Waterschap Rivierenland

Veiligheidsanalyse dijkversterking Gorinchem - Waardenburg

Hoofdrapportage

sterke dijken
schoon water

Waterschap Rivierenland
Augustus 2016

V1.0

Autorisatie	Functie	Naam	Handtekening	Versie
Opsteller	Technisch Manager	Martin Groenewoud		V1.0
Vrijgave	Project Manager	Gert-Jan Goelema		

Inhoud

1 INLEIDING 1
1.1 Gebiedsbeschrijving 1
1.2 Veiligheidsopgave n.a.v. toetsresultaten 3e toetsronde 2
1.3 Nieuwe inzichten en ontwikkelingen 3
1.4 Bijstellen veiligheidsopgave 4
1.4.1 Veiligheidsanalyse 4
1.4.2 Afbakening Veiligheidsanalyse 4
1.5 Rapportagestructuur 5
1.6 Leeswijzer 5
2 RESULTATEN ANALYSE BEOORDELINGSSPOOR OVERLOOP EN GOLFOVERSLAG 6
2.1 Inleiding 6
2.2 Hydraulisch belastingniveau 6
2.3 Resultaten hydraulisch belastingniveau (HBN) 6
2.4 Interpretatie resultaten Overloop en Golfoverslag 11
2.5 Conclusie veiligheidsanalyse Overloop en Overslag 13
3 RESULTATEN ANALYSE BEOORDELINGSSPOOR PIPING 14
3.1 Inleiding 14
3.2 Opbarsten 14
3.2.1 Bepalen gronddruk (van deklaag) 14
3.2.2 Bepalen waterdruk (in watervoerende zandlaag) 14
3.2.3 Bepalen locatie opbarstpunt 15
3.2.4 Resultaten opbarstberekeningen 15
3.3 Resultaten pipinganalyses 17
3.4 Conclusies en aanbevelingen 19
4 RESULTATEN ANALYSE BEOORDELINGSSPOOR MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS 20
4.1 Inleiding 20
4.2 Opbarsten t.b.v. macrostabiliteit binnenwaarts 20
4.3 Veiligheidsbeoordeling Macrostabiliteit binnenwaarts 20
4.4 Conclusies en aanbevelingen 23
5 RESULTATEN ANALYSE BEOORDELINGSSPOOR MACROSTABILITEIT BUITENWAARTS 25
5.1 Inleiding 25
5.2 Veiligheidsbeoordeling macrostabiliteit buitenwaarts 25
5.3 Aanbeveling en consequenties 27
6 CONCLUSIES VEILIGHEIDSOPGAVE GOWA 29

Bijlage 1 Kaartenatlas resultaten Veiligheidsanalyse

1 Inleiding

1.1 Gebiedsbeschrijving

Het traject Gorinchem-Waardenburg is gelegen in de Tielerwaard. Het traject ligt in de provincie Zuid-Holland (gemeente Gorinchem) en de provincie Gelderland (gemeentes Lingewaal en Neerijnen). Het buitenwater is de Waal. Het afgekeurde dijkvak bevindt zich in dijkring 43 en sluit aan de westzijde aan op dijkring 16 en de diefdijklinie. De in de derde toetsronde (LRT-3) afgekeurde dijkvakken zijn in totaal 14,2 km lang waarbij diverse strekkingen zijn afgekeurd op Hoogte (Overloop en Overslag), Macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts en Piping, zie paragraaf 1.2. De totale lengte van het dijktracé bedraagt ruim 23 km.

De rivieren hebben hun sporen achtergelaten in dit landschap. Dicht bij de meanderende waterloop werd fijn zand afgezet (zavel), de zogenoemde oeverwallen en in de kommen erachter bezonk de klei. Van het oosten naar het westen vindt een geleidelijke overgang van drogere zandgronden naar nattere kleigronden plaats. Daarnaast zijn er veenpakketten tussen fort Vuren en Gorinchem. Op de oeverwal liggen compacte dijkdorpen met bochtige straten en kleine boomgaarden tot aan de provinciale weg, die een ‘nieuwe achterstraat’ vormt waaraan na de ruilverkaveling woonwijken en sportterreinen liggen en bedrijven zich vestigen. De dijk vormt een harde grens tussen de wereld van het water en die van de bewoners. De smalle uiterwaarden worden extensief beweid en kennen een eigen karakteristiek van brede sloten met riet, knotwilgen, zomerdijken en sporadisch meidoornhagen. In de wat grotere uiterwaarden als de Beneden- en Bovenwaard van Herwijnen en de Crobsche waard liggen (voormalige) steenfabrieken en vindt geleidelijk natuurontwikkeling plaats. Er wordt gewoond en gewerkt in kleine dorpen en oude boerderijen. Recreatie is aan de dijk en de rivier gekoppeld. Hoe meer naar het westen, des te beter de getijdendynamiek voelbaar is. Voor Gorinchem als knooppunt van rivieren en kanalen geldt veiligheid als belangrijk aandachtspunt. De primaire waterkering beschermt het achterliggende gebied tegen overstromingen vanuit de rivier. De waterkering is eind jaren negentig versterkt volgens de toen geldende normen.

Verder geldt dat het gebied tussen Dalem en Gorinchem aangewezen is als 'afleidingstraverse inundatiewater'. Wanneer er een dijkdoorbraak heeft plaatsgevonden waarbij de Tieler- en Culemborgerwaarden inunderen, zal het inundatiewater afgevoerd worden via deze “Dalemse overlaten” en teruggezet worden op de Waal. De Dalemse overlaat is een geheel van drie overlaatconstructies ten oosten van Gorinchem met een totale lengte van circa 700 m. Een vierde overlaat ter hoogte van de woonwijk Wijdschild (Gorinchem-Oost) is in 1990 formeel komen te vervallen.

De Dalemse overlaat wordt direct na een dijkdoorbraak ingezet en is primair gericht op het ontlasten van de Diefdijk om een eventuele overstroming van dijkringgebied 16 (Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden) te voorkomen. Tegelijkertijd is de verwachting dat de overlaten de waterstanden in dijkringgebied 43 beperken en daarmee ook de gevolgen in termen van economische schade in dit dijkringgebied.

Tussen de Dalemse overlaten ligt ook nog de Dalemse suatiesluis, hiermee kan inundatiewater direct worden geloosd op het buitenwater. Deze wordt ingezet na een overstroming om het gebied weer te ontwateren. En heeft daarmee een duidelijk andere functie dan de overlaten.

1.2 Veiligheidsopgave n.a.v. toetsresultaten 3e toetsronde

Gorinchem-Waardenburg is een combinatie van een drietal trajecten die samengevoegd zijn, namelijk Gorinchem, Lingewaal-Neerijnen en Vuren-Haaften.
In Tabel 1 is een overzicht opgenomen van de toetsresultaten van de 3e toetsronde (LRT-3). In de rechterkant van de tabel staat welk faalmechanisme heeft geleid tot de afkeuring in de 3e toetsronde met daarbij de kansklassen (laag – midden – hoog) die de urgentie aangeven. Deze zijn berekend met de door de programmadirectie HWBP ter beschikking gestelde spreadsheets. Meerdere faalmechanismen spelen een rol in deze projectdefinitie. In combinatie met een groot gevolg bij een dijkdoorbraak leidt dat tot een hoge urgentie en dus hoge rangschikking in de programmering.

	Dijkpaal		Benamingen WSRL Dijkvak		Oude benaming HWBP			Kansklasse			
ID-nHWBP (v2)	van	tot	code	naam	Project-definitie	Project-naam	Lengte	HT	STBI	STBU	STPH
22-43-156-D	TG 211+50	TG 212+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	L	H	-	-
22-43-76-D	TG 212+50	TG 214+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	200	L	H	-	L
22-43-157-D	TG 214+50	TG 215+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	-	H	-	-
22-43-158-D	TG 215+50	TG 216+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	-	H	M	-
22-43-159-D	TG 216+50	TG 217+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	L	H	M	-
22-43-77-D	TG 217+50	TG 220+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	300	-	H	-	L
22-43-160-D	TG 220+50	TG 221+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	L	H	-	L
22-43-161-D	TG 221+50	TG 222+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	-	H	-	L
22-43-78-D	TG 222+50	TG 225+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	300	L	H	-	L
22-43-162-D	TG 225+50	TG 226+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	-	H	-	L
22-43-79-D	TG 243+50	TG 245+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22I	Lingewaal - Neerijnen	200	L	-	-	-
22-43-80-D	TG 253+50	TG 255+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22A	Vuren - Haaften	200	-	-	M	-
22-43-81-D	TG 255+50	TG 262+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22A	Vuren - Haaften	700	L	-	M	-
22-43-82-D	TG 262+50	TG 264+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22A	Vuren - Haaften	200	-	-	M	-
22-43-163-D	TG 264+50	TG 265+50	430413	Waardenburg - Crobdijk Haaften	22A	Vuren - Haaften	100	L	-	M	-
22-43-164-D	TG 265+50	TG 266+25	430415	Vuren - Gorinchem	22A	Vuren - Haaften	67	-	-	M	-
22-43-165-D	TG 266+25	TG 266+50	430415	Vuren - Gorinchem	22A	Vuren - Haaften	33	-	-	M	-
22-43-83-D	TG 290+50	TG 292+50	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22I	Lingewaal - Neerijnen	200	L	-	-	-
22-43-84-D	TG 299+50	TG 302+50	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22I	Lingewaal - Neerijnen	300	L	-	-	-
22-43-166-D	TG 317	TG 318	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	L	-	-	-
22-43-167-D	TG 318	TG 319	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22A	Vuren - Haaften	100	L	-	L	-
22-43-168-D	TG 319	TG 320	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22A	Vuren - Haaften	100	-	-	L	-
22-43-85-D	TG 320	TG 328	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22A	Vuren - Haaften	800	L	-	L	-
22-43-86-D	TG 341	TG 346	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22I	Lingewaal - Neerijnen	500	L	-	-	-
22-43-87-D	TG 347	TG 349	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22I	Lingewaal - Neerijnen	200	L	-	-	-
22-43-88-D	TG 350	TG 352	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22I	Lingewaal - Neerijnen	200	L	-	-	-
22-43-169-D	TG 353	TG 354	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	L	H	-	-
22-43-89-D	TG 354	TG 355+50	430414	Crobdijk Haaften - Herwijnen 't Rot	22A	Vuren - Haaften	168	-	H	M	-
22-43-90-D	TG 355+50	TG 357	430415	Vuren - Gorinchem	22A	Vuren - Haaften	132	-	H	M	-
22-43-170-D	TG 357	TG 358	430415	Vuren - Gorinchem	22A	Vuren - Haaften	100	L	H	-	-
22-43-91-D	TG 358	TG 365+50	430415	Vuren - Gorinchem	22A	Vuren - Haaften	900	-	H	M	-
22-43-92-D	TG 367	TG 369	430415	Vuren - Gorinchem	22I	Lingewaal - Neerijnen	200	-	H	-	-
22-43-93-D	TG 371	TG 388	430415	Vuren - Gorinchem	22I	Lingewaal - Neerijnen	1700	-	H	-	-
22-43-171-D	TG 388	TG 389+25	430415	Vuren - Gorinchem	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	L	H	-	-
22-43-94-D	TG 389+25	TG 392+25	430415	Vuren - Gorinchem	22I	Lingewaal - Neerijnen	300	-	H	-	-
22-43-172-D	TG 392+25	TG 393+25	430415	Vuren - Gorinchem	22I	Lingewaal - Neerijnen	100	L	H	-	-
22-43-95-D	TG 393+25	TG 401+50	430415	Vuren - Gorinchem	22I	Lingewaal - Neerijnen	800	-	H	-	-
22-43-96-D	TG 401+50	TG 402A+50	430415	Vuren - Gorinchem	22A	Vuren - Haaften	200	-	H	-	L
22-43-97-D	TG 402A+50	TG 402D	430415	Vuren - Gorinchem	22I	Lingewaal - Neerijnen	300	-	H	-	-
22-43-173-D	TG 402D	TG 403A+50	430415	Vuren - Gorinchem	22A	Vuren - Haaften	99	-	L	H	L
22-43-98-D	TG 403A+50	TG 404+50	430415	Vuren - Gorinchem	22A	Vuren - Haaften	101	-	H	H	H
22-43-174-D	TG 404+50	TG 405+50	430415	Vuren - Gorinchem	22A	Vuren - Haaften	100	L	H	-	L
22-43-99-D	TG 405+50	TG 408+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	300	L	H	-	-
22-43-175-D	TG 408+50	TG 409+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	100	-	H	-	L
22-43-176-D	TG 409+50	TG 410+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	100	L	H	-	M
22-43-177-D	TG 410+50	TG 411+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	100	-	H	-	M
22-43-178-D	TG 411+50	TG 412+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	100	L	H	-	M
22-43-179-D	TG 412+50	TG 413+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	100	L	-	-	L
22-43-180-D	TG 413+50	TG 414+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	100	L	H	-	L
22-43-100-D	TG 414+50	TG 416+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	200	-	H	-	-
22-43-101-D	TG 416+50	TG 418+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	209	-	H	-	M
22-43-102-D	TG 418+50	TG 427+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	906	-	H	-	-
22-43-103-D	TG 427+50	TG 429+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	200	-	H	-	L
22-43-181-D	TG 429+50	TG 430	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	56	-	H	-	-
22-43-104-D	TG 430	TG 432+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	200	L	H	-	-
22-43-105-D	TG 432+50	TG 435+50	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	300	-	H	-	-
22-43-106-D	TG 435+50	TG 438	430415	Vuren - Gorinchem	22H	Gorinchem	280	-	H	-	L
						Totaal	14151	*[m]*			
							14,2	*[km]*			

L: Laag (urgent) M: Midden (meer urgent) H: Hoog (meest urgent)

Tabel 1 Afgekeurde vakken Gorinchem-Waardenburg(3e toetsronde)

1.3 Nieuwe inzichten en ontwikkelingen

Op basis van de resultaten van de 3e toetsronde bestaat de scope van project Gorinchem – Waardenburg uit 14,2 km dijkversterking zoals beschreven in de voorgaande paragraaf. Sinds de 3e toetsronde zijn er echter diverse ontwikkelingen en inzichten waar rekening mee moet worden gehouden. In het vervolg van deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de zaken die van invloed kunnen zijn op de *scopebepaling*. Onder scopebepaling wordt het (opnieuw) vaststellen van de veiligheidsopgave verstaan.

