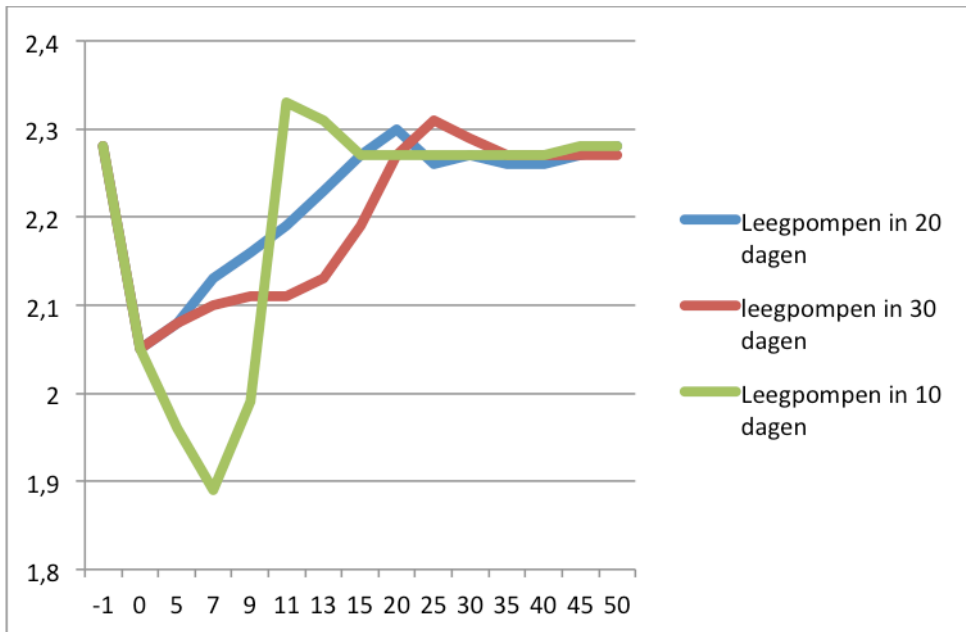
Figuur 29 Safety factoren (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T20 locatie 1 Figuur 30 Waterstandsverloop (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T20 locatie 1

Vanuit Rijkswaterstaat is de wens om te kijken of het wegpompen van het water over een langere periode een significant verschil geeft omtrent de stabiliteit. De daling van de safety factor t.o.v. van het wegpompen in 10 dagen ligt 58% lager. De bodem van de safety factor is vastgesteld op 2,05. Dit komt doordat de waterstand binnen het weglichaam de waterstand buiten het weglichaam beter kan volgen. Dit heeft als gevolg dat de afschuiving minder is dan bij een groter waterstandsverschil tussen binnen en buiten het weglichaam. Het terugkeren van de safety factor naar zijn oorspronkelijke niveau is t.o.v. het leegpompen in 10 dagen langer. Dit komt doordat de waterstand rondom het weglichaam pas op dag 25 is teruggekeerd naar polderpeil. Het leegpompen in 20 dagen geeft een beter verloop van de safety factor dan het leegpompen in 10 dagen.



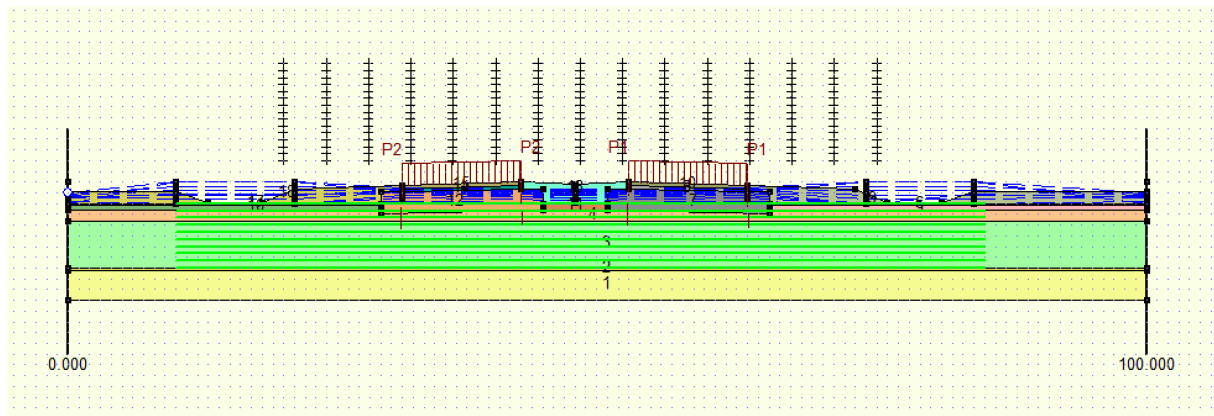
Figuur 31 Safety factoren (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T30 locatie 1 Figuur 32 Waterstandsverloop (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T30 locatie 1

Tenslotte is er gekeken naar het wegpompen van het water in 30 dagen. Hieruit bleek dat de bodem van de safety factor hetzelfde is als bij het wegpompen van het water in 20 dagen. Alleen duurt het bij deze situatie langer voordat de safety factor terug is op zijn oorspronkelijke niveau.



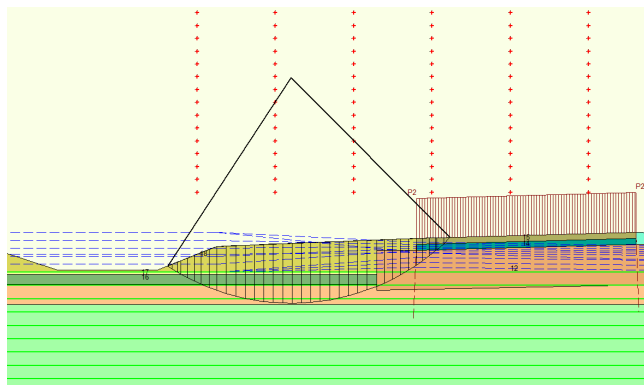
Figuur 33 Overzicht safety factoren t.o.v. dagen verschillende leegpompsituaties locatie 1

4.3.1.2 Onderzoekresultaten locatie 2 t.p.v. hmp 133:00



Figuur 34 Impressie wegprofiel locatie 2 weergegeven in D-geo Stability

Zoals te zien is in figuur 32 ligt het weglichaam in een ophoging en bestaat de grondopbouw voornamelijk uit zand en vaste klei. De grondwaterstand op locatie 2 is vastgesteld op -1,00m N.A.P.



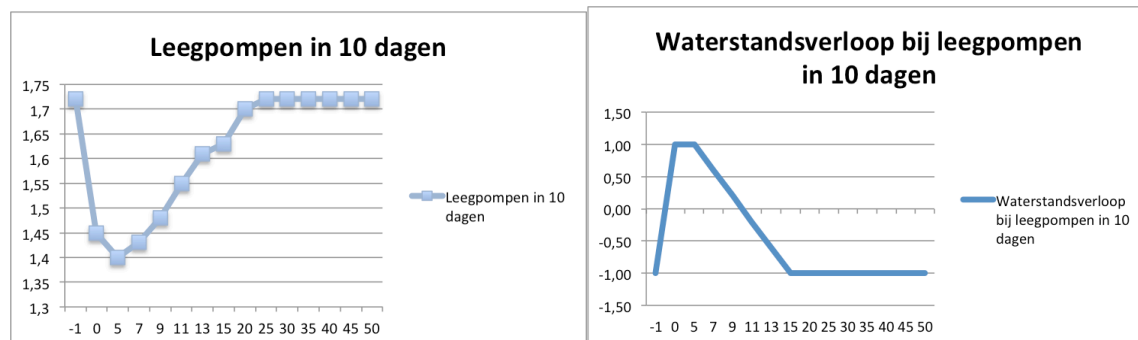
Figuur 35 Impressie maatgevend afschuifvlak weglichaam locatie 2

In de tabel hieronder zijn enkele belangrijke kerngetallen weergegeven van locatie 3 t.p.v. hmp 133:00.

Parameter	Links	Recht
Hoogte kant asfalt mNAP	0,70	0,70
Maaiveldniveau mNAP	+0,10	+0,30
Taludhelling	2:3	2:3
Breedte Talud	4	4
Gehele wegprofiel		
Waterstand na overstroming mNAP	+2,40	
Waterstand in 0-situatie mNAP	-0,50	
Grondsoort toplaag	Klei	
Grondsoort diepelaag	Klei	
Safety factor 0-situatie	1,72	
Safety factor laagste T10	1,40	
Safety factor hoogste T10	1,72	
Safety factor laagste T20	1,45	
Safety factor hoogste T20	1,72	
Safety factor laagste T30	1,45	
Safety factor hoogste T30	1,72	

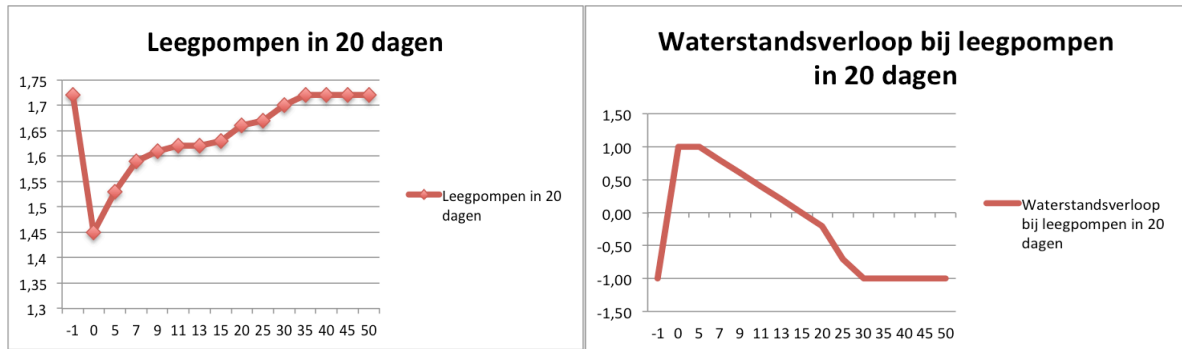
Tabel 15 Overzicht kerngetallen locatie 2

De safety factoren die weergegeven zijn in de tabel hierboven zijn voortgekomen uit de berekeningen van het model. Om een inzicht te geven van het verloop van de safety factoren in de tijd, zijn er per leegpomp situatie grafieken gegenereerd.



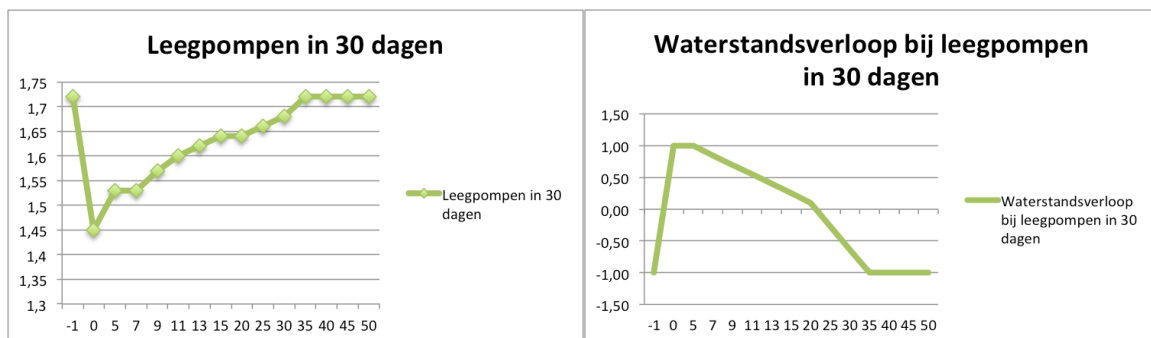
Figuur 36 Safety factoren (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T10 locatie 2 Figuur 37 Waterstandsverloop (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T10 locatie 2

In het figuur hierboven is te zien dat de safety factor van het weglichaam met ongeveer 20% daalt tot 1,40 nadat er een overstroming heeft plaatsgevonden. De overstroming vindt plaats op dag 0 en er wordt begonnen met pompen op dag 5. Nadat er een begin is gemaakt met pompen is te zien dat de safety factor nog enige dagen verder zakt om vervolgens op dag 25 terug te keren naar het oorspronkelijke niveau van 1,72.



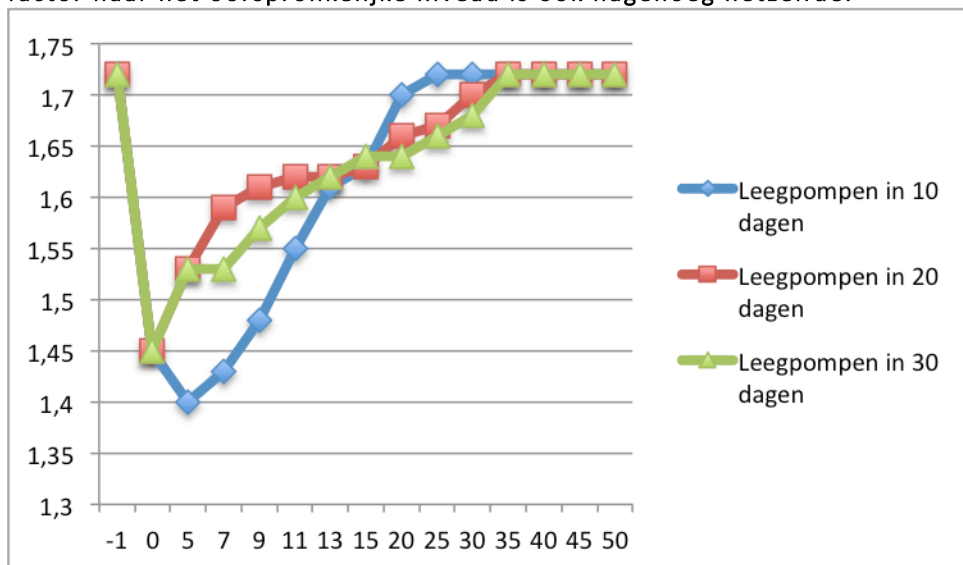
Figuur 38 Safety factoren (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T20 locatie 2 Figuur 39 Waterstandsverloop (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T20 locatie 2

De daling van de safety factor bij het wegpompen in 20 dagen t.o.v. van het wegpompen in 10 dagen heeft een minder groot dal. De bodem van de safety factor is vastgesteld op 1,45. De safety factor is groter omdat de grondwaterstand binnen het weglichaam de waterstand buiten het weglichaam beter kan volgen. Dit heeft als gevolg dat de afschuiving minder is dan bij groter waterstandsverschil tussen binnen en buiten het weglichaam. Het terugkeren van de safety factor naar zijn oorspronkelijke niveau is t.o.v. het leegpompen in 10 dagen is langer. Dit komt doordat de waterstand rondom het weglichaam pas op dag 35 is teruggekeerd naar polderpeil. Het leegpompen in 20 dagen geeft een beter verloop van de safety factor dan het leegpompen in 10 dagen.



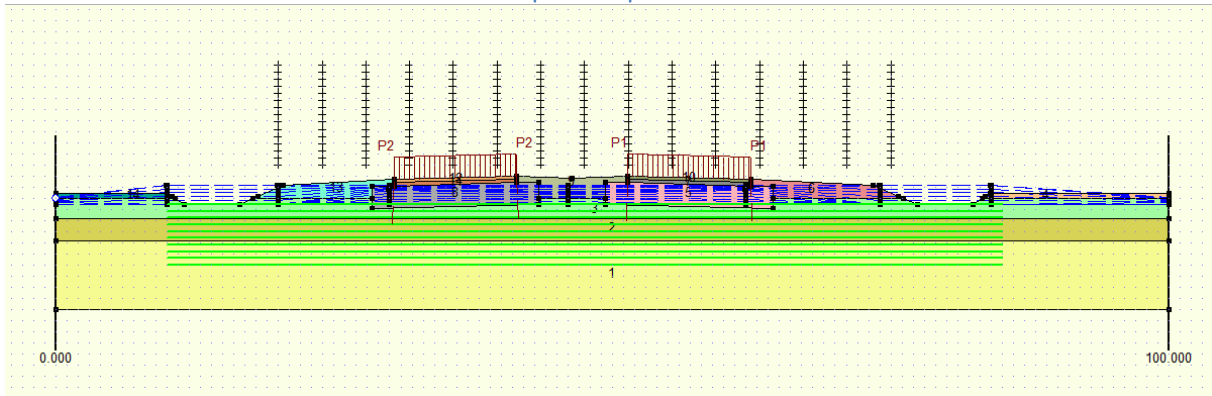
Figuur 40 Safety factoren (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T30 locatie 2 Figuur 41 Waterstandsverloop (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T30 locatie 2

Bij het wegpompen van het water in 30 dagen zijn de verschillen t.o.v. het wegpompen in 20 dagen heel klein. De bodem van de safety factor is hetzelfde en het terugkeren van de safety factor naar het oorspronkelijke niveau is ook nagenoeg hetzelfde.



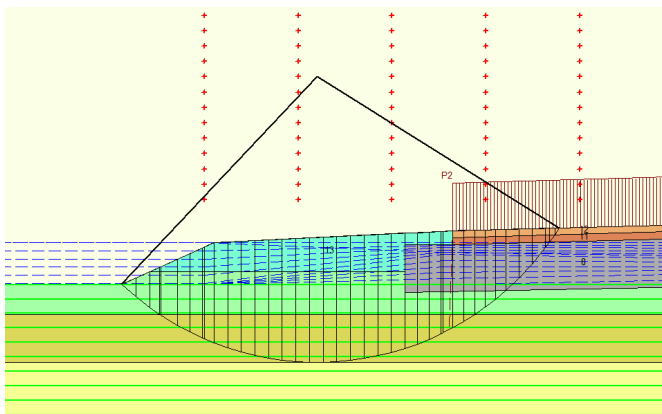
Figuur 42 Overzicht safety factoren t.o.v. dagen verschillende leegpompsituaties locatie 2

4.3.1.3 Onderzoekresultaten locatie 3 t.p.v. hmp 127:30



Figuur 43 Impressie wegprofiel locatie 3 weergegeven in D-geo Stability

Zoals te zien is in figuur 41 ligt het weglichaam in een ophoging en bestaat de grondopbouw voornamelijk uit zand en vaste klei. De grondwaterstand op locatie 2 is vastgesteld op -0,55m N.A.P.



Figuur 44 Impressie maatgevend afschuifvlak weglichaam locatie 3

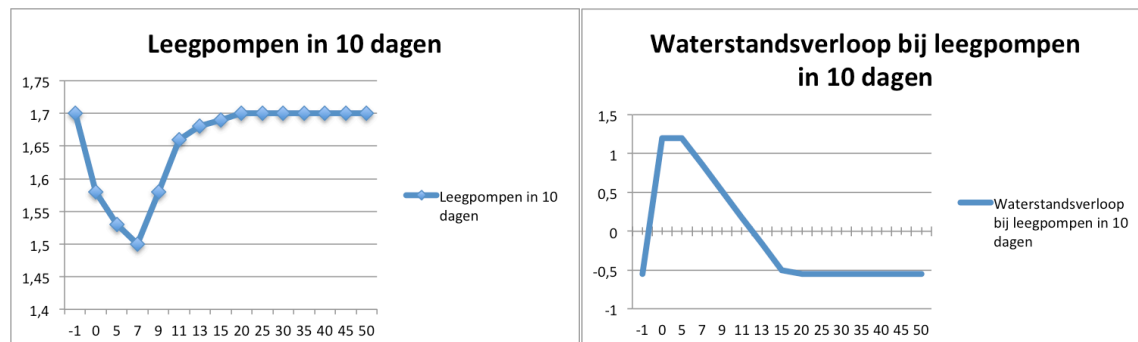
22 juni 2016

In de tabel hieronder zijn enkele belangrijke kerngetallen weergegeven van locatie 3 t.p.v. hmp 127:00.

Parameter	Links	Recht
Hoogte kant asfalt mNAP	1,70	1,70
Maaiveldniveau mNAP	+0,50	+0,50
Taludhelling	2:3	2:3
Breedte Talud	4	4
Gehele wegprofiel		
Waterstand na overstroming mNAP	+2,40	
Waterstand in 0-situatie mNAP	-0,50	
Grondsoort toplaag	Klei	
Grondsoort diepelaag	Zand	
Safety factor 0-situatie	1,70	
Safety factor laagste T10	1,50	
Safety factor hoogste T10	1,70	
Safety factor laagste T20	1,58	
Safety factor hoogste T20	1,70	
Safety factor laagste T30	1,58	
Safety factor hoogste T30	1,70	

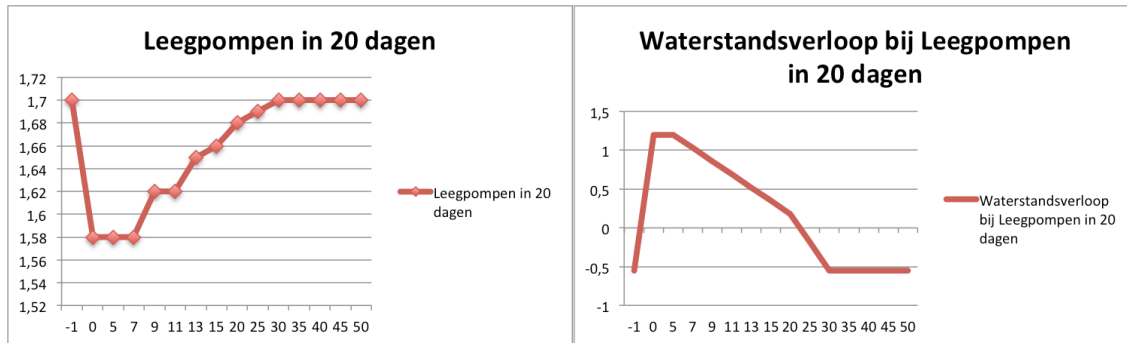
Tabel 16 Overzicht kerngetallen locatie 3

De safety factoren die weergegeven zijn in de tabel hierboven zijn voortgekomen uit de berekeningen van het model. Om een inzicht te geven van het verloop van de safety factoren in de tijd, zijn er per leegpomp situatie grafieken gegenereerd.



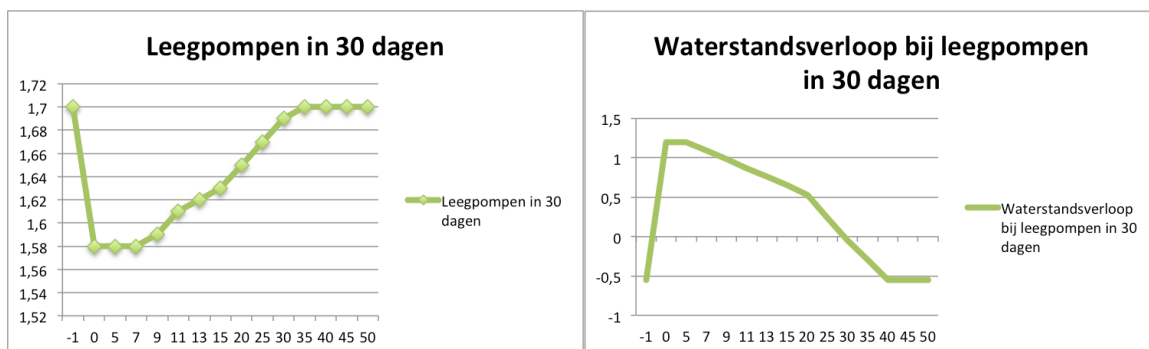
Figuur 45 Safety factoren (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T10 locatie 3 Figuur 46 Waterstandsverloop (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T10 locatie 3

In het figuur hierboven is te zien dat de safety factor van het weglichaam met ongeveer 12% daalt tot 1,50 nadat er een overstroming heeft plaatsgevonden. De overstroming vindt plaats op dag 0 en er wordt begonnen met pompen op dag 5. Nadat er een begin is gemaakt met pompen is te zien dat de safety factor nog enige dagen verder zakt om vervolgens op dag 20 terug te keren naar het oorspronkelijke niveau van 1,70.