Nieuwe normering (WBI2017)
In 2017 wordt overgegaan op een nieuwe normering voor de waterveiligheid die gebaseerd is op een overstromingskansbenadering. In de overstromingskansbenadering gaat het nadrukkelijk om de kans op het verlies van het waterkerend vermogen, met een overstroming tot gevolg (uiterste grenstoestand). Dit is anders dan de vigerende veiligheidsfilosofie, waarbij het uitgangspunt is dat de ontwerpwaterstand veilig gekeerd dient te worden. De vigerende ontwerpregels zijn veelal gebaseerd op criteria die verband houden met het begin van falen. Dit betekent dat een bepaald criterium (bijvoorbeeld schade aan de bekleding op kruin en binnentalud) niet mag worden overschreden. Reststerkte wordt hierbij normaliter niet in ogenschouw genomen. In de overstromingskansbenadering is dit nadrukkelijk anders. Deze nieuwe inzichten zijn ook opgenomen in het OI2014 [1] en worden meegenomen bij het ontwerp.
De nieuwe normering zal worden vastgelegd in een gewijzigde Waterwet. Bij de start van projecten voor 1-1-2017 wordt de nieuwe normering bij de scopebepaling meegenomen.

Korte termijn ontwerpinstrumentarium
Rijkswaterstaat WVL heeft de 'Handreiking ontwerpen met overstromingskansen' ter beschikking gesteld. In het algemeen wordt hieraan gerefereerd als het Ontwerpinstrumentarium 2014 (OI2014). Het OI2014 [1] is bedoeld om de periode tot aan 2018 te overbruggen en er voor te zorgen dat de dijkverbeteringsprojecten die nu in de planfase zitten niet te scherp of te robuust worden ontworpen. Het is de bedoeling dat te zijner tijd op basis van het definitieve WBI2017 het ontwerpinstrumentarium definitief zal worden vastgesteld (OI2018).

Ruimte voor de Rivier
In de 3e toetsronde zijn de effecten op de waterstand van de toentertijd geplande Ruimte voor de Rivier maatregelen nog niet verdisconteerd. Inmiddels zijn vele maatregelen uitgevoerd en tegen de tijd dat de nieuwe HWBP projecten uitgevoerd zullen worden, zullen de Ruimte voor de Rivier maatregelen afgerond zijn. De Ruimte voor de Rivier maatregelen hebben een waterstandsverlagend effect waar in de toekomstige ontwerpen rekening mee moet worden gehouden.

Nieuwe piping-regels
Nieuwe inzichten in het faalmechanisme *piping* hebben tot nieuwe rekenregels geleid waarvan verondersteld wordt dat deze een betere modellering van de fysica van het faalmechanisme piping vormen. De nieuwe rekenregels zijn veel strenger dan de rekenregels die gebruikt zijn voor de 3e toetsronde. Dit heeft aanzienlijke consequenties voor de ontwerpen bij dijkvakken die gevoelig zijn voor piping.

Nieuwe rekenregels macrostabiliteit
Macrostabiliteit is een belangrijk faalmechanisme. Er zijn nieuwe inzichten op de wijze waarop de macrostabiliteit berekend kan worden, het zogenaamde Critical State rekenen. Daarnaast gaat gekeken worden wat de invloed van water is, hetgeen ook wel het 'ongedraineerd rekenen'

genoemd wordt. Daarvoor is het ook noodzakelijk om op een andere wijze grondonderzoek uit te voeren.

Nieuwe toelaatbare overslagdebieten
Voortschrijdend inzicht in maximaal toelaatbare overslagdebieten laat zien dat veelal meer overslag kan worden toegestaan dan in het verleden werd gedacht, afhankelijk van de kwaliteit van de grasmat en onderliggende kleilaag. Tevens kunnen vanuit de overstromingskansbenadering ook hogere overslagdebieten toegestaan worden.

Deltaprogramma
Het Deltaprogramma voorziet diverse ingrijpende rivierverruimende maatregelen in het Rivierengebied die waterstandsverlagende effecten beogen. De besluitvorming rondom deze projecten bevindt zich echter nog in de beginfase. Per dijkversterkingsproject zal bepaald moeten worden met welke toekomstige rivierverruimende maatregel(en) rekening dient te worden gehouden. Besluitvorming dient op bestuurlijk niveau plaats te vinden.

1.4 Bijstellen veiligheidsopgave

1.4.1 Veiligheidsanalyse

Waterschap Rivierenland heeft gezien alle nieuwe ontwikkelingen besloten met de bril van het toekomstige beoordelingsinstrumentarium de veiligheidsopgave per aangemeld project nogmaals tegen het licht te houden en daar waar nodig bij te stellen. Daarbij wordt ook gekeken naar de zogenaamde tussenvakken, vakken die tijdens de 3^{e} toetsronde zijn goedgekeurd. Waterschap Rivierenland acht dit noodzakelijk vanuit het oogpunt van doelmatigheid.

Uitgangspunt Waterschap Rivierenland bij scopebepaling

Waterschap Rivierenland hanteert als uitgangspunt dat de nieuwe en de in paragraaf 1.3 beschreven inzichten en ontwikkelingen worden meegenomen bij de scopebepaling. Waterschap Rivierland acht dit noodzakelijk vanuit het oogpunt van doelmatigheid.

Bovenstaand uitgangspunt staat is ontleend aan de nota Ontwerpuitgangspunten Primaire Waterkeringen [2] die op 29 april 2016 door het Algemeen Bestuur van Waterschap Rivierenland is vastgesteld.

Om de veiligheidsopgave op zorgvuldige wijze bij te stellen heeft WSRL besloten per dijkversterkingsproject een *veiligheidsanalyse* uit te voeren. Uit deze veiligheidsanalyse moeten de consequenties helder worden van alle nieuwe ontwikkelingen zoals benoemd in paragraaf 1.3. Op basis van de veiligheidsanalyse zal de veiligheidsopgave worden bijgesteld.

OPMERKING: Opname in HWBP programma
Het gehele normtraject 43-6 (waar GoWa onder valt) is opgenomen in de programmering 2017. GoWa maakt onderdeel uit van de Top-13 projecten.

1.4.2 Afbakening Veiligheidsanalyse

Beoordelingssporen
Bij deze Veiligheidsanalyses ligt de focus op de belangrijkste beoordelingssporen. Voor Gorinchem-Waardenburg zijn dit:

- Overloop en Overslag

- Macrostabiliteit binnenwaarts
- Macrostabiliteit buitenwaarts
- Piping

De overige beoordelingssporen (zoals stabiliteit bekleding) zullen tijdens de ontwerpfase aan bod komen.

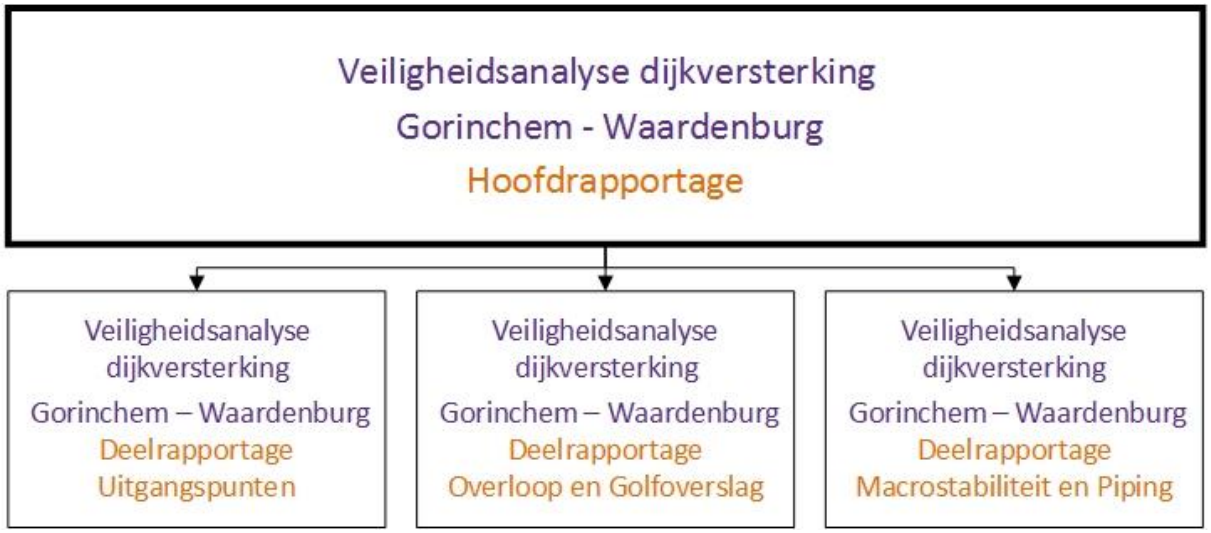
Kunstwerken
Aanwezige kunstwerken op het dijktracé Gorinchem-Waardenburg zijn niet beschouwd bij de Veiligheidsanalyse. Er zijn slechts enkele kunstwerken aanwezig op dit tracé, zoals bijv. de suatiesluis bij Dalem. Deze kunstwerken zullen in een later stadium moeten worden beoordeeld.

1.5 Rapportagestructuur

De rapportage van de Veiligheidsanalyse is opgebouwd uit een (samenvattende) hoofdrapportage met daaronder een drietal deelrapportages (zie ook Figuur 1), namelijk:

- Deelrapportage Uitgangspunten [3]
- Deelrapportage Overloop en Overslag [4]
- Deelrapportage Macrostabiliteit en Piping) [5].

<u>Onderhavige rapportage is de samenvattende hoofdrapportage van de Veiligheidsanalyse en bevat een samenvatting van de resultaten van de verschillende deelrapportages.</u>



Figuur 1 Rapportagestructuur Veiligheidsanalyse GoWa

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de resultaten van de analyses voor het mechanisme Overloop en Golfoverslag besproken. In hoofdstuk 3 volgen de resultaten voor het mechanisme Opbarsten en Piping. In hoofdstuk 4 en 5 volgen respectievelijk de resultaten voor het mechanisme Macrostabiliteit binnenwaarts en Macrostabiliteit buitenwaarts. In hoofdstuk 6 worden de resultaten samengevoegd en conclusies t.a.v. de veiligheidsopgave getrokken.

Opmerking: Voor nadere informatie omtrent uitgangspunten e.d. die ten grondslag hebben gelegen aan de uiteindelijke resultaten, wordt verwezen naar deelrapportage Uitgangspunten.

2 Resultaten analyse beoordelingsspoor Overloop en Golfoverslag

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn resultaten van de veiligheidsbeoordeling voor het faalmechanisme Overloop en Golfoverslag opgenomen. Voor nader inzicht in de gehanteerde uitgangspunten en de totstandkoming van de resultaten wordt verwezen naar de deelrapportage Uitgangspunten [3] en de deelrapportage Overloop en Golfoverslag [4].

2.2 Hydraulisch belastingniveau

Hydraulische belastingen op een waterkering bestaan uit combinaties van waterstanden en golfhoogtes. Elke combinatie heeft een bepaalde kans van voorkomen. Voor het traject Gorinchem-Waardenburg zijn de *hydraulische belastingniveaus (HBN's)* berekend [6]. Onder HBN wordt de kruinhoogte verstaan die minimaal benodigd is bij een bepaald toelaatbaar overslagdebiet.

Het HBN hangt van verschillende zaken af, zoals:

- De grootte van het toelaatbare overslagdebiet;
- De taludhelling;
- Het zichtjaar: er wordt rekening gehouden wordt met hogere afvoeren in de toekomst door klimaatverandering.

Voor GoWa is de keuze gemaakt om voor de Veiligheidsanalyse de combinatie van 5 l/m/s, werkelijk talud en zichtjaren 2025 en 2075 te gebruiken (zie Tabel 2).