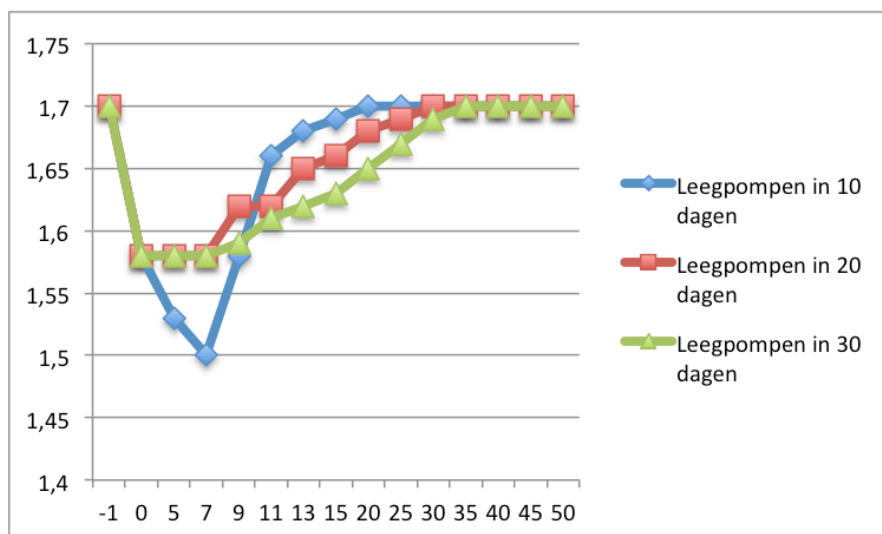
Figuur 47 Safety factoren (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T20 locatie 3 Figuur 48 Waterstandsverloop (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T20 locatie 3

De daling van de safety factor bij het wegpompen in 20 dagen t.o.v. van het wegpompen in 10 dagen heeft een minder groot dal. De bodem van de safety factor is vastgesteld op 1,58. De safety factor is groter omdat de grondwaterstand binnen het weglichaam de waterstand buiten het weglichaam beter kan volgen. Dit heeft als gevolg dat de afschuiving minder is dan bij groter waterstandsverschil tussen binnen en buiten het weglichaam. Het terugkeren van de safety factor naar zijn oorspronkelijke niveau is t.o.v. het leegpompen in 10 dagen is langer. Dit komt doordat de waterstand rondom het weglichaam pas op dag 30 is teruggekeerd naar polderpeil. Het leegpompen in 20 dagen geeft een beter verloop van de safety factor dan het leegpompen in 10 dagen.



Figuur 49 Safety factoren (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T30 locatie 3 Figuur 50 Waterstandsverloop (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) T30 locatie 3

Bij het wegpompen van het water in 30 dagen zijn de verschillen t.o.v. het wegpompen in 20 dagen heel klein. De bodem van de safety factor is hetzelfde en het terugkeren van de safety factor naar het oorspronkelijke niveau is ook nagenoeg hetzelfde.



Figuur 51 Overzicht safety factoren t.o.v. dagen verschillende leegpompsituaties locatie 3

4.4 Wat zijn de uitkomsten en adviezen m.b.t. de erosiebestendigheid van de bermen?

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd omtrent de erosiebestendigheid van de bermen. De volgende aspecten m.b.t de bermen worden gepresenteerd: Toetsing vegetatie volgens de 'handreiking toetsen grasbekledingen op dijken' (Meer, 2012), Locatieonderzoek, Overslagproeven aan de hand van beheercategorie.

4.4.1 Uitwerkingen t.b.v. toetsing vegetatie

In de handreiking worden eenvoudige toetsregels beschreven waaraan een grasbekleding getoetst kan worden. Door de specificaties en parameters de volgende stappen te laten volgen, kan er uiteindelijk een conclusie getrokken worden.

Stap 1: de eenvoudige toetsregels;

Stap 1.1: Overslagdebiet $\leq 0,10$ l/m/s

Bij een overslagdebiet kleiner dan deze waarde, wordt er aangenomen dat de schade aan de grasbekleding zeer klein is en toelaatbaar;

Toelichting:

De Rijksweg zal op alle plekken op een gegeven moment onderwater komen te staan, waardoor het overslagdebiet bij verloop van tijd over de $0,10$ l/m/s komt. Door deze constatering voldoet de vegetatie niet aan deze stap.

Stap 1.2: Kwaliteit van de grasbekleding

De kwaliteit van de grasmat kan d.m.v. onderhoudsrapporten bepaald worden en tevens door visuele inspectie vastgesteld worden. In het onderzoeksvoorstel staat in de paragraaf 'vegetatie eigenschappen' beschreven welke zones er aanwezig moeten zijn in een volgroeide grasbekleding;

Toelichting:

De vegetatie langs de Rijksweg A58 is aangelegd in de jaren 70 toen de snelweg in Zeeland geopend werd. De vegetatie heeft veel tijd gehad om zich te ontwikkelen tot een volgroeide vegetatie. De aanwezige vegetatie wordt beschreven als 'Actueel beeld AK 2 Ruige Glanshaver hooilanden' (Keizer, 2008). In de afbeelding hieronder is te zien dat er in de vegetatie weinig tot geen open plekken zitten.



Figuur 52 Vegetatie t.p.v. hmp 136:00 (Googlemaps, 2016)

22 juni 2016

Stap 1.3: Overslagdebiet $\leq 1,00$ l/m/s

De grasbekleding voldoet ook niet aan deze stap omdat het overslagdebiet op een gegeven moment groter is dan $1,00$ l/m/s. Aan de eis m.b.t. een gesloten grasmat en een kleilaag van minimaal $0,40$ m dik wordt wel voldaan;

Toelichting:

Een overslagdebiet groter dan $1,00$ l/m/s is aanwezig langs de Rijksweg. Dit komt nadat de waterstand binnendijks groter wordt de stroomsnelheid zal toenemen. De grootste stroomsnelheid die vanuit het overstromingsscenario is vastgesteld is $2,00$ m/s. Deze zal plaatsvinden bij een gematigde waterstand van enkele tientallen centimeters. De vegetatie die aanwezig is, is tevens wel gesloten. De Rijksweg is gelegen in een kleiige omgeving waardoor aannemelijk is dat er aan de aanvullende eis van $0,40$ m klei ook wordt voldaan. Omdat er niet voldaan wordt aan het overslagdebiet van 1 l/m/s, wordt er niet voldaan aan het eis.

Stap 1.4: Specifieke eigenschappen

Tevens zijn er specifieke eigenschappen waaraan de grasbekleding aan moet voldoen om te slagen voor stap 1.

1. Gesloten graszode;
2. Overslagdebiet kleiner of gelijk aan 5 l/m/s
3. Kleilaag aanwezig van minimaal $0,40$ m of taludhelling flauwer dan $1:4$;
4. Obstakels in/ op de grasbekleding mogen niet groter zijn dan $0,15$ m².

Toelichting:

Zoals eerder beschreven hierboven is de aanwezige vegetatie gesloten en is er een maximaal overslagdebiet kleiner of gelijk aan 1 l/m/s. Hierdoor wordt er ook voldaan aan eis 2. De onderliggende kleilaag is niet gemeten, maar aangenomen kan worden dat de benodigde $0,40$ m kleilaag aanwezig is. De grootste obstakels langs de Rijksweg zijn hectometer paaltjes en lichtmasten. Deze obstakels voldoen aan de maximale obstakelgrote van $0,15$ m².

Omdat er niet voldaan wordt aan alle 4 de sub stappen is het nodig om de vegetatie te toetsen aan stap 2.

Stap 2: Gedetailleerde toets regels

1. De grasbekleding moet dicht zijn en moet ontdaan zijn van tuintjes en begroeiingen;
2. Taludhelling mag niet meer zijn dan $1:2,3$;
3. Er moet een kleilaag aanwezig zijn van $0,40$ m dikte;
4. Objecten groter dan $0,15 \times 0,15$ mogen niet in de berm aanwezig zijn;

Toelichting:

Langs de Rijksweg zijn er geen tuinen en/ of begroeiingen bevonden op de berm/ taluds. De taludhelling op de meeste plaatsen varieert tussen de $1:15$ tot $1:20$ waardoor aan eis 2 voldaan wordt. Eis 3 en 4 is in de vorige stappen al onderbouwd.

	Locatie 1		Locatie 2		Locatie 3	
	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet niet
Stap 1.1						
Stap 1.2						
Stap 1.3						
Stap 1.4						
Stap 2.0						
Beheercategorie	HH-		HH-		HH-	

Tabel 17 Matrix toetsing grasbekleding

4.4.2 Uitwerkingen t.b.v. reststerkte kleilaag

Door gelimiteerde mogelijkheden is het niet mogelijk geweest om de eigenschappen en de reststerkte van de klei te bepalen.

4.4.3. Uitwerkingen t.b.v. locatie onderzoek

In samenwerking met de weginspecteurs van Rijkswaterstaat is er op 1 juni 2016 een locatieonderzoek uitgevoerd langs de Rijksweg A58 in Reimerswaal. Het doel van dit locatieonderzoek is om meer inzicht te krijgen van de vegetatie onder de grond. In het onderzoeksvoorstel wordt op bladzijde 36 beschreven welke eigenschappen het wortelstelsel nodig heeft om tot een volgroeide vegetatie te komen. Binnen dit locatie onderzoek is alleen de eerste 20 centimeter onderzocht i.v.m. beperkte gereedschappen en bevoegdheden. In totaal zijn drie locaties onderzocht:

- Locatie 1 t.p.v. hmp 136:00
- Locatie 2 t.p.v. hmp 133:00
- Locatie 3 t.p.v. hmp 127:00

Locatie 1:



Figuur 53 Boormonster locatie 1 voorkant



Figuur 54 Boormonster locatie 1 achterkant

Op de eerste locatie t.p.v. hmp 136:00 is gebleken dat er over de hele lengte van de boring een dicht wortelstelsel aanwezig is. Zoals te zien is op figuur 53 en 54 is de onderste 10 centimeter van het boormonster lichter van kleur wat zou kunnen refereren met rivierklei. Deze licht gekleurde klei is zeer compact en heeft tevens een goed wortelstelsel.

22 juni 2016

Locatie 2:



Figuur 55 Boormonster locatie 2 voorkant



Figuur 56 Boormonster locatie 2 achterkant

Op de tweede locatie t.p.v. hmp 133:00 is ook gebleken dat er over de hele lengte van de boring een dicht wortelstelsel aanwezig is. De kleur van het boormonster is over de gehele lengte hetzelfde en wijkt dus af van het eerste monster. De klei die aanwezig is op locatie 2 wordt geclassificeerd als rivierklei. De klei is zeer compact en was moeilijk uit de grond te halen.

Locatie 3



Figuur 57 Boormonster locatie 3 voorkant



Figuur 58 Boormonster locatie 3 achterkant

Op de derde locatie t.p.v. hmp 127:00 is ook gebleken dat er over de hele lengte van de boring een dicht wortelstelsel aanwezig is. De klei die aanwezig is op locatie 2 wordt geclassificeerd als rivierklei. De klei is zeer compact en heeft een goed wortelstelsel wat duidt op een goede erosiebestendigheid.