Parameter	
Overslagdebiet	5 l/s/m
Taludhelling	Werkelijk talud
Zichtjaren	2025 en 2075

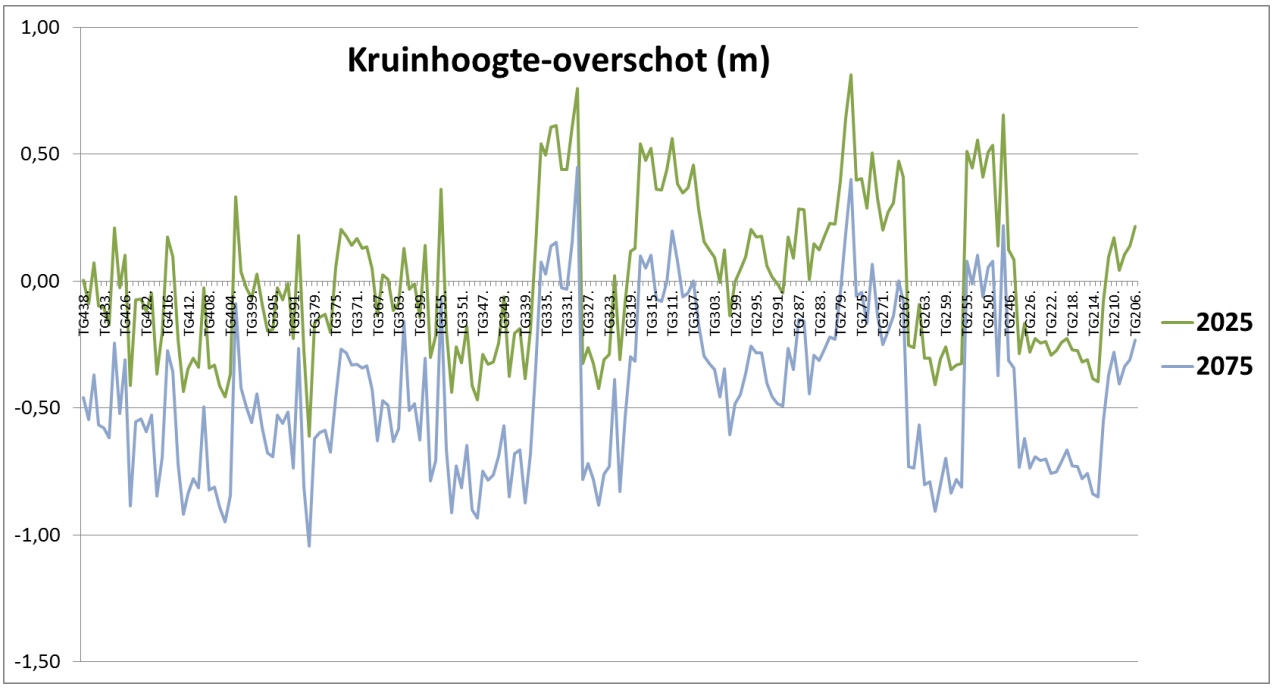
Tabel 2 Overzicht invoervariabelen

2.3 Resultaten hydraulisch belastingniveau (HBN)

Voor de zichtjaren 2025 en 2075 zijn de HBN's berekend. In Figuur 2 is een vergelijking gemaakt tussen de gemeten kruinhoogte en de berekende HBN's. Dit geeft een beeld waar de kruinhoogte wel of niet voldoet. Waardes boven de nullijn geven een overschot in kruinhoogte aan. Dijkpaal TG438 bevindt zich aan de westelijke zijde van het traject (bij Gorinchem), dijkpaal TG206 bevindt zich aan de oostelijke zijde van het traject (bij Waardenburg). In Tabel 3 staan de resultaten cijfermatig samengevat.
Het piekerige karakter van de grafiek wordt veroorzaakt doordat de HBN's bepaald worden door combinaties van waterstanden en golfoploop. De golfoploop is mede afhankelijk van de oriëntatie van de dijk t.o.v. de (overheersende) windrichtingen, de strijklengte van de wind over het water, de waterdiepte en de taludhelling. Dit zorgt er voor dat de golfoploop en dus de HBN's per locatie sterk kunnen verschillen.

Uit de berekeningen blijkt dat in 2025 (groene lijn in grafiek) ruim de helft (52%) van het tracé onvoldoende kruinhoogte heeft. In de gevallen dat er onvoldoende kruinhoogte is, varieert het

tekort tussen de 0 en 0,5 m (één uitschieter tot maximaal 0,6 m). Gemiddeld[1] bedraagt het kruinhoogte-tekort 0,23 m.
In 2075 is het kruinhoogte-tekort over het gehele traject sterk toegenomen (blauwe lijn in grafiek). Dit wordt nagenoeg geheel veroorzaakt door verhoogde afvoeren door klimaatverandering. In de grafiek is te zien dat de blauwe lijn (2075) ongeveer 0,5 m lager ligt dan de groene lijn.



Figuur 2 Kruinhoogte-overschot in het jaar 2025 en 2075 bij een overslagdebiet van 5 l/s/m.

	Tekort (%)	Gemiddeld tekort (m)
2025	52%	0,23
2075	90%	0,52

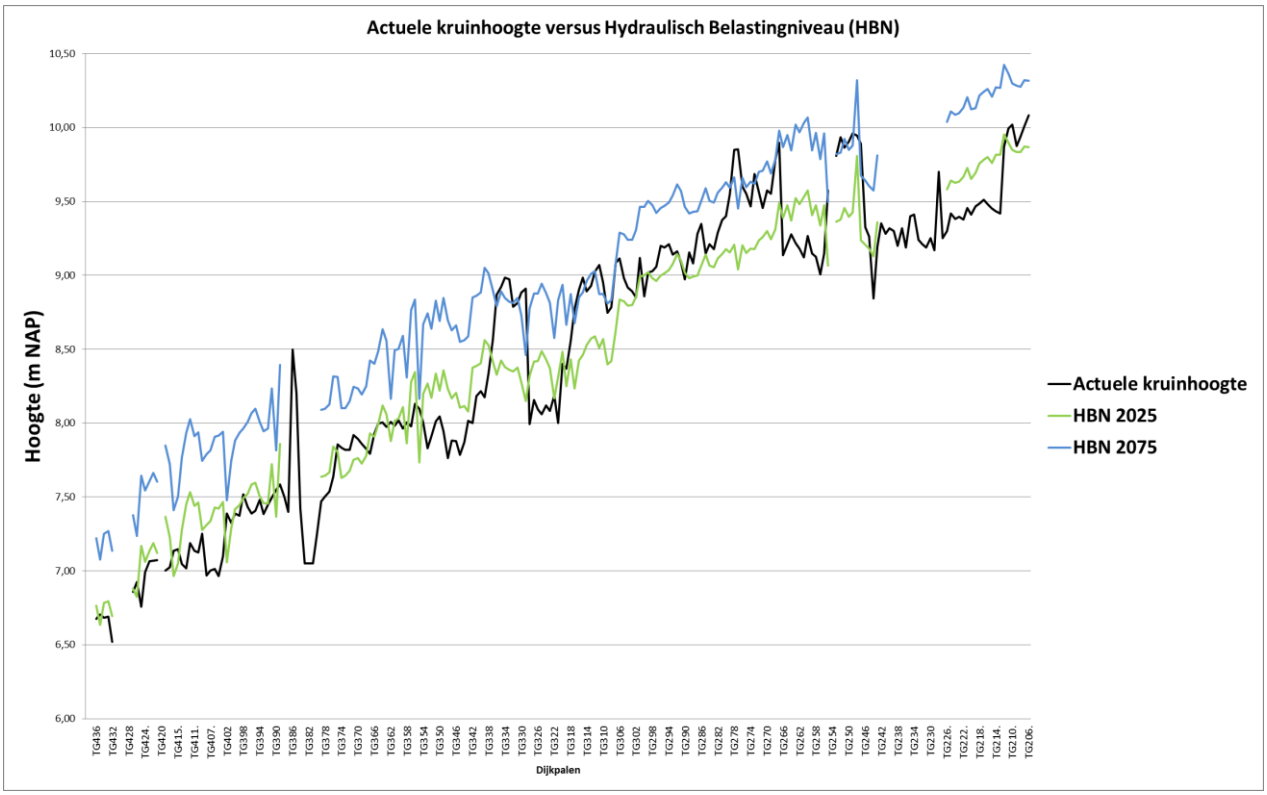
Tabel 3 Percentage dijkpalen met kruinhoogte-tekort en gemiddelde van het tekort in kruinhoogte op deze strekkingen bij een overslagdebiet van 5 l/s/m.

In 2075 zal 90% van het traject een kruinhoogte-tekort hebben. In de gevallen dat er onvoldoende kruinhoogte is, varieert het tekort tussen de 0 en 1,0 m. Gemiddeld[1] bedraagt het kruinhoogte-tekort 0,52 m.

In Figuur 3 staan dezelfde gegevens op een andere wijze gepresenteerd: de actuele kruinhoogte is uitgezet versus de vereiste kruinhoogte in 2025 en 2075. Van bovenstrooms naar benedenstrooms (van Waardenburg naar Gorinchem) neemt de kruinhoogte (m NAP) ongeveer 2,5 m af. Dit heeft te maken met het verhang in de rivier. Opgemerkt moet worden dat niet voor alle dijkpalen HBN's berekend konden worden, omdat het computermodel daar geen uitvoerpunten had.

Het verschil in HBN's tussen 2025 en 2075 wordt voornamelijk veroorzaakt door de toename van de rivierafvoeren in de tijd. In een periode van 50 jaar nemen de HBN's ongeveer 0,5 m toe, hetgeen overeenkomt met 1 cm/jaar.

[1] Het gemiddelde is bepaald over de locaties met kruinhoogte-tekort. Locaties met voldoende kruinhoogte zijn niet meegenomen bij de bepaling van het gemiddelde.



Figuur 3 Actuele kruinhoogte versus HBN 2025 en HBN 2075 bij een overslagdebiet van 5 l/s/m.

Verschil in kruinhoogte dijkversterkingen jaren '80 en na '95

Er is een significant verschil in kruinhoogte tussen de dijken die in de jaren '80 zijn versterkt en de dijken die na de hoogwaters van '93 en '95 zijn versterkt. De dijkversterkingen in de jaren '80 waren gebaseerd op een maatgevende afvoer van 16.500 m^3/s bij Lobith en deze dijken hadden een buitentalud van 1:3. De dijkversterkingen na '95 zijn veel minder robuust uitgevoerd: er werd uitgegaan van een maatgevende afvoer van 15.000 m^3/s bij Lobith en er was sprake van een geknikt buitentalud: 1:4 in het benedenbeloop en 1:2,5 in het bovenbeloop. Deze dijken worden de Boertien-dijken genoemd. Er werd toen gesproken over een 'uitgekiend' ontwerp dat meer rekening hield met de omgeving dan de dijkversterkingen uit de jaren 80.

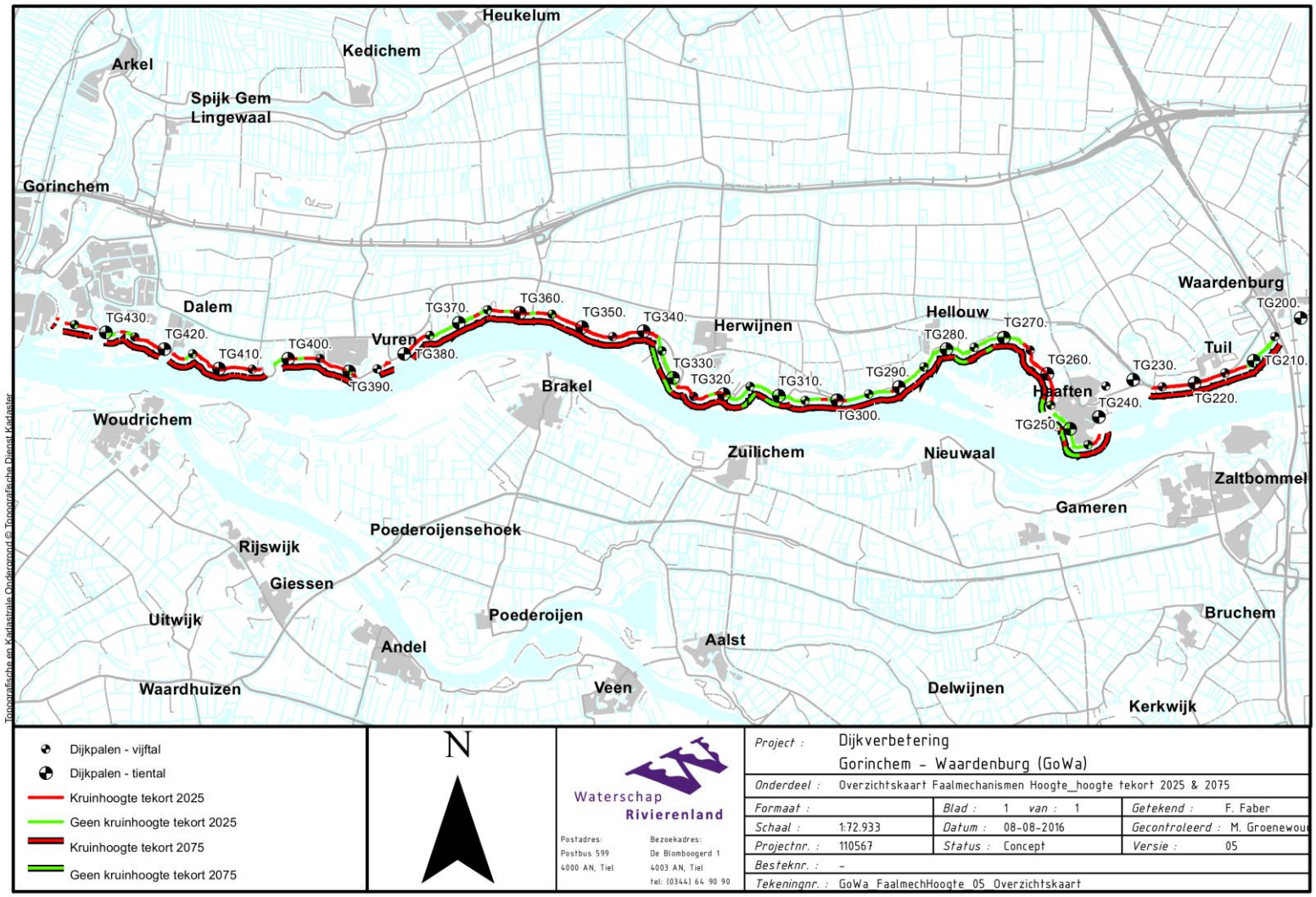
In Figuur 4 staat aangegeven wanneer de dijken langs het traject voor het laatst versterkt zijn. De omdijkingen bij Herwijnen stammen uit de jaren '80 en hebben derhalve een hogere kruinhoogte dan aangrenzende dijken. Langs het traject zijn deze overgangen goed merkbaar qua hoogte van de dijk en herkenbaar aan de overgang van een geknikt naar een recht buitentalud.