4.4.4. Uitwerkingen t.b.v. overslagproeven

Om een impressie te bieden van hoe de grasbekleding zich standhoudt bij een overstroming heeft Deltares verschillende overslagproeven uitgevoerd op verschillende dijken met grasbekledingen. Binnen dit onderzoek is er geen mogelijkheid om deze proeven uit te voeren i.v.m. de complexiteit en grote van het experiment. Vanuit de proeven die Deltares heeft uitgevoerd wordt een benadering gezocht voor de bermen langs de Rijksweg. De situatie die het dichtst bij de situatie langs de Rijksweg komt is de vechtdijk gelegen bij Zwolle. Hier is een vegetatie aanwezig die overeen komt met de vegetatie die langs de Rijksweg aanwezig is. Tevens is de beheercategorie HH- die toegepast wordt op de vechtdijk hetzelfde als langs de Rijksweg A58.



Figuur 59 Overslagproef vechtdijk - 0-situatie (Meer, 2012)



Figuur 60 Overslagproef vechtdijk - Eerste schade (Meer, 2012)



Figuur 61 Overslagproef vechtdijk - Eindresultaat overslagproef (Meer, 2012)



Figuur 62 Overslagproef vechtdijk - Eindresultaat overslagproef (Meer, 2012)

De stroomsnelheden die bij de overslagproeven op de vechtdijk voorkomen zijn naar alle waarschijnlijkheid hoger dan de stroomsnelheden op de bermen van de Rijksweg. Dit komt doordat de taludhellingen langs de Rijksweg flauw zijn, waardoor het water minder snelheid meekrijgt. Dit zal resulteren in mindere schades op het talud. Om toch een beeld te geven van de mogelijke schades die zich bij de overslagproeven van deze vegetatie kunnen voordoen, wordt deze situatie gepresenteerd. Op figuur 61 en 62 is te zien dat er na een overslagproef van 5 l/m/s die gedurende 5 uur heeft geduurd, er een lichte schade is aan het talud. Wat voor de stabiliteit van de Rijksweg het belangrijkste is, is dat het talud niet bezwijkt. In deze proef is dat ook niet het geval.

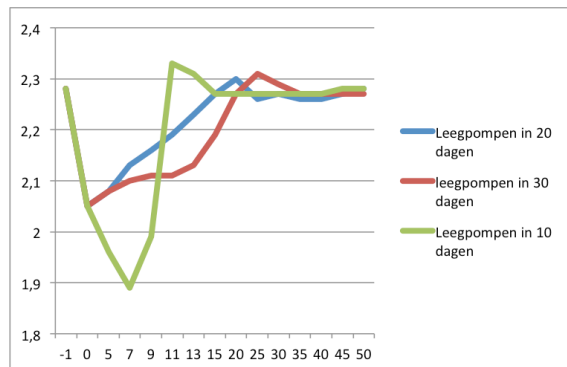
5. Conclusie

Binnen dit onderzoek is er onderzoek gedaan naar de stabiliteit van de snelweg tijdens en na een overstroming en tevens gekeken naar de erosiebestendigheid van de bermen. Zoals in de probleemstelling beschreven staat is er onderzoek gedaan om de volgende vraag te kunnen beantwoorden:

‘Wat zijn de gevolgen van een overstroming op de stabiliteit van de Rijksweg A58 in Reimerswaal en in hoeverre zijn de bermen erosiebestendig tijdens een overstroming?’.

In de toetsing van de stabiliteit is aangenomen dat na verloop van tijd het gehele weglichaam verzadigt is. De waterstand binnenin het weglichaam zal, nadat er gestart is met het leegpompen van de polder, langzaam dalen naar zijn oorspronkelijke grondwaterstand. Het dalen van de grondwaterstand zorgt voor een dalende stabiliteit en eventuele instabiliteit van de Rijksweg. Binnen de toetsing van de stabiliteit zijn drie locatie getoetst op de stabiliteit.

Wat is opgevallen binnen de toetsing is dat de snelheid van het leegpompen maatgevend is voor het verlies aan stabiliteit. De stabiliteit van de getoetste locaties bleef ondanks de verschillende leegpomp situaties boven de 1,0 [-] safety factor. Wel is vastgesteld dat de stabiliteit/ draagkracht van de Rijksweg met 20% afneemt wanneer het water in 10 dagen wordt teruggebracht naar polderpeil. Bij het terugbrengen van het polderpeil in 20 dagen is de afname van stabiliteit/ draagkracht nog 10%. Het terugbrengen van het polderpeil in 30 dagen geeft geen significant verschil t.o.v. het leegpompen in 20 dagen.



Figuur 63 Overzicht safetyfactoren (Y-as) t.o.v. de tijd (X-as) in dagen verschillende leegpompsituaties locatie 1

De belangrijkste factoren binnen de toetsing op stabiliteit:

- Grondopbouw;
- Hoek van inwendige wrijving grondsoort;
- Grondwaterstand;
- Bermbreedte tot watergang;
- Taludhelling;

Om de hoofdvraag te beantwoorden omtrent de stabiliteit van de Rijksweg, kan er gezegd worden dat er geen direct risico is tot grote instabiliteit van de ondergrond. De Rijksweg A58 gelegen in Reimerswaal behoudt zijn benodigde stabiliteit en is begaanbaar te alle tijden voor het wegverkeer. Het advies wat gegeven kan worden is dat het terugbrengen van het polderpeil in 20 dagen de meest redelijke lijkt te zijn. In deze situatie blijft de stabiliteit ruim voldoende en is de Rijksweg binnen 30 dagen weer in zijn originele staat. Wel moet gezegd worden dat er binnen dit onderzoek m.b.t. grondparameters aannames zijn gedaan omtrent de grondeigenschappen conform NEN-EN 9997. De grondeigenschappen in het model kunnen verschillen met de werkelijkheid. Er is verder onderzoek nodig om de exacte parameters te weten te komen.

22 juni 2016

Om het tweede deel van de hoofdvraag te beantwoorden m.b.t. de erosiebestendigheid van de bermen, kan er gezegd worden dat de vegetatie langs de Rijksweg goed bestand is tegen een overstroming. Er zitten wel wat kanttekeningen aan deze conclusie. De conclusie is geredeneerd op basis dat de bermen tot zekere mate gemaaid worden. Dit is van groot belang voor de erosiebestendigheid ervan. Het beleid omtrent het beheren van de bermen is de laatste jaren versobert i.v.m. het meer ruimte geven aan flora en fauna. Het gefaseerd maaien van de bermen kan ervoor zorgen dat de begroeiing te lang wordt. De vegetatie is van goede kwaliteit en het wortelstelsel is in de eerste 20 centimeter volledig aanwezig. Over de reststerkte van de klei kan in dit onderzoek geen uitspraak gedaan worden. Binnen Rijkswaterstaat zijn geen gegevens bekend over de eigenschappen van de aanwezige klei langs de Rijksweg. Hier moet nader onderzoek naar gedaan worden. Vanuit de benadering van de overslagproeven is duidelijk te zien dat de aanwezige vegetatie tegen een stootje kan. Zeker omdat de taludhellingen vergeleken met de overslagproef flauwer zijn.

6. Discussie & Aanbevelingen

Om de conclusie meer relevantie te geven wordt er binnen dit hoofdstuk de discussie gestart. Hierin wordt het onderzoek wat uitgevoerd is geëvalueerd en worden verwachtingen en resultaten besproken. In de daaropvolgende aanbevelingen worden de maatregelen en vervolg onderzoeken beschreven.

Hieronder de opsomming omtrent de discussie:

- Grondparameters die toegepast zijn in het D-Geo stabiliteit programma kunnen afwijken van de werkelijkheid;
- Grondwaterstand verloop die d.m.v. doorlatendheid per grondsoort is berekend kan afwijken van de werkelijkheid;
- De boven belasting die is toegepast is conform NEN-EN 1991 en wordt toegepast voor draagconstructies. De toegepaste aslasten die toegepast worden voor het toetsen van het weglichaam zijn aan de zware kant. Dragende constructies worden d.m.v. deze aslasten getoetst i.v.m. het niet mogen bezwijken in 100 jaar. Deze eis is niet n.v.t. op de wegconstructie;
- Dwarsdoorsnedes van de verschillende onderzochte locaties zijn gegenereerd vanuit GIS. Hiervoor is gekozen omdat de er geen dwarsprofielen beschikbaar/ aanwezig zijn bij Rijkswaterstaat;
- Overslag proeven zijn niet van de locaties langs de Rijksweg maar van de Vechtdijk gelegen nabij Zwolle. De proeven zijn een benadering voor de situatie langs de Rijksweg A58;
- De bermen zijn erosiebestendig mits er een korte/ gemaaide vegetatie aanwezig is.

Hieronder de opsomming omtrent de aanbevelingen:

- Er is meer onderzoek nodig naar de eigenschappen van de aanwezige grondsoorten;
- Het bepalen van het grondwaterstand verloop moet verder onderzocht worden;
- Voor het bepalen van het complete wortelstelsel moeten diepere boringen uitgevoerd worden;
- Voor de erosiebestendigheid is het van essentieel belang dat er een korte vegetatie aanwezig is. Mede door de versoering van het beheer is dit niet altijd het geval. Daarom de aanbeveling om het beheer omtrent het maaien van de bermen te herzien en indien aan te passen;
- Constructieve aanpassingen zijn niet aan de orde voor de Rijksweg A58 n.a.v. de conclusie.

7. Bibliografie

- (2014, November 8). (S. C. Zeeland, Producent) Opgehaald van Zeeuwse ankers:
<http://www.zeeuwseankers.nl/nl-NL/verhaal/388/stormvloed>
- (2016). (TUdelft, Producent) Opgehaald van mstudioblackboard TUdelft:
<http://mstudioblackboard.tudelft.nl/staalbetonbruggen/staalbetonbruggen5/hfdstuk5.htm>
- (2016). Opgehaald van bodemrichtlijn:
<http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/c-grondverzet/c2-open-ontgraven/open-ontgraven-ontwerpmethoden-geometrie-ontgravingen-onder-vrij-8749>
- Addae, H. H. (2015). Magazine Nationale Veiligheid en crisisbeheersing.
- Applemaps. (2016). Apple maps. Opgehaald van <https://mapsconnect.apple.com/>
- CROW. (2014). Richtlijn Ontwerp autosnelwegen 2014. CROW.
- Deltaproof. (2015). (Stowa, Producent) Opgehaald van <http://deltaproof.stowa.nl>:
http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Meerlaagsveiligheid_in_de_praktijk.aspx
- Deltares. (2016). D-Geostability. Opgehaald van www.deltares.nl
- Deltares. (2016). DGeoStability User Manual. Deltares. Deltares Delft.
- DINOloket. (2016). Opgehaald van www.dinoloket.nl
- Googlemaps. (2016). Maps. Opgehaald van <https://www.google.nl/maps>
- Grondwaterformules. (2016). Opgehaald van
<http://www.grondwaterformules.nl/index.php/vademecum/ondergrond/globale-doorlatendheid>
- H.Massink. Nieuwe veiligheid. Nieuwe veiligheid. HZ University of Applied Sciences.
- Jessica Keetelaar, G. N. (2015). Deltaprogramma 2016. Twynstra Gudde / Naeff Consul.
- Keizer, P. (2008). Overzicht van de vegetatie langs Rijkswegen. Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat.
- Kuzmin, J. (2014). Possible secondary consequences of flooding in the municipality of Reimerswaal .
- Landwehr, i. J. (2014). KPP Aanlegvraagstukken Klimaatbestendigheid geotechnische constructies. Deltares.
- Marel, G. v. (2015, Augustus 30). Economie en Politiek. Opgehaald van Financieel dagblad:
<http://fd.nl/economie-politiek/1116671/waterkering-staat-als-huis-maar-stad-is-nog-diep-verdeeld>

22 juni 2016

Meer, J. v. (2012). Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. Rijkswaterstaat. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Nederland, A. h. (2016). ahn. Opgehaald van www.ahn.nl

Nederland, A. h. (2016). Algemene hoogtekaart nederland. Opgehaald van www.ahn.nl

Overstromingen, L. I. (2016). basisinformatie-overstromingen. (Rijksoverheid, Producent) Opgehaald van <http://professional.basisinformatie-overstromingen.nl/liwo/#basisinfo>