Figuur 4 Overzicht dijkversterkingen jaren '80 en na '95 (Bron: Handreiking Ruimtelijke Kwaliteit GoWa)

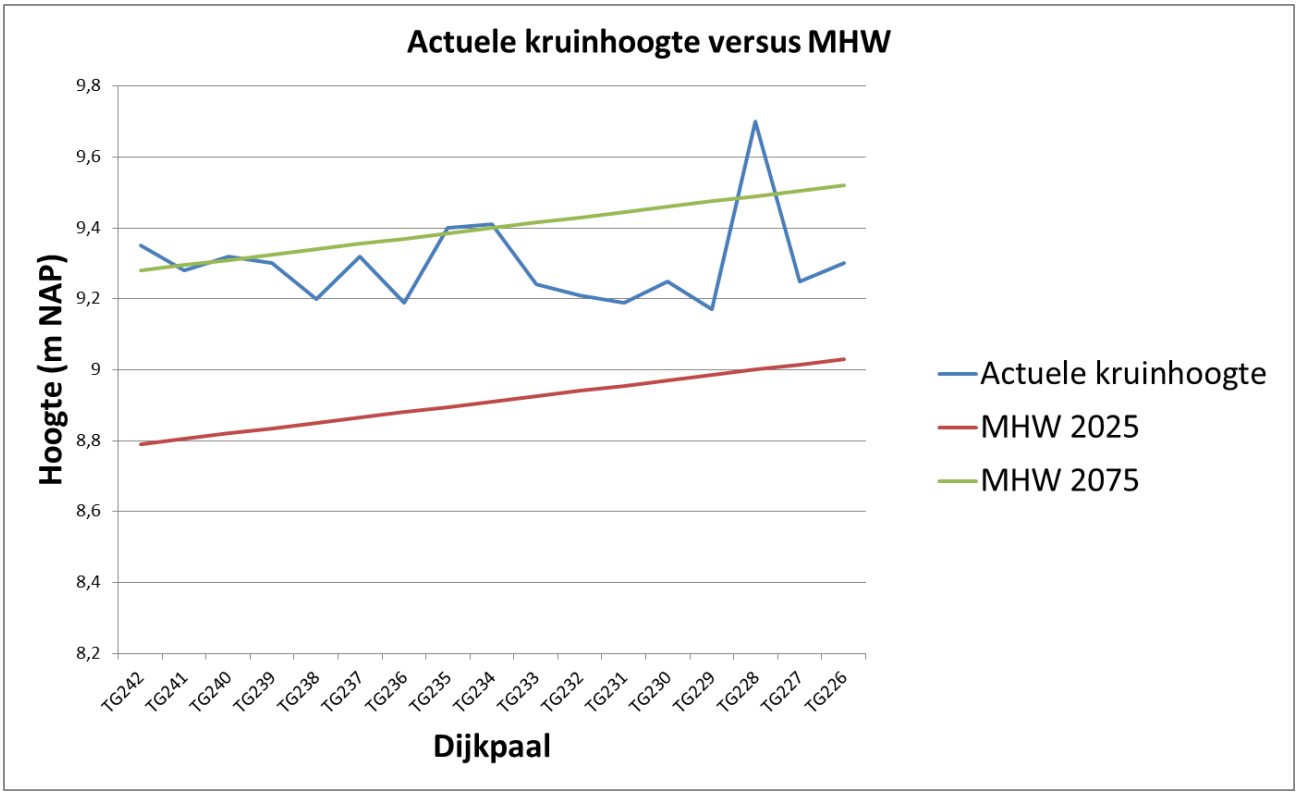
Overzichtskaart analyse kruinhoogtetekort
In Figuur 5 staan de resultaten van de berekeningen gepresenteerd in een bovenaanzicht van de dijk. De bovenste lijn geeft aan waar in 2025 wel of geen kruinhoogtetekort kan worden verwacht, de onderste lijn voor de verwachte situatie in 2075. Opgemerkt moet worden dat niet voor alle dijkpalen HBN's berekend konden worden, omdat het computermodel (HYDRA) daar geen uitvoerpunten had. Deze trajecten worden hieronder behandeld.

TG227 t/m TG242 Traject Kerkewaard (bij Haaften)
Voor het traject bij de Kerkewaard TG227 t/m TG242 zijn geen berekeningen beschikbaar met het actuele dijkprofiel. Er is daarom een vergelijking gemaakt tussen de verwachte maatgevende hoogwaterstanden langs het traject en de actuele kruinhoogte. Er zijn op dit traject geen golven van betekenis te verwachten, aangezien er een hooggelegen buitendijks industrieterrein voor de dijk ligt (de Kerkewaard). Het industrieterrein ligt op een hoogte van ruim NAP +8 m. Voor de extreme waterstanden zijn de waterstanden tussen TG226 en TG243 lineair geïnterpoleerd (zie Figuur 6). In Figuur 6 is te zien dat de kruinhoogte in 2025 ruim voldoende is, maar in 2075 tekort zal schieten.

Traject Gorinchem-Vuren: TG437,TG431-TG430, TG428, TG420-TG419, TG403-T402A, TG388-TG384, TG382-TG380
Voor de ontbrekende delen op het traject Gorinchem-Vuren geldt dat deze dijktrajecten ook na '95 zijn versterkt. De kruinhoogte is in 2075 op het gehele traject onvoldoende. Slecht lokaal blijkt de kruinhoogte te voldoen, zoals bij TG386 waar een Dunea waterleiding de dijk via de kruin kruist.



Figuur 5 Overzicht berekende kruinhoogte-tekorten in de jaren 2025 en 207



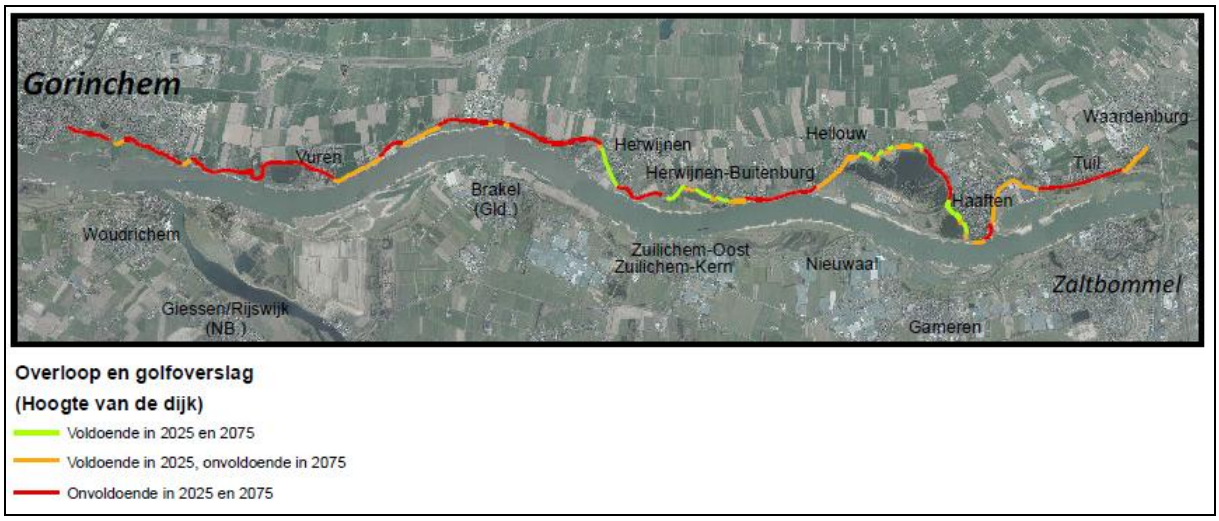
Figuur 6 Vergelijking actuele kruinhoogte versus maatgevende hoogwaterstanden in 2025 en 2075

2.4 Interpretatie resultaten Overloop en Golfoverslag

Voor het bepalen van de veiligheidsopgave zijn de berekeningsresultaten voor het jaar 2025 en 2075 beschouwd. Uitgaande van het jaar 2025 zou ruim 50% van het traject Gorinchem-Waardenburg onvoldoende scoren op het faalmechanisme Overloop en Golfoverslag (zie par 2.3). De situatie in 2075 is ook beschouwd om na te gaan of het verwacht kan worden dat nog meer delen van de dijk in de toekomst onvoldoende zullen scoren op het faalmechanisme Overloop en Golfoverslag. Dit blijkt voor ruim 90% van het traject het geval. De oorzaak ligt voornamelijk in de toename van de waterstanden (rivierafvoeren) in de komende decennia.

Het uitgangspunt voor dijkversterkingen is dat de dijk voor een ontwerplevensduur van 50 jaar wordt versterkt. Optimalisatie op basis van Life Cycle Costs kan overigens een reden zijn om van de ontwerplevensduur van 50 jaar af te wijken. Voor het faalmechanisme overslag wordt een adaptieve strategie overwogen [2]. Dit betekent dat ook voor een kortere ontwerplevensduur gekozen kan worden, bijvoorbeeld omdat geanticipeerd wordt op waterstandsdaling door rivierverruiming. De keuze voor een ontwerplevensduur is geen onderdeel van de Veiligheidsanalyse, maar onderdeel van het ontwerpproces dat hier op volgt.

Stoplichtenmodel
In Figuur 7 staat voor het gehele traject aangegeven waar de dijk wel en niet voldoet. Daarbij is gebruik gemaakt van een 'stoplichtmodel' met de kleuren groen-oranje-rood:
ROOD: Voldoet zowel in 2025 als 2075 NIET aan overslagcriterium (5 l/s/m)
ORANJE: Voldoet in 2025 WEL maar in 2075 NIET aan overslagcriterium (5 l/s/m)
GROEN: Voldoet in 2025 en 2075 WEL aan overslagcriterium (5 l/s/m)



Figuur 7 Beoordeling faalmechanisme Overloop en golfoverslag (2025-2075)

Kanttekening bij de resultaten
De gepresenteerde resultaten zijn afhankelijk van de gekozen uitgangspunten. Er zijn verschillende onzekerheden die van invloed zijn op de resultaten:

- Het rekenmodel waarmee de hydraulische randvoorwaarden in de toekomst moeten worden afgeleid is nog niet beschikbaar (onderdeel WBI). Berekeningen met dit model kunnen tot andere resultaten leiden
- Het ligt in de lijn der verwachting dat de afvoer bij Lobith in de hydraulische modellen die beschikbaar komen, gemaximeerd zal worden op 18.000 m3/s (het zogenaamde aftoppen). Hogere afvoeren kunnen dan niet voorkomen in de modellen. Consequentie van het aftoppen is een geringe verlaging van de vereiste kruinhoogtes voor 2075 t.o.v. de waarden die gehanteerd zijn bij de Veiligheidsanalyse;
- De onzekerheidstoeslag van 0,3 m op waterstanden zal waarschijnlijk naar beneden worden bijgesteld;
- Bij het ontwerp moet rekening gehouden worden met bodemdaling onder de kruin;
- De stijging van de waterstanden in de tijd t.g.v. klimaatverandering is afhankelijk van het gekozen klimaatscenario. Als hierin andere keuzes worden gemaakt, leidt dit tot andere resultaten.

Waterschap Rivierenland volgt de ontwikkelingen op de voet en neemt dit mee in het 2e deel van de Verkenningsfase van GoWa waarin dijkversterkingsalternatieven verkend worden om tot een Voorkeursalternatief te komen.

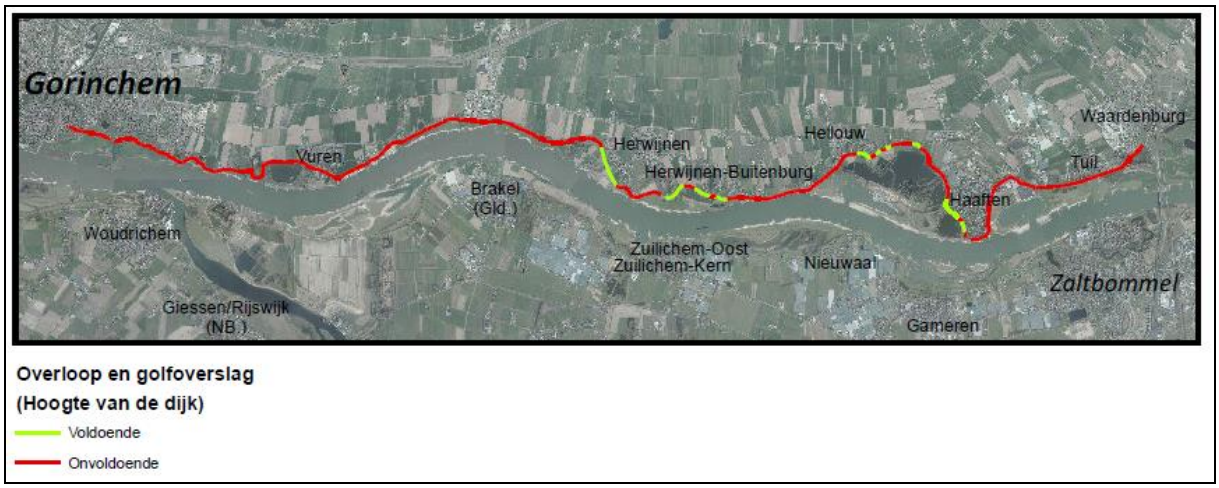
Oplossingsrichtingen
Voor de veiligheidsopgave wordt vanwege de ontwerplevensduur van 50 jaar uitgegaan van de verwachte situatie in 2075. Dit wil niet automatisch betekenen dat de dijk ook over ongeveer 90% van het traject zal moeten worden *verhoogd*. Er zijn andere maatregelen denkbaar die een dijkverhoging kunnen voorkomen of de mate van dijkverhoging kunnen verminderen. Daarbij valt te denken aan:

- Taludverflauwing (minder golfoploop)
- Taludverruwing (minder golfoploop)
- Waterstandsverlaging door rivierverruiming
- Aanpassen faalkansbegroting (meer faalkansruimte voor hoogte)
- Toestaan groter overslagdebiet i.c.m. taludverbetering binnenzijde

Er is in opdracht van Waterschap Rivierenland een studie uitgevoerd naar alternatieven voor dijkverhoging [7]. Het verder uitdiepen van oplossingsrichtingen valt buiten de scope van deze Veiligheidsanalyse.