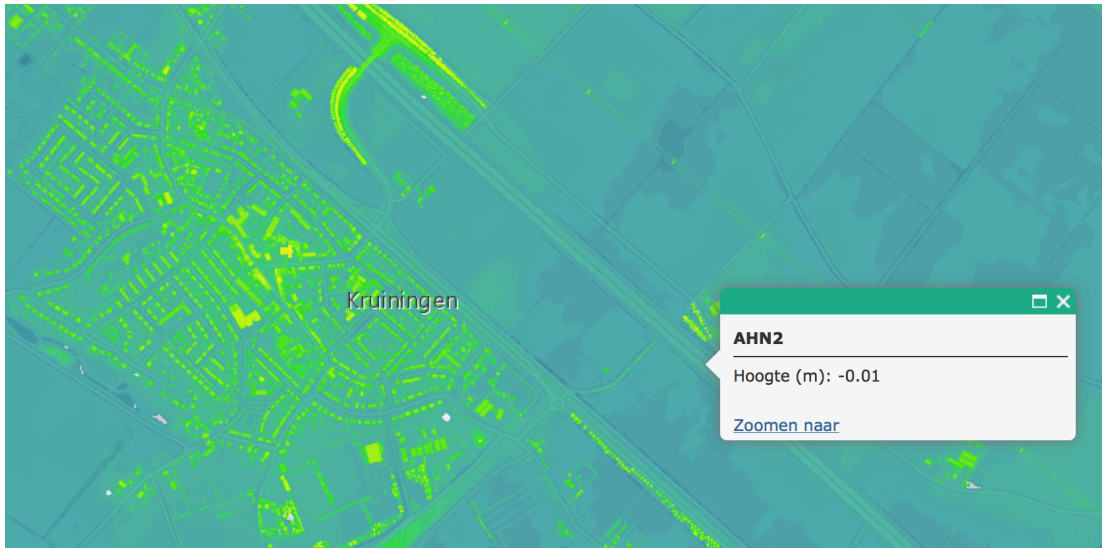
Rijksoverheid. (2012, juni 13). (Rijksoverheid) Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl:https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2012/06/13/laatste-zwakke-schakels-langs-de-kust-krijgen-versterking>

Tara Geerdink, N. M. (2014). Gebiedsstudie Rotterdam Noord INCAH. TNO innovation for life. Stichting kennis voor klimaat.

(2008). Waterproof. Taskforce Management Overstromingen TMO.

Bijlage I 'Onderzoek locaties'

In deze bijlage wordt een uitgebreide impressie gegevens van de onderzochte locaties.



Figuur 64 Algemene hoogtekaart Nederland locatie 1 (Nederland, 2016)



Figuur 65 Google earth t.p.v. locatie 1 (Googlemaps, 2016)



Figuur 66 Google straatview t.p.v. locatie 1 hmp 136:00 (Googlemaps, 2016)



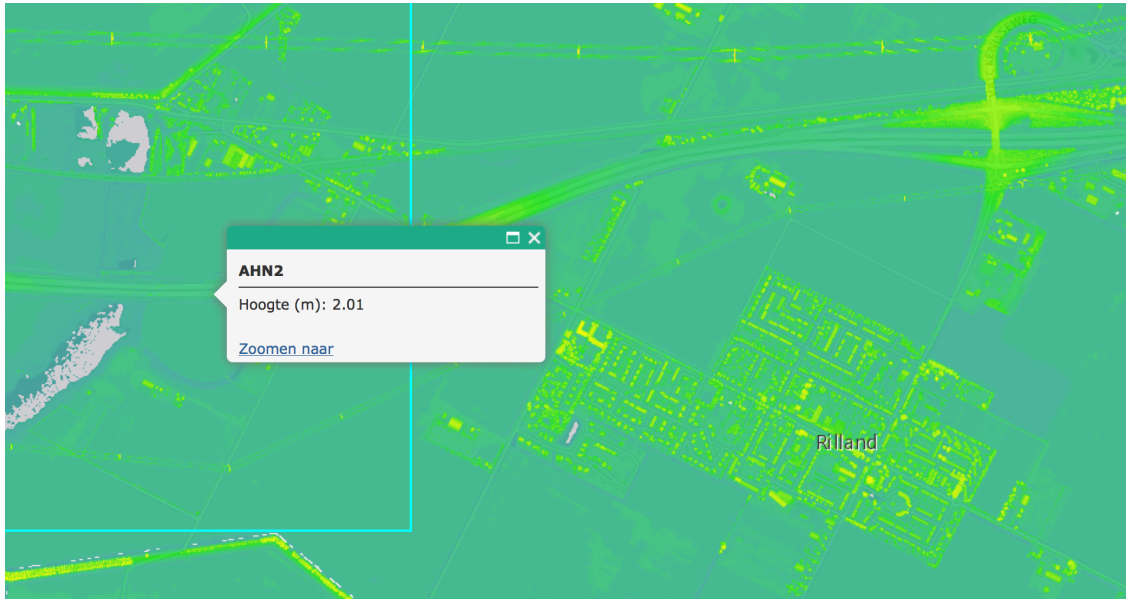
Figuur 67 Algemene hoogtekaart Nederland locatie 2 (Nederland, 2016)



Figuur 68 Google earth t.p.v. locatie 2 (Googlemaps, 2016)



Figuur 69 Google straatview t.p.v. locatie 2 hmp 133:00 (Googlemaps, 2016)



Figuur 70 Algemene hoogtekaart Nederland locatie 3 (Nederland, 2016)



Figuur 71 Google earth t.p.v. locatie 3 (Googlemaps, 2016)



Figuur 72 Google straatview t.p.v. locatie 3 hmp 127:30 (Googlemaps, 2016)

Bijlage II 'Grondopbouw'

Grondopbouw locatie 1

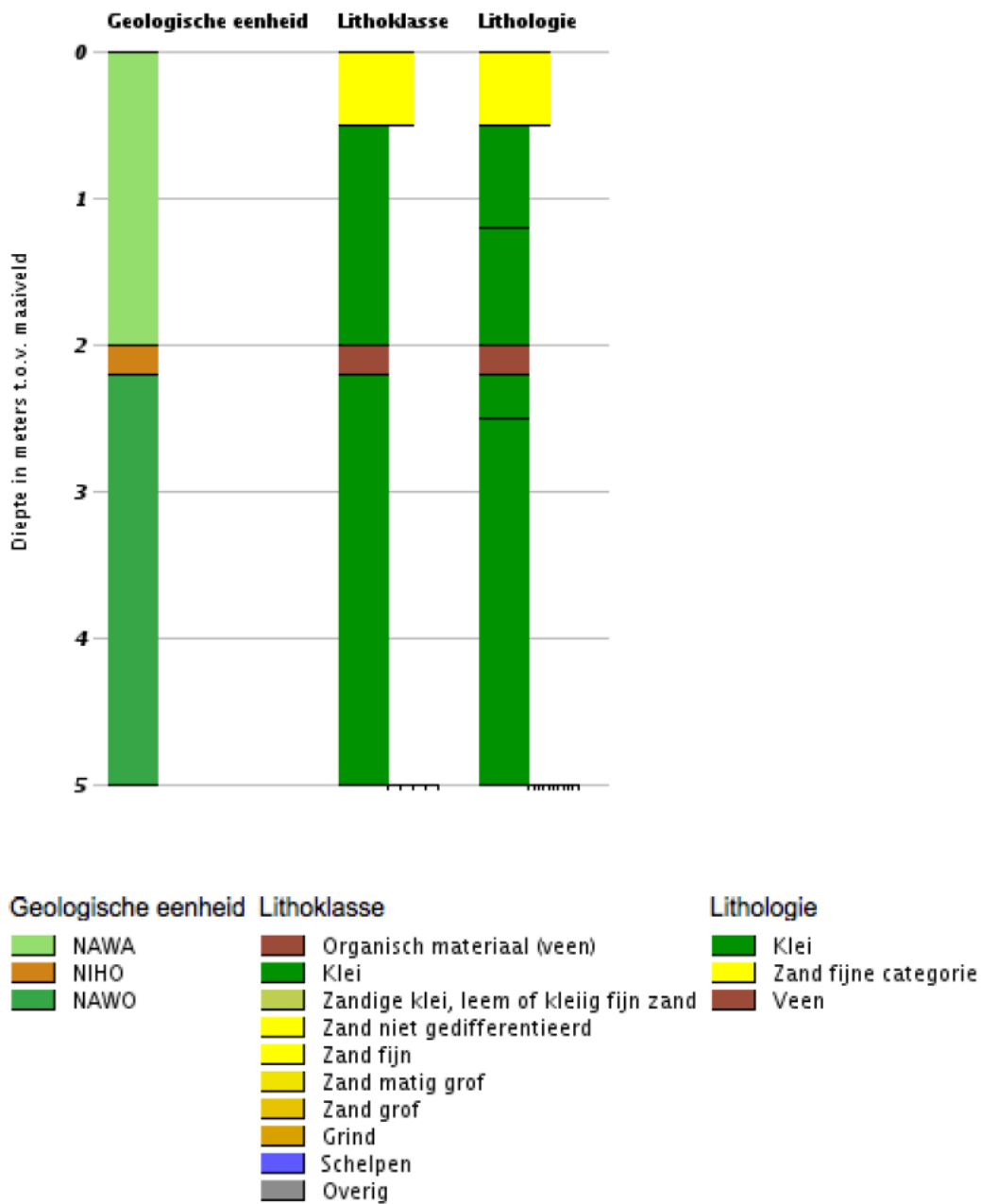
Boormonsterprofiel en interpretatie GeoTOP v1.2

Identificatie: B49C1400

Coördinaten: 62181, 384819

Maaiveld: -0,30 m

Diepte t.o.v. maaiveld: 0,00 m - 5,00 m

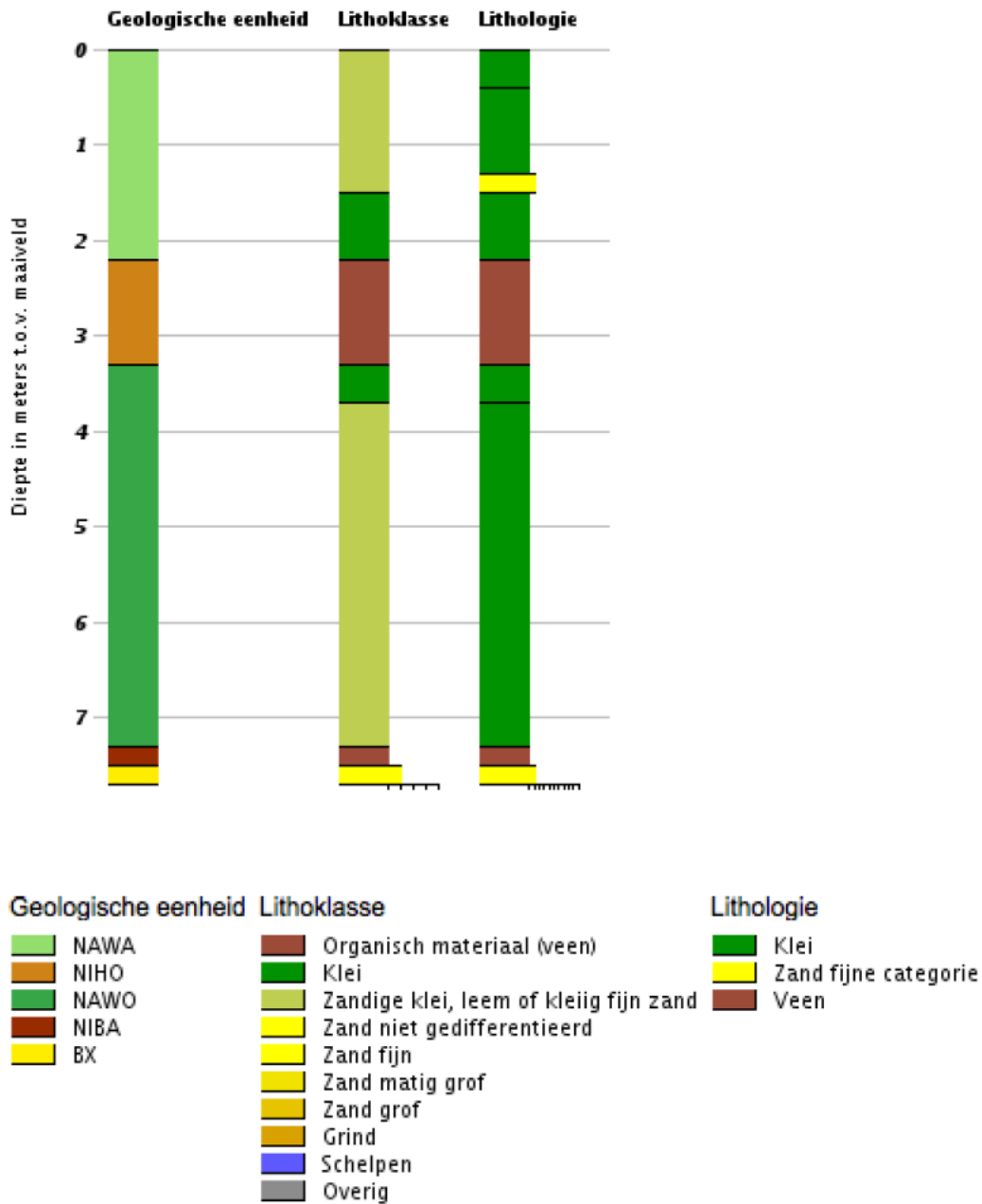


Figuur 73 Grondopbouw volgens grondboring B49C1400 (DINOloket, 2016)