2.5 Conclusie veiligheidsanalyse Overloop en Overslag

In Figuur 7 (vorige paragaaf) staat aangegeven waar de dijk wel en niet voldoet volgens het stoplichtenmodel. In Figuur 8 zijn de *oranje* trajecten (voldoende in 2025, onvoldoende 2075) ook als *rood* weergegeven. Figuur 8 zal gebruikt worden in de communicatie naar de omgeving. Het uitgangspunt is tenslotte dat de dijk integraal versterkt moet worden voor 50 jaar (optimalisaties op basis van Life Cycle Costs worden onderzocht) en het is dus zeer waarschijnlijk dat de 'oranje' trajecten ook versterkt moeten worden.
Geconcludeerd kan worden dat er nagenoeg over het gehele traject maatregelen genomen moet worden (meer dan 90% van het traject).



Figuur 8 Beoordeling faalmechanisme Overloop en golfoverslag

3 Resultaten analyse beoordelingsspoor Piping

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn resultaten van de veiligheidsbeoordeling voor het faalmechanisme Piping opgenomen. Voor nader inzicht in de gehanteerde uitgangspunten en de totstandkoming van de resultaten wordt verwezen naar de deelrapportage Uitgangspunten en de deelrapportage Macrostabiliteit en Piping [5].

3.2 Opbarsten

In hoofdstuk 4 van het OI2014 [1]zijn drie rekenregels opgenomen voor het bepalen van de opbarstveiligheid van de binnenwaartse deklaag, deze staan uitgewerkt in deelrapportage Uitgangspunten (paragraaf 7.4). Afhankelijk van de beschikbare informatie, zoals peilbuismetingen en/of historische hoogwatersituatie kan de opbarstveiligheid worden berekend.

Vanuit de geplaatste peilbuizen zijn de eerste metingen beschikbaar, deze laten echter een geringe demping zien, waarbij opgemerkt wordt dat er zich geen echte hoogwatersituatie heeft voortgedaan. Hierdoor is het niet mogelijk gebleken om een nauwkeurige inschatting van de stijghoogten in de watervoerende zandlaag te verkrijgen, zodat een stijghoogte wordt aangehouden die gelijkgesteld is aan MHW.

3.2.1 Bepalen gronddruk (van deklaag)

De opbarstberekeningen zijn uitgevoerd ter plaatse van de geselecteerde rekenprofielen die geschematiseerd zijn op basis van het uitgevoerde terreinonderzoek (sonderingen en boringen). Een belangrijke parameter bij de opbarstberekening zijn de gewichten van de grondsoorten in de deklagen. Deze gewichten zijn opgenomen in paragraaf 4.3 van deelrapportage Uitgangspunten.

Bij de bepaling van het gewicht van de deklaag is het effect van binnenwaarts gelegen sloten en watergangen meegenomen (voor zover aanwezig). Hierbij is als uitgangspunt gekozen dat ten tijde van een hoogwatersituatie de sloten en watergangen volledig met water gevuld zijn.

Opgemerkt wordt dat de afmetingen van de sloten en watergangen en ook van de aanwezige wielen niet aanvullend zijn gemeten. De afmetingen zijn afkomstig uit beschikbare gegevens (legger e.d.). Als er geen gegevens beschikbaar waren, is op basis van de breedte van de sloot op maaiveldniveau en de aanname van een taludhelling van 2:3 en een waterdiepte van 0,5 m de geometrie van de sloot bepaald.

3.2.2 Bepalen waterdruk (in watervoerende zandlaag)

De waterdruk in de watervoerende zandlaag is bepaald met de theoretische rekenregels uit het Technisch rapport Waterspanningen bij Dijken (TRWD) [8]. Hiervoor is veelal de methode gebruikt waarin de stijghoogte berekend is zonder het optreden van opbarsten.

Voor de stijghoogteberekening is gebruik gemaakt van de eigenschappen van de deklaag en de watervoerende zandlagen, zoals weergeven in paragraaf 4.3 van de deelrapportage Uitgangspunten [3].

De stijghoogten zijn op basis van de aanwezige voorlandlengten en de opbouw van de deklagen onder het voorland per beschouwd dijkvak bepaald. Ook hier geldt dat door het ontbreken van

gegevens van de onderwaterprofielen van de geulen en strangen in het voorland conservatieve voorlandlengten zijn gebruikt. Deklagen in het voorland met een minimale dikte van 1,0 à 1,5 m zijn vereist voor het meenemen van de voorlandlengte.

Voor de breedte van het achterland (Lengte L4, waarmee de afstand achter de waterkering wordt aangegeven waar de stijghoogte in watervoerende zandlaag gelijk is aan het polderpeil) is standaard een lengte van 2.000 m aangenomen. Voor die dijkvakken, waar zeer grote waterpartijen (waaronder wielen, strangen en grachten) aanwezig zijn en waarvan verondersteld kan worden dat deze contact maken met de watervoerende zandlagen, is deze lengte gereduceerd.

3.2.3 Bepalen locatie opbarstpunt

Het opbarstpunt is in eerste instantie gekozen op basis van de geometrie van het achterland. In geval van de aanwezigheid van een binnendijkse berm is het opbarstpunt aan het einde van de berm gekozen. Indien een duidelijke binnenberm ontbreekt is het punt gekozen, waar het maaiveld min of meer vlak gaat lopen.

Indien op deze locatie opbarsten kan optreden, is op deze locatie de grenspotentiaal als maximale stijghoogte geschematiseerd. Deze grenspotentiaal is op basis van aanwezige laagdikte en volumieke gewichten van de deklaag bepaald. Het verloop van de stijghoogte richting de rivieren is vervolgens met methode 4C uit het TRWD bepaald. In die gevallen waar het opbarstpunt niet eenduidig op basis van geometrie kan worden vastgesteld is op meerdere plekken de in het dwarsprofiel op opbarsten gecontroleerd. Op deze manier is het maatgevende opbarstpunt bepaald en de daarbij behorende stijghoogte in de watervoerende zandlaag.

3.2.4 Resultaten opbarstberekeningen

Op basis van de uitgangspunten, zoals opgenomen in [3] en verwoord in de voorgaande paragrafen zijn de opbarstberekeningen uitgevoerd. In Tabel 3-1 zijn de resultaten samengevat.

Tabel 3-1 Resultaten opbarstberekeningen

Algemeen					**Oordeel**	
Traject	**van dijkpaal**	**tot dijkpaal**	**locatie profiel [Dijkpaal]**	**Lengte vak [m]**	**$N_{opbarst}$ [-]**	**Wel / geen opbarsten**
D1	TG205	TG211	207+020	600	0,59	Opbarsten
D2	TG211.	TG212.	211+000	100	0,65	Opbarsten
D3	TG212.	TG215.	212+075	300	0,35	Opbarsten
D4	TG215.	TG220.	216+000	500	0,27	Opbarsten
D5	TG220.	TG226.	226+000	600	0,21	Opbarsten
D6	TG226.	TG242.	234+000	1600	0,46	Opbarsten
D7	TG242.	TG253+050	251+000	1150	0,66	Opbarsten
D8	TG253+050	TG257+050	256+000	400	0,18	Opbarsten
D9	TG257+050	TG261+050	259+000	400	0,60	Opbarsten
D10	TG261+050	TG264.	263+050	250	0,63	Opbarsten
D11	TG264.	TG267+75	266+000	375	0,62	Opbarsten
D12	TG267+75	TG272.	271+000	425	0,44	Opbarsten
D13	TG272.	TG274	272+073	200	0,21	Opbarsten
D14	TG274	TG276	275+075	200	0,17	Opbarsten
D15	TG276	TG278	277+040	200	0,30	Opbarsten
D16	TG278	TG282+75	280+000	475	0,21	Opbarsten

Algemeen					Oordeel	
Traject	van dijkpaal	tot dijkpaal	locatie profiel [Dijkpaal]	Lengte vak [m]	$N_{opbarst}$ [-]	Wel / geen opbarsten
D17	TG282+75	TG285	283+093	225	0,79	Opbarsten
D18	TG285	TG287	285+025	200	0,61	Opbarsten
D19	TG287	TG290.	287+003	300	0,62	Opbarsten
D20	TG290.	TG293.	291+075	300	0,54	Opbarsten
D21	TG293.	TG300.	298+008	700	0,57	Opbarsten
D22	TG300.	TG308.	306+050	800	0,39	Opbarsten
D23	TG308.	TG310+038	310+000	238	0,12	Opbarsten
D24	TG310+038	TG315.	311+000	462	0,12	Opbarsten
D25	TG315.	TG318+055	315+040	355	0,36	Opbarsten
D26	TG318+055	TG320+050	321+040	195	0,82	Opbarsten
D27	TG320+050	TG322	321+040	150	0,82	Opbarsten
D28	TG322.	TG322+050	322+040	50	0,77	Opbarsten
D29	TG322+050	TG324+082	323+000	232	1,29	Geen opbarsten
D30	TG324+082	TG325+045	325+029	61	0,61	Opbarsten
D31	TG325+045	TG328.	326+000	255	0,78	Opbarsten
D32	TG328.	TG337+050	333+000	950	1,64	Geen opbarsten
D33	TG337+050	TG343+050	341+000	600	0,76	Opbarsten
D34	TG343+10	TG354.	346+000	1090	0,61	Opbarsten
D35	TG354.	TG355.	354+040	100	0,67	Opbarsten
D36	TG355.	TG356+050	355+080	150	0,77	Opbarsten
D37	TG356+050	TG362.	360+000	550	0,81	Opbarsten
D38	TG362.	TG367.	364+000	500	0,71	Opbarsten
D39	TG367.	TG369+060	369+050	260	0,86	Opbarsten
D40	TG369+060	TG371+050	370+025	90	0,25	Opbarsten
D41	TG371+050	TG375.	374+050	350	0,85	Opbarsten
D42	TG375.	TG383+032	377+073	832	0,72	Opbarsten
D43	TG383+032	TG389.	384+050	568	0,52	Opbarsten
D44	TG389.	TG396.	394+060	700	0,89	Opbarsten
D45	TG396.	TG398.	397+000	200	0,34	Opbarsten
D46	TG398.	TG401.	399+050	300	0,37	Opbarsten
D47	TG401.	TG402.	401+040	100	0,65	Opbarsten
D48	TG402.	TG402B.	402A	100	0,75	Opbarsten
D49	TG402B.	TG402D.	402B	100	0,72	Opbarsten
D50	TG402D.	TG403D+030	betonnen bak	100	n.v.t.	Niet beschouwd
D51	TG403D+030	TG404+022	403+070	92	0,44	Opbarsten
D52	TG404+022	TG409+050	406+040	528	0,79	Opbarsten
D53	TG409+050	TG412+050	412+000	300	0,48	Opbarsten
D54	TG412+050	TG414+013	413+050	163	0,96	Opbarsten
D55	TG414+013	TG416+034	414+050	221	0,40	Opbarsten
D56	TG416+034	TG419.	417+052	266	1,03	Geen opbarsten
D57	TG419.	TG426.	424+030	700	0,92	Opbarsten
D58	TG426.	TG427.	426+050	100	0,39	Opbarsten

Algemeen					Oordeel	
Traject	van dijkpaal	tot dijkpaal	locatie profiel [Dijkpaal]	Lengte vak [m]	$N_{opbarst}$ [-]	Wel / geen opbarsten
D59	TG427.	TG430+018	429+060	318	0,45	Opbarsten
D60	TG430+018	TG431+050	430+063	132	0,45	Opbarsten
D61	TG431+050	TG434+072	432+000	325	1,73	Geen opbarsten
D62	TG434+072	TG437+034	435+056	262	0,42	Opbarsten
D63	TG437+034	TG439	437+050	166	0,73	Opbarsten

Voor de vakken D29, D32, D56 en D61 is geen opbarsten berekend, doordat bij deze dijkvakken zeer dikke deklagen aanwezig zijn. Doordat opbarsten tijdens maatgevende omstandigheden niet zal optreden, zal piping niet optreden.

Voor circa 1.170 m (7%) van de totale lengte van het traject (23,5 km) is daardoor op basis van het uitsluiten van het ontstaan van opbarsten goedgekeurd voor het mechanisme opbarsten en piping. Voor de overige vakken is een pipinganalyse op basis van de rekenregel van Sellmeijer uitgevoerd.

3.3 Resultaten pipinganalyses

Het faalmechanisme piping is berekend middels de methode Sellmeijer, zoals weergegeven in het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen [9].
Het deelmechanisme Heave is buiten beschouwing gelaten, omdat hier nog geen beoordelings-criterium voor beschikbaar is.

Bij de bepaling van kritieke verval is gerekend met een schadefactor van 1,68 (zoals afgeleid in de deelrapportage Uitgangspunten) en een maximale schematiseringsfactor van 1,3. In Tabel 3-2 zijn de resultaten van de pipinganalyse samengevat.