Grondopbouw locatie 2

Boormonsterprofiel en interpretatie GeoTOP v1.2

Identificatie: B49C1062
 Coördinaten: 64330, 382870
 Maaiveld: 0,40 m
 Diepte t.o.v. maaiveld: 0,00 m - 7,70 m



Figuur 74 Grondopbouw volgens grondboring B49C1062 (DINOloket, 2016)

Grondopbouw locatie 3

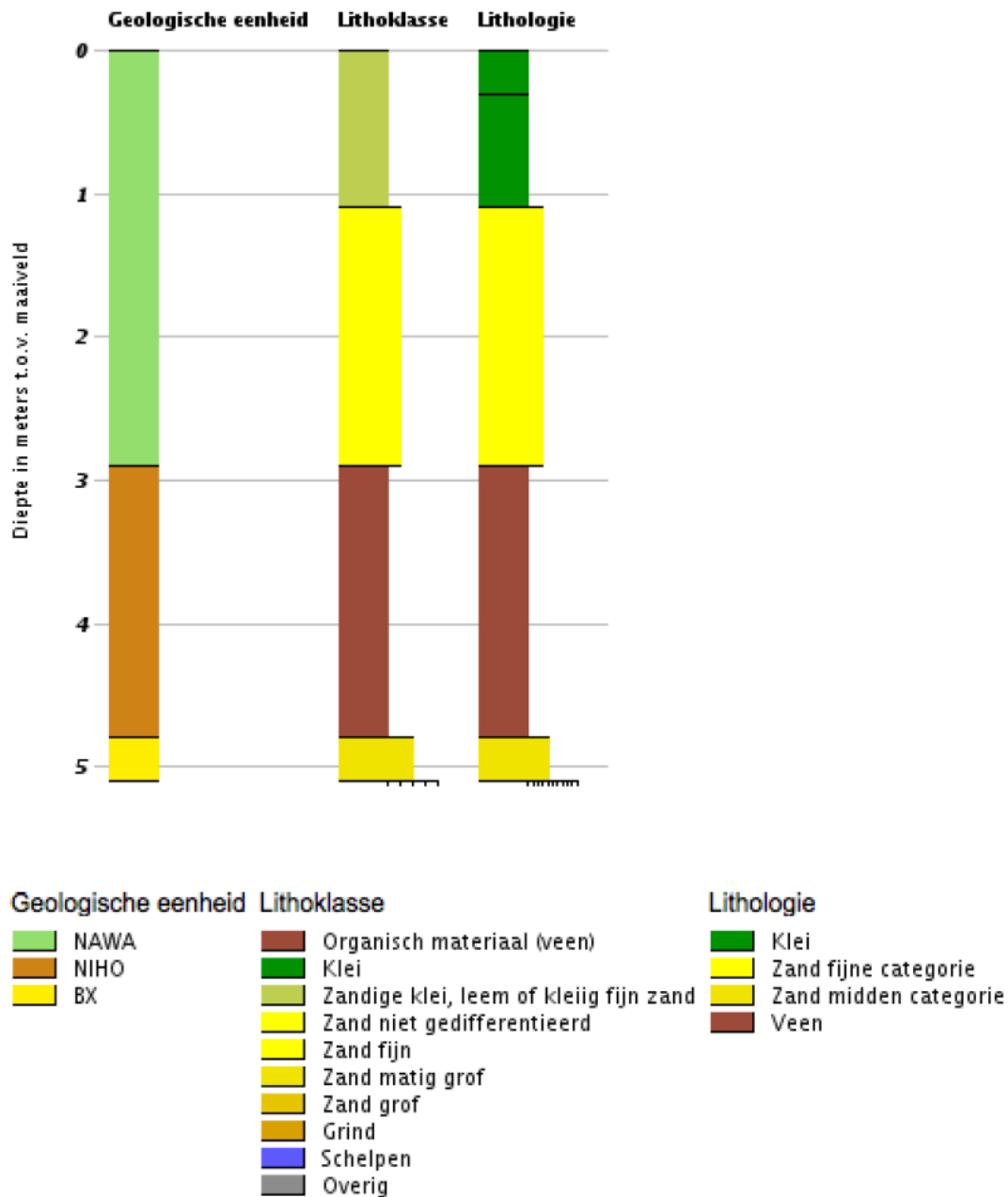
Boormonsterprofiel en interpretatie GeoTOP v1.2

Identificatie: B49C0959

Coördinaten: 69275, 381792

Maaiveld: 1,20 m

Diepte t.o.v. maaiveld: 0,00 m - 5,10 m



Figuur 75 Grondopbouw volgens grondboring B49C0959 (DINOloket, 2016)

Grondopbouw aanvulling andere locatie op diepte

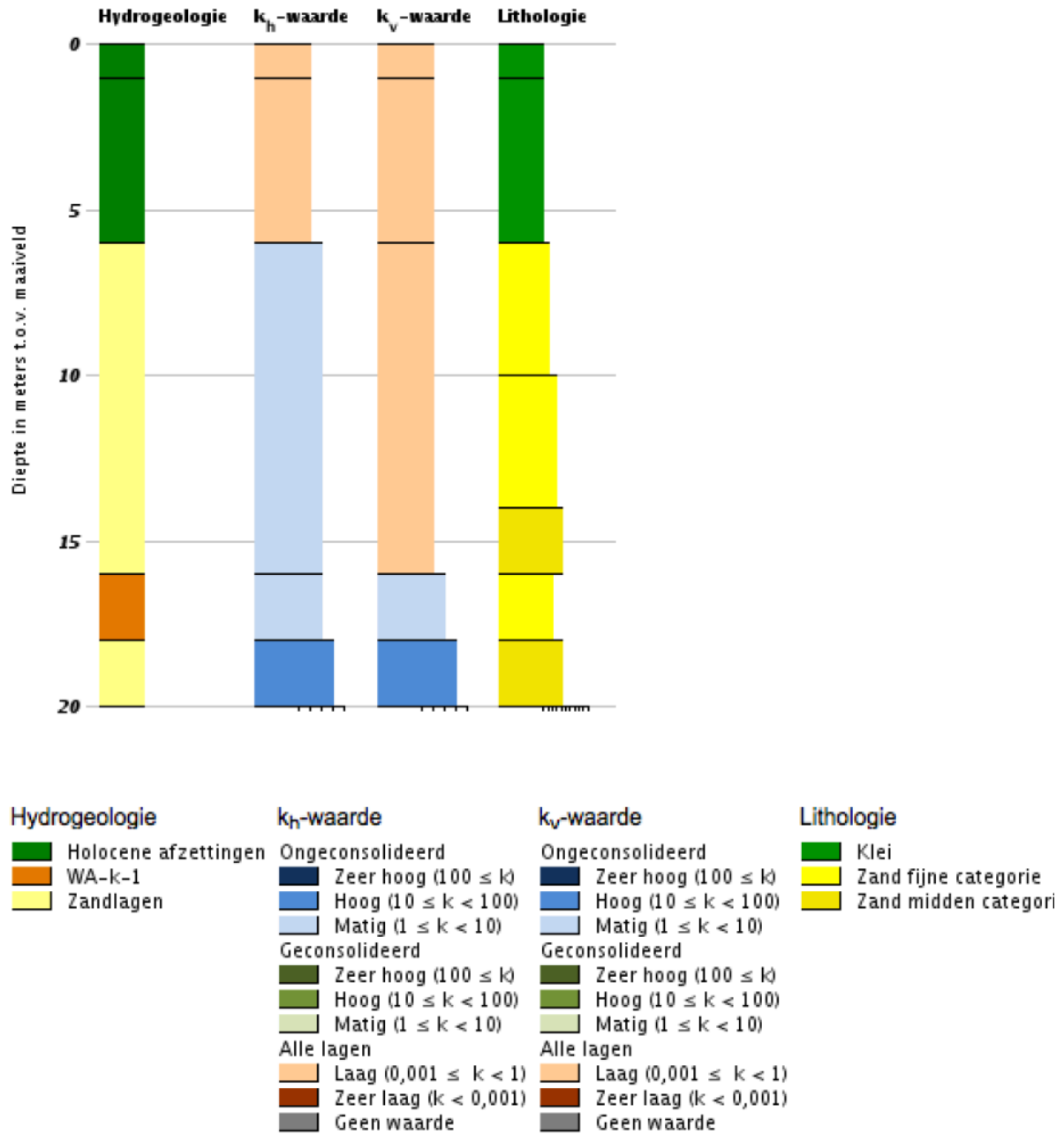
Boormonsterprofiel en interpretatie REGIS II v2.1

Identificatie: B49C0141

Coördinaten: 62381, 384747

Maaiveld: -0,77 m

Diepte t.o.v. maaiveld: 0,00 m - 20,00 m



Figuur 76 Aanvulling grondopbouw volgens grondboring B49C0141 (DINOloket, 2016)