Tabel 3-2 Resultaten pipinganalyse middels methode Sellmeijer

Algemeen					Analyse		
Traject	van dijkpaal	tot dijkpaal	locatie profiel [Dijkpaal]	Lengte vak [m]	kritiek verval	optredend verval	oordeel
D1	*TG205*	*TG211*	*207+020*	600	1,05	3,77	voldoet niet
D2	*TG211.*	*TG212.*	*211+000*	100	1,77	5,07	voldoet niet
D3	*TG212.*	*TG215.*	*212+075*	300	1,71	5,02	voldoet niet
D4	*TG215.*	*TG220.*	*216+000*	500	2,01	4,07	voldoet niet
D5	*TG220.*	*TG226.*	*226+000*	600	1,70	5,02	voldoet niet
D6	*TG226.*	*TG242.*	*234+000*	1600	4,39	4,11	voldoet
D7	*TG242.*	*TG253+050*	*251+000*	1150	1,67	4,34	voldoet niet
D8	*TG253+050*	*TG257+050*	*256+000*	400	1,52	5,40	voldoet niet
D9	*TG257+050*	*TG261+050*	*259+000*	400	1,59	3,77	voldoet niet
D10	*TG261+050*	*TG264.*	*263+050*	250	1,35	4,22	voldoet niet
D11	*TG264.*	*TG267+75*	*266+000*	375	1,53	4,36	voldoet niet
D12	*TG267+75*	*TG272.*	*271+000*	425	2,60	5,26	voldoet niet
D13	*TG272.*	*TG274*	*272+073*	200	2,65	6,03	voldoet niet
D14	*TG274*	*TG276*	*275+075*	200	1,51	5,07	voldoet niet
D15	*TG276*	*TG278*	*277+040*	200	3,66	4,96	voldoet niet

Algemeen					Analyse		
Traject	van dijkpaal	tot dijkpaal	locatie profiel [Dijkpaal]	Lengte vak [m]	kritiek verval	optredend verval	oordeel
D16_berm	*TG278*	*TG282+75*	280+000	475	3,68	5,26	voldoet niet
D16_teen	*TG278*	*TG282+75*	280+000		3,68	5,42	voldoet niet
D17	*TG282+75*	*TG285*	*283+093*	225	1,83	3,03	voldoet niet
D18	*TG285*	*TG287*	*285+025*	200	2,96	3,34	voldoet niet
D19	*TG287*	*TG290.*	*287+003*	300	3,72	3,27	voldoet
D20	*TG290.*	*TG293.*	*291+075*	300	1,33	3,16	voldoet niet
D21	*TG293.*	*TG300.*	*298+008*	700	1,83	3,40	voldoet niet
D22	*TG300.*	*TG308.*	*306+050*	800	2,20	3,50	voldoet niet
D23_wvp1	*TG308.*	*TG310+038*	*310+000*	238	6,60	6,68	voldoet niet
D24_wvp1	*TG310+038*	*TG315.*	*311+000*		2,32	5,45	voldoet niet
D25	*TG315.*	*TG318+055*	*315+040*	355	1,82	3,51	voldoet niet
D26	*TG318+055*	*TG320+050*	*321+040*	195	2,18	3,50	voldoet niet
D27	*TG320+050*	*TG322*	*321+040*	150	2,18	3,50	voldoet niet
D28	*TG322.*	*TG322+050*	*322+040*	50	1,80	3,52	voldoet niet
D29	*TG322+050*	*TG324+082*	*323+000*	232	n.v.t.	n.v.t.	Geen opbarsten
D30	*TG324+082*	*TG325+045*	*325+029*	61	0,92	2,43	voldoet niet
D31	*TG325+045*	*TG328.*	326+000	255	0,81	2,67	voldoet niet
D32	*TG328.*	*TG337+050*	*333+000*	950	n.v.t.	n.v.t.	Geen opbarsten
D33	*TG337+050*	*TG343+050*	*341+000*	600	6,77	3,80	voldoet
D34	*TG343+10*	*TG354.*	*346+000*	1090	1,35	3,84	voldoet niet
D35	*TG354.*	*TG355.*	*354+040*	100	1,92	3,63	voldoet niet
D36	*TG355.*	*TG356+050*	*355+080*	150	1,49	4,06	voldoet niet
D37	*TG356+050*	*TG362.*	*360+000*	550	1,31	2,82	voldoet niet
D38	*TG362.*	*TG367.*	*364+000*	500	2,90	3,67	voldoet niet
D39	*TG367.*	*TG369+060*	*369+050*	260	2,06	1,88	voldoet
D40	*TG369+060*	*TG371+050*	370+025	90	2,61	4,32	voldoet niet
D41	*TG371+050*	*TG375.*	*374+050*	350	2,30	2,50	voldoet niet
D42	*TG375.*	*TG383+032*	*377+073*	832	1,08	3,52	voldoet niet
D43	*TG383+032*	*TG389.*	*384+050*	568	2,61	3,36	voldoet niet
D44	*TG389.*	*TG396.*	*394+060*	700	2,13	2,14	voldoet niet
D45	*TG396.*	*TG398.*	*397+000*	200	1,39	3,87	voldoet niet
D46	*TG398.*	*TG401.*	*399+050*	300	1,35	3,45	voldoet niet
D47	*TG401.*	*TG402.*	*401+040*	100	1,07	4,42	voldoet niet
D48	*TG402.*	*TG402B.*	*402A*	100	1,57	2,98	voldoet niet
D49	*TG402B.*	*TG402D.*	*402B*	100	1,78	4,39	voldoet niet
D50	TG402D.	TG403D+030	betonnen bak	100,00	NB	NB	Niet beschouwd
D51	*TG403D+030*	*TG404+022*	*403+070*	92	2,86	4,38	voldoet niet
D52	*TG404+022*	*TG409+050*	*406+040*	528	2,04	3,14	voldoet niet
D53	*TG409+050*	*TG412+050*	*412+000*	300	1,37	3,47	voldoet niet
D54	*TG412+050*	*TG414+013*	*413+050*	163	2,69	1,93	voldoet
D55	*TG414+013*	*TG416+034*	*414+050*	221	2,30	3,89	voldoet niet

Algemeen					Analyse		
Traject	**van dijkpaal**	**tot dijkpaal**	**locatie profiel [Dijkpaal]**	**Lengte vak [m]**	**kritiek verval**	**optredend verval**	**oordeel**
D56	*TG416+034*	*TG419.*	*417+052*	266	n.v.t.	n.v.t.	Geen opbarsten
D57	*TG419.*	*TG426.*	*424+030*	700	2,83	2,90	voldoet niet
D58	*TG426.*	*TG427.*	*426+050*	100	3,25	4,14	voldoet niet
D59	*TG427.*	*TG430+018*	*429+060*	318	4,59	4,03	voldoet
D60	*TG430+018*	*TG431+050*	*430+063*	132	1,96	3,74	voldoet niet
D61	*TG431+050*	*TG434+072*	*432+000*	325	n.v.t.	n.v.t.	Geen opbarsten
D62	*TG434+072*	*TG437+034*	*435+056*	262	1,43	4,53	voldoet niet
D63	*TG437+034*	*TG439*	*437+050*	166	1,32	4,36	voldoet niet

In totaal voldoen 10 vakken met een totale lengte van 5.014 m (21,3% van het totaal) aan de gestelde eis bij een schematiseringsfactor van 1,3.

Indien de schematiseringsfactor gereduceerd zou kunnen worden tot 1,1 voldoen in totaal 15 dijkvakken met een totale lengte van circa 7.200 m (ruim 30% van het totaal) aan de gestelde eis.

3.4 Conclusies en aanbevelingen

Alle vakken zonder voorland, of waarbij aannemelijk is dat het intredepunt nabij de dijk gelegen is, worden afgekeurd. Ook vakken waarbij een dunne deklaag geschematiseerd is in de binnenteen op basis van teensloten of andere waterpartijen worden afgekeurd doordat een te korte kwelweglengte hierdoor aanwezig is. Het inmeten van deze onderwaterbodems, in combinatie met het meten van de deklaagdikte en gewicht van de deklaag onder de sloot kan mogelijk een beter resultaat opleveren.

Het deelfaalmechanisme Heave is op dit moment niet meegenomen, mogelijk dat dit nog kan uitmaken voor afgekeurde stukken waar een dikkere deklaag aanwezig is doordat ook de verticale kwelstroom meegenomen wordt. Echter is hiervoor op dit moment nog geen sluitende aanpak, deze zou in een later stadium nog meegenomen kunnen worden, als het toetsingscriterium beschikbaar is.

Als laatste wordt aanbevolen om in een vervolgfase meer duidelijkheid te verkrijgen over de grootte van de schematiseringsfactor. Voor een aantal vakken zou deze schematiseringsfactor kunnen worden afgeleid, waarmee een het veiligheidsbeeld enigszins kan worden aangescherpt.

4 Resultaten analyse beoordelingsspoor Macrostabiliteit binnenwaarts

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn resultaten van de veiligheidsbeoordeling voor het faalmechanisme Macrostabiliteit binnenwaarts opgenomen. Voor nader inzicht in de gehanteerde uitgangspunten en de totstandkoming van de resultaten wordt verwezen naar de deelrapportage Uitgangspunten en de deelrapportage Macrostabiliteit en Piping. Alle berekeningen zijn uitgevoerd met als zichtjaar 2025, zichtjaar 2075 is voor deze analyse buiten beschouwing gelaten.

4.2 Opbarsten t.b.v. macrostabiliteit binnenwaarts

De opbarstberekeningen behorende bij de beoordeling op Macrostabiliteit binnenwaarts zijn gelijk aan de berekeningen zoals uitgevoerd voor het faalmechanisme Piping, zie paragraaf 2.2. Op basis van deze opbarstberekeningen zijn de rekenmethoden en de invloed op de sterkte bepaald zoals weergegeven in paragraaf 8.5 van de deelrapportage Uitgangspunten.

4.3 Veiligheidsbeoordeling Macrostabiliteit binnenwaarts

In Tabel 4-1 is per vak aangegeven wat de bevinding is vanuit de veiligheidsbeoordeling. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de ongedraineerde berekening op basis van N_{kt}-factor en de gedraineerde berekening op basis van de CSSM (sterkteparameters afgeleid bij de eindsterkte).

Bij de beoordeling is onderscheid gemaakt tussen verschillende waarden van de schematiseringsfactor (zie onderstaand kader met beknopte uitleg schematiseringsfactor):

- Groen: voldoet bij schematiseringsfactor 1,3
- Oranje: voldoet niet bij schematiseringsfactor 1,3 maar wel bij 1,1
- Rood: voldoet niet bij schematiseringsfactor 1,1

De schematiseringsfactor

De bodemopbouw en waterspanningen dienen veilig te worden geschematiseerd, zodanig dat de kans op afwijkingen (gemiste geulen of grondlagen, of een verkeerde classificatie van grondlagen) klein is en de werkelijke waterspanningen naar verwachting niet groter zullen zijn. Om de 'rest-onzekerheden' in de schematisering te verdisconteren dient een schematiseringsfactor te worden toegepast, die samenhangt met onder andere het uitgevoerde grondonderzoek, de complexiteit van de ondergrond ter plaatse en de effecten van variaties in de schematisering op de stabiliteit. De maximale waarde van de schematiseringsfactor is op 1,3 gesteld (meest conservatief). Op basis van onderzoek (bijv. waterspanningsmetingen, grondonderzoek) kan de schematiseringsfactor gereduceerd worden. In theorie zou de schematiseringsfactor gereduceerd kunnen worden tot 1,0 (geen onzekerheden); in de praktijk blijkt een waarde van 1,1 vaak het hoogst haalbare. Voor het afleiden van de schematiseringsfactor is een handleiding beschikbaar, genaamd Stappenplan Schematiseringsfactor [10].

Voor een compleet overzicht van de resultaten wordt verwezen naar Bijlage 2 van de deelrapportage Macrostabiliteit en Piping [5].

Tabel 4-1 Resultaten ongedraineerde stabiliteitsanalyses – Macrostabiliteit binnenwaarts

Algemeen					Oordeel	
Traject	Van [Dijkpaal]	Tot [Dijkpaal]	Locatie profiel [Dijkpaal]	Lengte [m]	N_{kt}-factor	CSSM c en phi
D1	TG205	TG211.	207+020	600	Onvoldoende	

Algemeen					Oordeel	
Traject	Van [Dijkpaal]	Tot [Dijkpaal]	Locatie profiel [Dijkpaal]	Lengte [m]	N_{kt}-factor	CSSM c en phi
D2	TG211.	TG212.	211+000	100		Onvoldoende
D3	TG212.	TG215.	212+075	300	Onvoldoende	
D4	TG215.	TG220.	216+000	500	Onvoldoende	
D5	TG220.	TG226.	226+000	600	Onvoldoende	
D6	TG226.	TG242.	234+000	1600	Onvoldoende	
D7	TG242.	TG253+050	251+000	1150	Onvoldoende	
D8	TG253+050	TG257+050	256+000	400		Onvoldoende
D9	TG257+050	TG261+050	259+000	400		Onvoldoende
D10	TG261+050	TG264.	263+050	250		Onvoldoende
D11	TG264.	TG267+75	266+000	375		Onvoldoende
D12	TG267+75	TG272.	271+000	425	Onvoldoende	
D13	TG272.	TG274.	272+073	200	Onvoldoende	
D14	TG274.	TG276.	275+075	200		Onvoldoende
D15	TG276.	TG278.	277+040	200		Onvoldoende
D16	TG278.	TG282+75	280+000	475	Nader onderzoek	
D17	TG282+75	TG285.	283+093	225		Onvoldoende
D18	TG285	TG287	285+025	200	Onvoldoende	
D19	TG287	TG290.	287+003	300	Onvoldoende	
D20	TG290.	TG293.	291+075	300	Onvoldoende	
D21	TG293.	TG300.	298+008	700	Onvoldoende	
D22	TG300.	TG308.	306+050	800	Onvoldoende	
D23	TG308.	TG310+038	310+000	238	Nader onderzoek	
D24	TG310+038	TG315.	311+000	462	Onvoldoende	
D25	TG315.	TG318+055	315+040	355	Onvoldoende	
D26	TG318+055	TG320+050	321+040	195	Onvoldoende	
D27	TG320+050	TG322	321+040	150	Onvoldoende	
D28	TG322.	TG322+050	322+040	50	Onvoldoende	
D29	TG322+050	TG324+082	323+000	232	Onvoldoende	
D30	TG324+082	TG325+045	325+029	61		
D31	TG325+045	TG328.	326+000	255		Onvoldoende
D32	TG328.	TG337+050	333+000	950	Voldoende	
D33	TG337+050	TG343+050	341+000	600		Onvoldoende
D34	TG343+10	TG354.	346+000	1090	Onvoldoende	
D35	TG354.	TG355.	354+040	100		Onvoldoende
D36	TG355.	TG356+050	355+080	150	Onvoldoende	
D37	TG356+050	TG362.	360+000	550		Onvoldoende
D38	TG362.	TG367.	364+000	500	Onvoldoende	
D39	TG367.	TG369+060	369+050	260		Onvoldoende
D40	TG369+060	TG371+050	370+025	90	Onvoldoende	
D41	TG371+050	TG375.	374+050	350	Onvoldoende	
D42	TG375.	TG383+032	377+073	832		Onvoldoende
D43	TG383+032	TG389.	384+050	568	Onvoldoende	

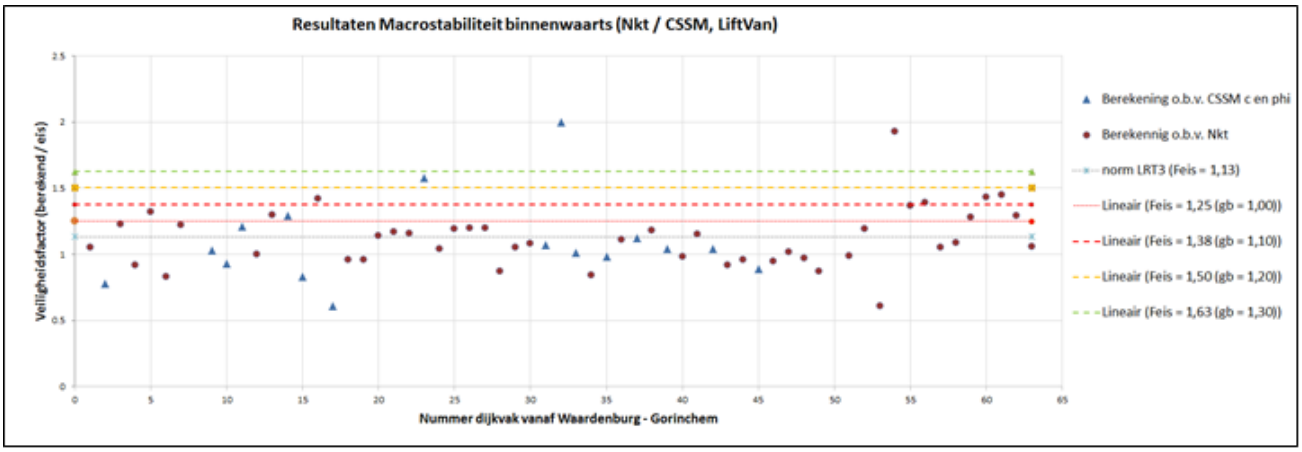
Algemeen					Oordeel	
Traject	Van [Dijkpaal]	Tot [Dijkpaal]	Locatie profiel [Dijkpaal]	Lengte [m]	N_{kt}-factor	CSSM c en phi
D44	TG389.	TG396.	394+060	700	Onvoldoende	
D45	TG396.	TG398.	397+000	200		Onvoldoende
D46	TG398.	TG401.	399+050	300	Onvoldoende	
D47	TG401.	TG402.	401+040	100	Onvoldoende	
D48	TG402.	TG402B.	402A	100	Onvoldoende	
D49	TG402B.	TG402D.	402B	100	Onvoldoende	
D50	TG402D.	TG403D+030	betonnen bak	100	Niet beschouwd, nader onderzoek	
D51	TG403D+030	TG404+022	403+070	92	Onvoldoende	
D52	TG404+022	TG409+050	406+040	528	Onvoldoende	
D53	TG409+050	TG412+050	412+000	300	Onvoldoende	
D54	TG412+050	TG414+013	413+050	163	Voldoende	
D55	TG414+013	TG416+034	414+050	221	Nader onderzoek	
D56	TG416+034	TG419.	417+052	266	Nader onderzoek	
D57	TG419.	TG426.	424+030	700	Onvoldoende	
D58	TG426.	TG427.	426+050	100	Onvoldoende	
D59	TG427.	TG430+018	429+060	318	Onvoldoende	
D60	TG430+018	TG431+050	430+063	132	Nader onderzoek	
D61	TG431+050	TG434+072	432+000	325	Nader onderzoek	
D62	TG434+072	TG437+034	435+056	262	Onvoldoende	
D63	TG437+034	TG439	437+050	166	Onvoldoende	

Uit de resultaten blijkt dat voor twee dijkvakken aan de eisen wordt voldaan, bij een schematiseringsfactor van 1,3. Dat is in totaal circa 1.110 m (4,7% van het totaal) van de totale lengte van 23.510 m.

Indien de schematiseringsfactor gereduceerd zou kunnen worden tot een factor van 1,1 neemt het aantal vakken dat aan de eisen voldoet toe tot 8 dijkvakken. Dit is dan in totaal 2.770m (ruim 11,7% van het totaal.

Om een beter inzicht te krijgen in de veiligheid is Figuur 2 de veiligheid van de Uplift Van som opgenomen ten opzichte van de eis. Hiermee kan inzicht verkregen worden in de afstand tot de norm. In vergelijking met bovenstaande tabel zijn hieronder alleen de Uplift Van sommen gepresenteerd, de resultaten in de tabel zijn gebaseerd op de meest negatieve som (wat ook Bishop kan zijn).

Uit de figuur blijkt dat een groot gedeelte van de resultaten is gelegen onder de laagste mogelijke stabiliteitseis van 1,25 (uitgaande van een schematiseringsfactor van 1,0).



Figuur 9 Weergave resultaten Lift Van-berekeningen uitgezet tegen de vereiste veiligheidsfactor

4.4 Conclusies en aanbevelingen

Uit de resultaten is af te leiden dat het overgrote gedeelte niet voldoet aan de gestelde eis, zelfs niet bij een schematiseringsfactor van 1,0.

Voor het opstellen van het ontwerp dient wel nog een schematiseringsfactor bepaald te worden, omdat deze van grote invloed is op de dimensies van de te ontwerpen dijkverbetering.

Voor het berekenen van de stabiliteit op basis van N_{kt}-factor is het van belang op de juiste plekken te sonderen, hiermee wordt bedoeld dat wanneer geometrische afwijkingen aanwezig zijn (bermen e.d.) deze ook meegenomen moeten worden. In een aantal profielen zijn op de berm geen sonderingen uitgevoerd. Hier is de sterkte die afgeleid wordt uit de sondering in het achterland door vertaald onder de berm. Dit is een conservatieve werkwijze, doordat de korrelspanningen en daardoor de schuifsterkten in dezelfde laag in het achterland lager zijn dan onder de berm. Aanbevolen wordt om in een vervolgfase nog een aantal sonderingen ter plaatse van de berm uit te voeren om dit effect inzichtelijk te maken.

Voor een groot aantal dijkvakken is gebleken, dat als gevolg van voortschrijdend inzicht in de ontwikkeling van het CSSM-model, niet het juiste terreinonderzoek is uitgevoerd. Er is een betere kwaliteit sonderingen met waterspanningsmetingen achter de conus, zogenaamde u2 metingen. Hierdoor zijn de ongedraineerde stabiliteitsberekening niet op basis van de N_{kt}-factor uitgevoerd, maar op basis van de CSSM, c' en phi-waarden (eindrek van 25%). Het verdient aanbeveling om in een vervolgfase ook in deze vakken nog de juiste sonderingen uit te voeren, zodat alsnog hier een vergelijkende stabiliteitsanalyse kan worden uitgevoerd.

In de stabiliteitsanalyse is vooraf gekozen om de berekeningen zoveel mogelijk op basis van de methode met de N_{kt}-factor (Su-measured in DGeoStability) uit te voeren. Aanbevolen wordt om ook een analyse op basis van de WBI-methode (S, m en grensspanning) uit te voeren. Hiertoe zullen eerst deze sterkteparameters moeten worden afgeleid en op basis van zowel de sondeerresultaten als de samendrukkingsproeven de grensspanningen moeten worden afgeleid. Opgemerkt wordt dat in theorie de resultaten tussen de N_{kt}-methode en de WBI-methode niet veel zouden mogen afwijken.

Uit de review van helpdesk Macrostabiliteit [11] blijkt dat dat de methodiek van afleiding van de materiaalfactoren voor de bepaling van de ongedraineerde schuifsterkte niet correct was. Deze afleidingsmethodiek was ten tijde van de analyse niet beschikbaar en zal in het WBI2017 en in de update van het OI2014 worden opgenomen (OI2014 versie 4). In het uitgangspuntendocument is de juiste afleiding van de materiaalfactoren opgenomen en is een beeld van de consequentie geschetst.

Opgemerkt wordt dat in de volgende fase deze afleiding zal moeten worden gehanteerd. Daarbij moet tevens opgemerkt wordt dat op basis van de op dit moment (voorjaar 2016) uitgevoerde kalibratiestudie mogelijk een herijking van de verschillende partiële factoren plaatsvindt. Ook deze zal een plaats krijgen in het nieuwe WBI en ontwerpinstrumentarium. Ook deze mogelijke aanpassingen zullen in een vervolgfase moeten worden meegenomen.

Uit de review blijkt ook dat er in de verschillende berekeningen een vrij conservatieve ligging van de freatische lijn is geschematiseerd. Veelal is hier in de dijk een horizontale ligging geschematiseerd, waar Deltares in de uitgangspunten voor de koploperprojecten een daling van in ieder geval 0,5 m heeft aanbevolen voor dijken met een kern van klei. Optimalisatie in vervolgfase is dan ook op dit punt aan te bevelen.

5 Resultaten analyse beoordelingsspoor Macrostabiliteit buitenwaarts

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn resultaten van de veiligheidsbeoordeling voor het faalmechanisme Macrostabiliteit buitenwaarts opgenomen. Voor nader inzicht in de gehanteerde uitgangspunten en de totstandkoming van de resultaten wordt verwezen naar de deelrapportage Uitgangspunten en de deelrapportage Macrostabiliteit en Piping. Alle berekeningen zijn uitgevoerd met als zichtjaar 2025, zichtjaar 2075 is voor deze analyse buiten beschouwing gelaten.

5.2 Veiligheidsbeoordeling macrostabiliteit buitenwaarts

In onderstaande tabel is per vak aangegeven wat de bevinding is vanuit de veiligheidsbeoordeling. Alle sommen zijn uitgevoerd middels de methode Bishop waarbij de sterkteparameters zijn gebruikt op basis van CSSM, c' en phi bij eindrekken. Er is niet met een andere glijvlakmethode gerekend omdat uit berekeningen is gebleken dat voor de dijkvakken in het traject GoWa veelal cirkelvormige glijvlakken berekend worden. Dit komt om dat de buitentaluds relatief steil zijn aangelegd (ondertalud is veelal 1:4, maar bovenste gedeelte van het talud is vaak 1:2 à 1:2,5).

Net als bij het mechanisme stabiliteit binnenwaarts is bij het beoordelen van de resultaten onderscheid gemaakt tussen:

- Groen: voldoet bij schematiseringsfactor 1,3
- Oranje: voldoet niet bij schematiseringsfactor 1,3 maar wel bij 1,1
- Rood: voldoet niet bij schematiseringsfactor 1,1

Tabel 5-1 Resultaten ongedraineerde stabiliteitsanalyses – Macrostabiliteit buitenwaarts

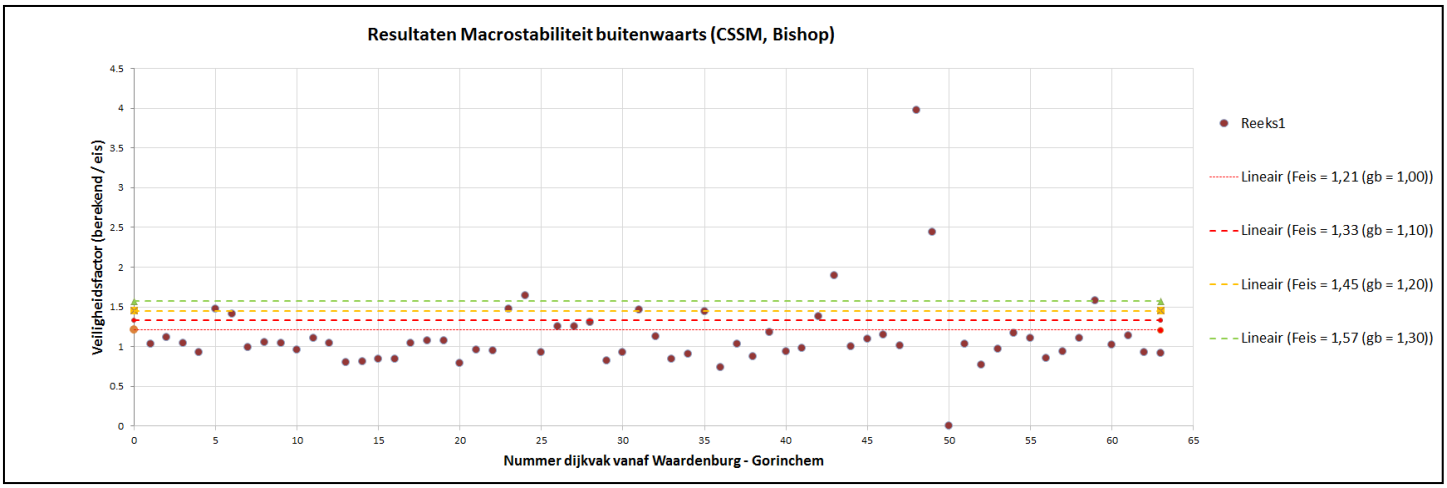
Algemeen					Oordeel STBU
Traject	Van [Dijkpaal]	Tot [Dijkpaal]	Locatie profiel [Dijkpaal]	Lengte [m]	CSSM c en phi
D1	TG205	TG211	207+020	600	Onvoldoende
D2	TG211.	TG212.	211+000	100	Onvoldoende
D3	TG212.	TG215.	212+075	300	Onvoldoende
D4	TG215.	TG220.	216+000	500	Onvoldoende
D5	TG220.	TG226.	226+000	600	Voldoende
D6	TG226.	TG242.	234+000	1600	Nader onderzoek
D7	TG242.	TG253+050	251+000	1150	Onvoldoende
D8	TG253+050	TG257+050	256+000	400	Onvoldoende
D9	TG257+050	TG261+050	259+000	400	Onvoldoende
D10	TG261+050	TG264.	263+050	250	Onvoldoende
D11	TG264.	TG267+75	266+000	375	Onvoldoende
D12	TG267+75	TG272.	271+000	425	Onvoldoende
D13	TG272.	TG274	272+073	200	Onvoldoende
D14	TG274	TG276	275+075	200	Onvoldoende
D15	TG276	TG278	277+040	200	Onvoldoende
D16	TG278	TG282+75	280+000	475	Onvoldoende
D17	TG282+75	TG285	283+093	225	Onvoldoende