Grondparameters volgens NEN-EN 9997 Tabel 2

Grondsoort			Karakteristieke waarde ^a van grondeigenschap																					
Hoofd-naam	Bijmengsel	Consistentie ^b	γ^c kNm ³	λ_{sat} kNm ³	$q_c^{d,e}$ MPa	C_p^f g	C_s^f	$C_v/(1+e_0)^g$ [-]	C_u^f [-]	$C_{sw}/(1+e_0)^g$ [-]	$E_{ice}^{e,h}$ MPa	ϕ^i Graden	c^j kPa	c_u kPa										
Grind	Zwak siltig	Los	17	19	15	500	∞	0,0046	0	0,0015	45	32,5	0	n.v.t.										
		Matig	18	20	25	1000	∞	0,0023	0	0,0008	75	35,0	0											
		Vast	19	20	21	22	30	1200	1400	∞	0,0019	0,0016	0		0,0008	0,0005	90	105	37,5	40,0	0			
	Sterk siltig	Los	18	20	10	400	∞	0,0058	0	0,0019	30	30,0	0		n.v.t.									
		Matig	19	21	15	600	∞	0,0038	0	0,0013	45	32,5	0											
		Vast	20	21	22	22,5	25	1000	1500	∞	0,0023	0,0015	0			0,0008	0,0005	75	110	35,0	40,0	0		
Zand	Schoon	Los	17	19	5	200	∞	0,0115	0	0,0038	15	30,0	0	n.v.t.										
		Matig	18	20	15	600	∞	0,0038	0	0,0013	45	32,5	0											
		Vast	19	20	21	22	25	1000	1500	∞	0,0023	0,0015	0		0,0008	0,0005	75	110	35,0	40,0	0			
	Zwak siltig, kleiig	Los	18	19	20	21	12	450	650	∞	0,0051	0,0035	0		0,0017	0,0012	35	50	27,0	32,5	0	n.v.t.		
		Matig	18	19	20	21	8	200	400	∞	0,0115	0,0068	0		0,0038	0,0019	15	30	25,0	30,0	0			
		Vast	18	19	20	21	2	45	70	100	∞	0,0230	0,0153		0,0153	0,1022	0,0767	0,5	1,0	15,0	2,5		5	20
Leem ^a	Zwak zandig	Slap	19	19	1	25	650	0,0920	0,0037	0,0307	2	27,5	30,0	0	50									
		Matig	20	20	2	45	1300	0,0511	0,0020	0,0170	3	27,5	32,5	1	100									
		Vast	21	22	21	22	3	70	100	1900	2500	0,0329	0,0230	0,0013	0,0009	0,0110	0,0077	5	7	27,5	35,0	2,5	3,8	200
Klei	Schoon	Slap	14	14	0,5	7	80	0,3286	0,0131	0,1095	1	17,5	0	25										
		Matig	17	17	1,0	15	160	0,1533	0,0061	0,0511	2	17,5	5	50										
		Vast	19	20	19	20	2,0	25	30	320	500	0,0920	0,0787	0,0037	0,0031	0,0307	0,0256	4	10	17,5	25,0	13	15	100
Zwak zandig	Slap	15	15	0,7	10	110	0,2300	0,0092	0,0767	1,5	22,5	0	40											
	Matig	18	18	1,5	20	240	0,1150	0,0046	0,0383	3	22,5	5	80											
	Vast	20	21	20	21	2,5	30	50	400	600	0,0767	0,0460	0,0031	0,0018	0,0256	0,0153	5	10	22,5	27,5	13	15	120	170
Sterk zandig	Slap	18	20	18	20	1,0	25	140	320	1680	0,0920	0,0164	0,0037	0,0007	0,0307	0,0055	2	5	27,5	32,5	0	1	0	10
	Matig	13	13	0,2	7,5	30	0,3067	0,0153	0,1022	0,5	15,0	0	10											
	Vast	15	16	15	16	0,5	10	15	40	60	0,2300	0,1533	0,0115	0,0077	0,0767	0,0511	1,0	2,0	15,0	0	1	25	30	
Veen	Niet voorbelast	Slap	10	12	10	12	0,1	5	7,5	20	30	0,4600	0,3067	0,0230	0,0153	0,1533	0,1022	0,2	0,5	15,0	1	2,5	10	20
		Matig voorbelast	Matig	12	13	12	13	0,2	7,5	10	30	40	0,3067	0,2300	0,0153	0,0115	0,1022	0,0767	0,5	1,0	15,0	2,5	5	20
Variatiecoëfficiënt v			0,05			-			0,25			0,10			0,20									

Tabel 18 Grondparameters volgens NEN 9997

^a De tabel geeft van de desbetreffende grondsoort de lage, respectievelijk de hoge karakteristieke waarde van gemiddelden. Binnen een gebied, gedefinieerd door de rij van het bijmengsel en de kolom van de parameter (een cel), geldt:

- als een verhoging van de waarde van een van de grondeigenschappen tot een ongunstiger situatie leidt dan de toepassing van de in de tabel gepresenteerde lagere karakteristieke waarde, moet de rechterwaarde op dezelfde regel zijn gebruikt. Is er rechts geen waarde vermeld, dan moet de waarde er rechtsonder zijn toegepast; **OPMERKING** Dit is bijvoorbeeld het geval bij negatieve kleeft op een paal waar een hogere waarde van ϕ' , c' en c_u ook een hogere waarde van de negatieve kleeft oplevert.
- voor $C_v/(1+e_0)$, C_u en $C_{sw}/(1+e_0)$ zijn in de tabel de hoge karakteristieke gemiddelde waarden vermeld.

^b Los: $0 < R_n < 0,33$
 Matig: $0,33 \leq R_n \leq 0,67$
 Vast: $0,67 < R_n < 1,00$

^c De γ -waarden zijn van toepassing bij een natuurlijk vochtgehalte.

^d De hier gegeven q_c -waarden (conusweerstand) behoren beschouwd te worden als ingang in de tabel en mogen niet in de berekening worden gebruikt.

^e De waarden hebben betrekking op verzadigde leem.

^f De C_p -waarden zijn geldig voor een spanningverhogingsstraject van ten hoogste 100 %.

^g Voor grind, zand en in beperkte mate ook voor leem en sterk zandige klei zijn q_c , $E_{50,0}$, ϕ' en de samendrukkingsparameters C_p , $C_v/(1+e_0)$ en $C_{sw}/(1+e_0)$ genormeerd voor een effectieve verticale grondspanning σ'_v van 100 kPa. Om voor de in het terrein gemeten waarden van q_c een juiste ingang in de tabel te krijgen, moeten deze waarden zijn geconverteerd naar het niveau van de effectieve verticale grondspanning σ'_v van 100 kPa. In dat kader moet de formule $q_{c,tabel} = q_{c,terrein} \times C_{qc}$ worden gebruikt, waarbij C_{qc} moet zijn ontleend aan $C_{qc} = (100/\sigma'_v)^{0,67}$. Voor de hoek van inwendige wrijving ϕ' en de cohesie c' geldt dat deze afhankelijk zijn van de consistentie van de grond. Dit betekent dat deze conversie ook nodig is voor ϕ' en c' . Als $q_{c,tabel}$ groter wordt dan de in de tabel gegeven waarde geldt de onderste regel voor de desbetreffende grondsoort.

^h De elasticiteitsmodulus bij belastingsherhalingen mag zijn aangenomen als zijnde driemaal de aangegeven waarde.

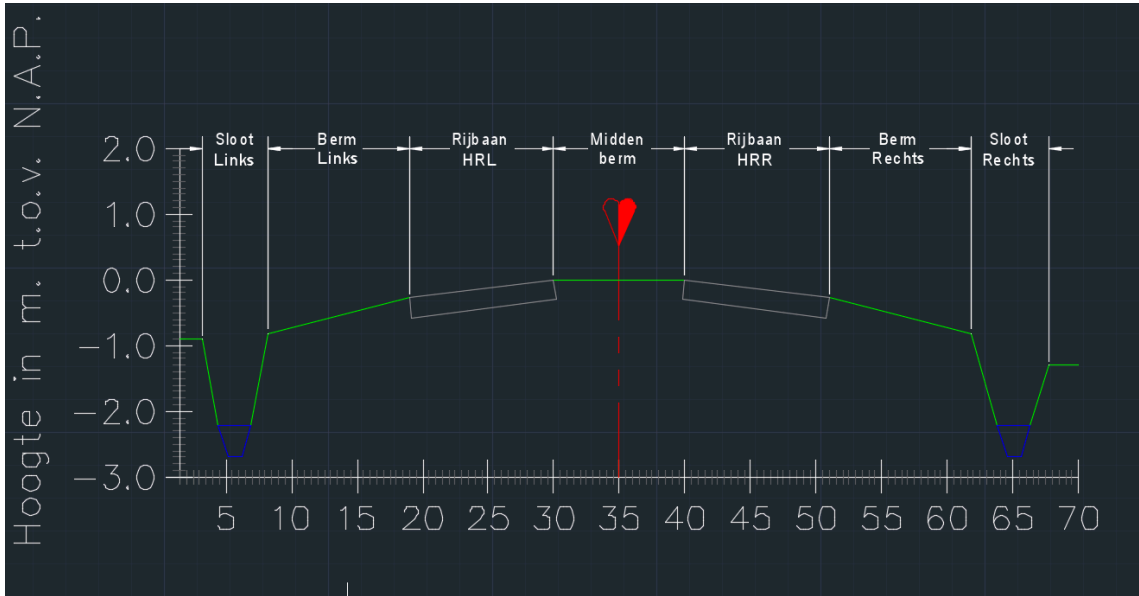
VOORBEELD In schoon zand op een diepte van 5 m onder water is gemeten: $q_{c,terrein} = 9$ MPa en $\sigma'_v = 50$ kPa. Uit de formule voor C_{qc} volgt dan $C_{qc} = 2^{0,67} = 1,6$. Volgens de formule voor $q_{c,tabel}$ geldt dan in dit voorbeeld $q_{c,tabel} = 9 \times 1,6 = 14,4$ MPa. Dit betekent dat $E = 45$ MPa, $\phi^h = 32,5$ graden, $C_p = 600$, $C_v/(1+e_0) = 0,0038$ en $C_{sw}/(1+e_0) = 0,0013$.

Figuur 77 Uitleg grondparameters volgens NEN 9997

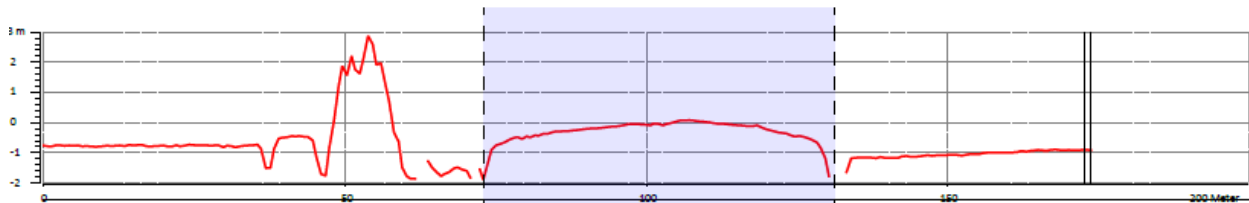
Bijlage III 'Afmetingen weglichaam'

Dwarsprofiel locatie 1

HRL - HRR hmp 136:00 (t.p.v. Kruiningen) op +0,00 N.A.P. Het geschematiseerde dwarsprofiel is met autoCAD getekend en refereert met de hoogtegrafiek uit het GIS-model. De foto is verkregen van google-maps. Het dwarsprofiel van de A58 op hmp 136:00 is bepaald doormiddel van het 'terrain profile tool' in Qgis dat een profiel lengte van +/- 175 m heeft bepaald door de opgegeven hectometrering vanaf het linker wegvlak naar het rechter wegvlak.



Figuur 78 Impressie dwarsprofiel wegconstructie locatie 1

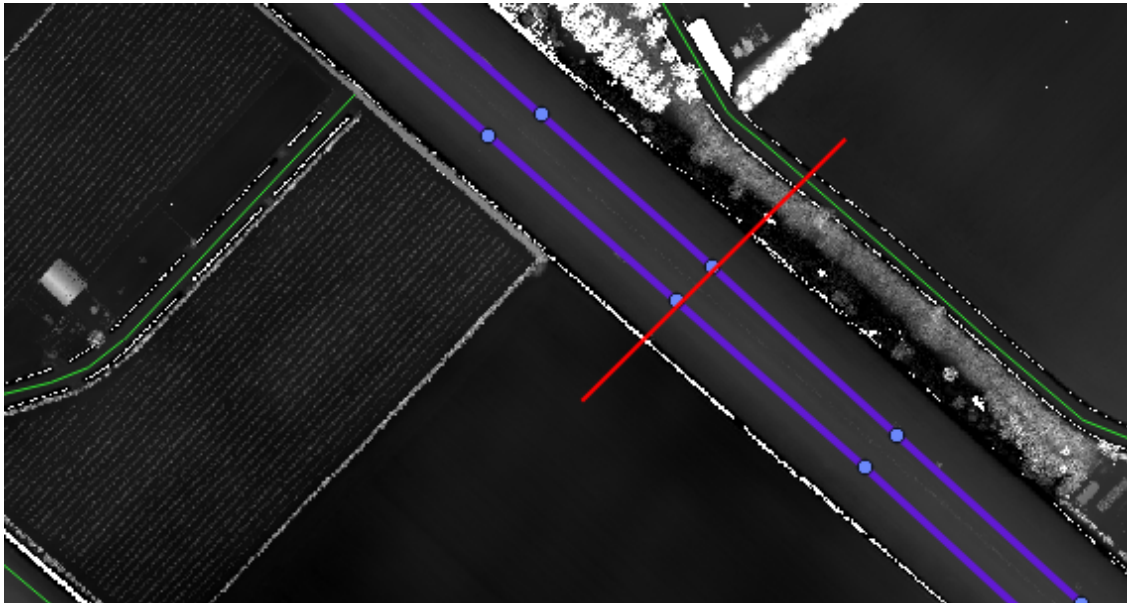


Figuur 79 Hoogtegrafiek gegenereerd uit het GIS-model



Figuur 80 Google street view t.p.v. locatie 1 (Googlemaps, 2016)

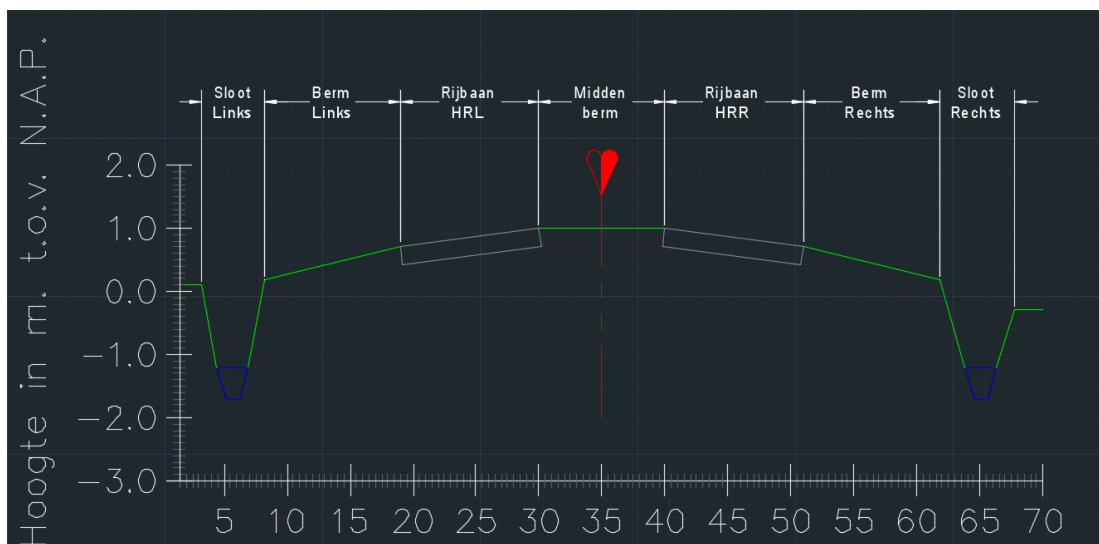
22 juni 2016



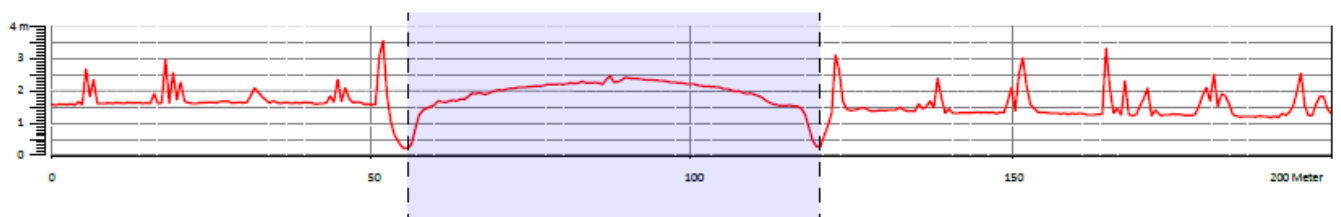
Figuur 81 Locatie 1 dwarsprofiel vanuit Qgis

Dwarsprofiel Locatie 2

HRL - HRR hmp 133:00 (t.p.v. Krabbendijke) op +1,00 N.A.P. Het geschematiseerde dwarsprofiel is met autoCAD getekend en refereert met de hoogtegrafiek uit het GIS-model. De foto is verkregen van google-maps. Het dwarsprofiel van de A58 op hmp 133.00 is bepaald doormiddel van het 'terrain profile tool' in Qgis dat een profiel lengte van +/- 180 m heeft bepaald door de opgegeven hectometrering vanaf het linker wegvlak naar het rechter wegvlak.



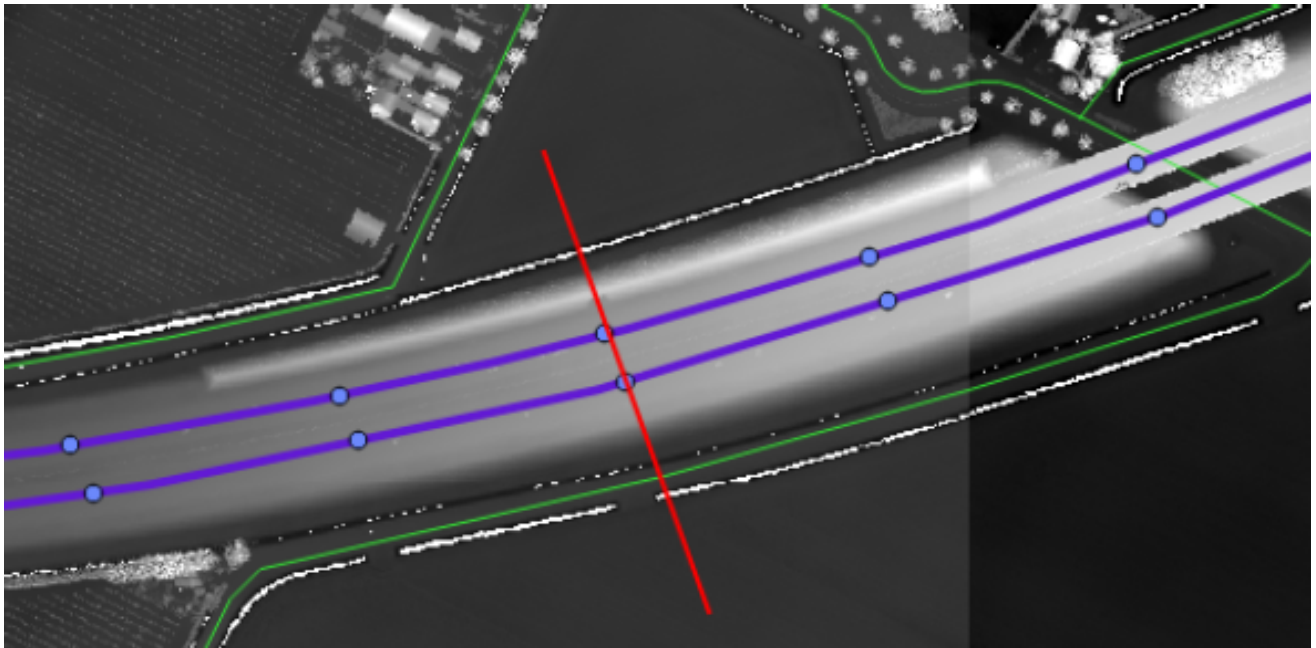
Figuur 82 Impressie dwarsprofiel wegconstructie locatie 2



Figuur 83 Hoogtegrafiek gegenereerd uit het GIS-model



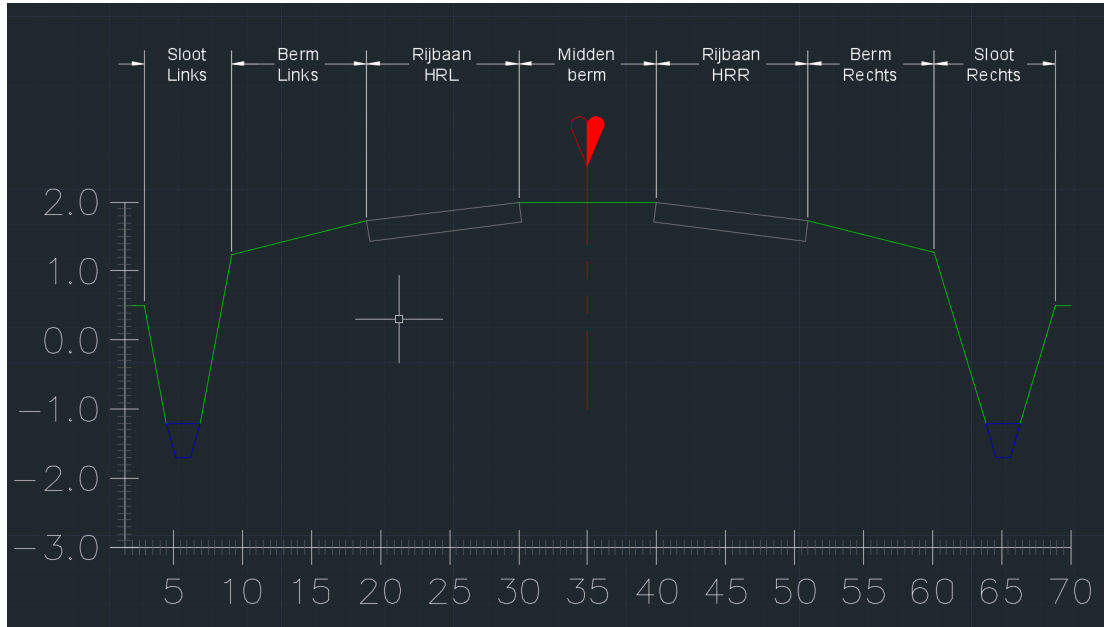
Figuur 84 Google street view t.p.v. locatie 2 (Googlemaps, 2016)



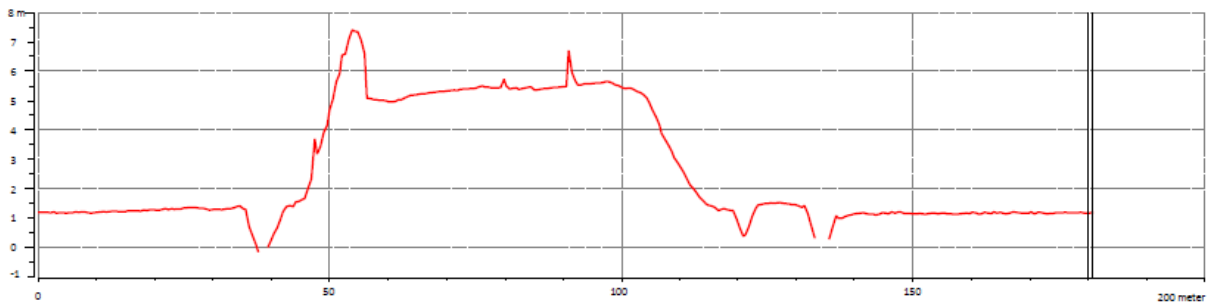
Figuur 85 Locatie 2 dwarsprofiel vanuit Ogis

Dwarsprofiel Locatie 3

HRL - HRR hmp 127:00 (t.p.v. Krabbendijke) op +2,00 N.A.P. Het geschematiseerde dwarsprofiel is met autoCAD getekend en refereert met de hoogtegrafiek uit het GIS-model. De foto is verkregen van google-maps. Het dwarsprofiel van de A58 op hmp 127.00 is bepaald doormiddel van het 'terrain profile tool' in Qgis dat een profiel lengte van +/- 180 m heeft bepaald door de opgegeven hectometrering vanaf het linker wegvlak naar het rechter wegvlak..



Figuur 86 Impressie dwarsprofiel wegconstructie locatie 2



Figuur 87 Hoogtegrafiek gegenereerd uit het GIS-model



Figuur 88 Google street view t.p.v. locatie 2 (Googlemaps, 2016)