Algemeen					Oordeel STBU
Traject	Van [Dijkpaal]	Tot [Dijkpaal]	Locatie profiel [Dijkpaal]	Lengte [m]	CSSM c en phi
D18	TG285	TG287	285+025	200	Onvoldoende
D19	TG287	TG290.	287+003	300	Onvoldoende
D20	TG290.	TG293.	291+075	300	Onvoldoende
D21	TG293.	TG300.	298+008	700	Onvoldoende
D22	TG300.	TG308.	306+050	800	Onvoldoende
D23	TG308.	TG310+038	310+000	238	Voldoende
D24	TG310+038	TG315.	311+000	462	Voldoende
D25	TG315.	TG318+055	315+040	355	Onvoldoende
D26	TG318+055	TG320+050	321+040	195	Nader onderzoek
D27	TG320+050	TG322	321+040	150	Nader onderzoek
D28	TG322.	TG322+050	322+040	50	Nader onderzoek
D29	TG322+050	TG324+082	323+000	232	Onvoldoende
D30	TG324+082	TG325+045	325+029	61	Onvoldoende
D31	TG325+045	TG328.	326+000	255	Voldoende
D32	TG328.	TG337+050	333+000	950	Onvoldoende
D33	TG337+050	TG343+050	341+000	600	Onvoldoende
D34	TG343+10	TG354.	346+000	1090	Onvoldoende
D35	TG354.	TG355.	354+040	100	Voldoende
D36	TG355.	TG356+050	355+080	150	Onvoldoende
D37	TG356+050	TG362.	360+000	550	Onvoldoende
D38	TG362.	TG367.	364+000	500	Onvoldoende
D39	TG367.	TG369+060	369+050	260	Onvoldoende
D40	TG369+060	TG371+050	370+025	90	Onvoldoende
D41	TG371+050	TG375.	374+050	350	Onvoldoende
D42	TG375.	TG383+032	377+073	832	Nader onderzoek
D43	TG383+032	TG389.	384+050	568	Voldoende
D44	TG389.	TG396.	394+060	700	Onvoldoende
D45	TG396.	TG398.	397+000	200	Onvoldoende
D46	TG398.	TG401.	399+050	300	Onvoldoende
D47	TG401.	TG402.	401+040	100	Onvoldoende
D48	TG402.	TG402B.	402A	100	Voldoende
D49	TG402B.	TG402D.	402B	100	Voldoende
D50	TG402D.	TG403D+030	betonnen bak	100	Niet beschouwd
D51	TG403D+030	TG404+022	403+070	92	Onvoldoende
D52	TG404+022	TG409+050	406+040	528	Onvoldoende
D53	TG409+050	TG412+050	412+000	300	Onvoldoende
D54	TG412+050	TG414+013	413+050	163	Onvoldoende
D55	TG414+013	TG416+034	414+050	221	Onvoldoende
D56	TG416+034	TG419.	417+052	266	Onvoldoende
D57	TG419.	TG426.	424+030	700	Onvoldoende
D58	TG426.	TG427.	426+050	100	Onvoldoende
D59	TG427.	TG430+018	429+060	318	Voldoende

Algemeen					Oordeel STBU
Traject	Van [Dijkpaal]	Tot [Dijkpaal]	Locatie profiel [Dijkpaal]	Lengte [m]	CSSM c en phi
D60	TG430+018	TG431+050	430+063	132	Onvoldoende
D61	TG431+050	TG434+072	432+000	325	Onvoldoende
D62	TG434+072	TG437+034	435+056	262	Onvoldoende
D63	TG437+034	TG439	437+050	166	Onvoldoende

Vak D50 is niet beschouwd, het betreft hier een speciale constructie bestaande uit een betonnen bak op palen. In totaal voldoet 2.741 m (11,7% van het totaal) verdeeld over negen dijkvakken aan de eisen, indien een schematiseringsfactor van 1,3 wordt toegepast. Indien de schematiseringsfactor gereduceerd kan worden tot een factor van 1,1 voldoet 5.568 m (23,7% van het totaal) verdeeld over 14 dijkvakken aan de vereiste veiligheid.

In Figuur 10 staan de berekende veiligheden uitgezet ten opzicht van de vereiste veiligheid (bij verschillende waardes van de schematiseringsfactor).



Figuur 10 Weergave resultaten Bishop-berekeningen uitgezet tegen de vereiste veiligheidsfactor

Uit Figuur 10 is op te maken dat op een 3-tal locaties de veiligheid zeer hoog is, dit is voornamelijk te danken aan een hoog liggend voorland. Het overgrote gedeelte van de dijkvakken voldoet echter niet aan de eis, zelfs niet bij een schematiseringsfactor van 1,0.
Voor deze vakken is het, voor het bepalen van de veiligheidsscope, niet nuttig de schematiseringsfactor aan te passen aangezien dit niet tot verandering van het oordeel zal leiden.

Te zien is ook dat veel berekeningen een veiligheid hebben om en nabij de 1,0. Vaak is eenzelfde beeld zichtbaar namelijk een oppervlakkige glijcirkel door het dijklichaam uittredend in de teen. Daarbij is de geometrie van de kering vaak gelijk, helling tussen de 1:2 en 1:3. Een uitzondering daarop is het buitentalud aan de oostzijde bij Fort Vuren, waar een zeer flauw buitentalud aanwezig is. Dit is ook duidelijk zichtbaar in de berekende veiligheidsfactoren.

5.3 Aanbeveling en consequenties

Voor een groot gedeelte van de locaties heeft het aanscherpen van de schematiseringsfactor geen nut voor het oordeel, voor een aantal locaties wel. Wanneer een methode is vastgesteld om de schematiseringsfactor voor zowel de binnen- als buitenwaartse stabiliteit af te leiden, wordt het

aanbevolen om, voorafgaand aan het ontwerp, de buitenwaartse stabiliteit nogmaals te beschouwen om het oordeel te verifiëren .
Voor de ontwerpwerkzaamheden is het in elk geval nodig de schematiseringsfactor te bepalen, omdat de dimensies van het ontwerp hier van afhankelijk zijn.

6 Conclusies veiligheidsopgave GoWa

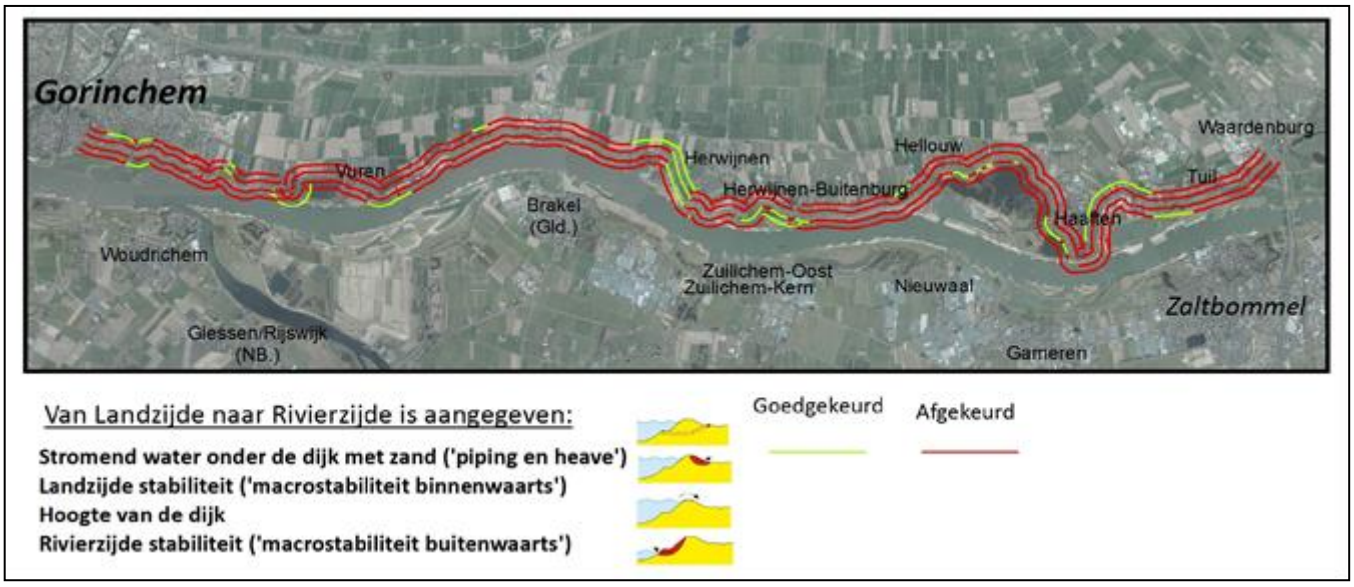
Bij de veiligheidsanalyse voor dijkversterking GoWa is uitsluitend gekeken naar de vier belangrijkste faalmechanismen voor dit dijktracé, namelijk:

- Overloop en Overslag
- Macrostabiliteit binnenwaarts
- Macrostabiliteit buitenwaarts
- Piping

In de voorgaande hoofstukken staan per beoordelingsspoor de resultaten, conclusies en aanbevelingen van de veiligheidsanalyse verwoord. Voor een verdere onderbouwing van de aanpak en de resultaten wordt verwezen naar de deelrapportages.

In dit hoofdstuk wordt een totaaloverzicht gepresenteerd. In Figuur 11 staat het resultaat voor alle beoordeelde faalmechanismen in één samenvattende figuur weergegeven. In Bijlage 1 zijn dezelfde resultaten d.m.v. een kaartenatlas op grotere schaal afgebeeld. In Figuur 11 is te zien is dat er op het gehele traject geen enkel dijkvak is dat volledig goedgekeurd is. Elk dijkvak scoort onvoldoende op één of meerdere beoordelingssporen. De conclusie kan getrokken worden dat het traject Gorinchem-Waardenburg in zijn geheel moet worden aangepakt.

In z'n algemeenheid kan gesteld worden dat er veel 'rood' en weinig 'groen' is.
Dit betekent dus een grote bijstelling van de veiligheidsopgave t.o.v. de resultaten van de 3e toetsronde toen ongeveer 14 km van de 23 km was afgekeurd. De zogenaamde tussenvakken voldoen dus ook niet aan de nieuwe norm.



Figuur 11 Veiligheidsopgave GoWa

Kanttekeningen bij de resultaten van de Veiligheidsanalyse
De resultaten van de Veiligheidsanalyse worden bepaald door de gehanteerde uitgangspunten en de huidige kennis van de faalmechanismen van een dijk. De uitgangspunten zijn beschreven in de verschillende deelrapportages. Het is zeer goed mogelijk dat in de komende jaren nieuwe inzichten zullen ontstaan. Het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) is nog volop in ontwikkeling. De Project Overstijgende Verkenningen (POV's) die in het kader van het HWBP worden uitgevoerd,

kunnen ook tot nieuwe inzichten leiden. Alle toekomstige nieuwe inzichten komen te laat voor deze Veiligheidsanalyse, maar zullen voor zover mogelijk wel gebruikt worden bij het uitwerken van alternatieven voor de dijkversterking.

Referenties

1. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen (Ontwerpinstrumentarium 2014), versie OI2014v3, Rijkswaterstaat, juli 2015.
2. Ontwerpuitgangspunten Primaire Waterkeringen (definitief), Waterschap Rivierenland, 2016
3. Veiligheidsanalyse dijkversterking Gorinchem-Waardenburg – deelrapportage Uitgangspunten, Waterschap Rivierenland, 2016
4. Veiligheidsanalyse dijkversterking Gorinchem-Waardenburg – deelrapportage Overloop en Golfoverslag, Waterschap Rivierenland, 2016
5. Veiligheidsanalyse dijkversterking Gorinchem-Waardenburg – deelrapportage Macrostabiliteit en Piping, Waterschap Rivierenland, 2016
6. Hydraulische Randvoorwaarden Waal - GRADE afvoerstatistiek - Gorinchem-Tiel, HKV Lijn in Water, september 2015
7. Analyse innovatie dijkverhoging en faalkansbegroting, HKV, 2015
8. Technisch rapport Waterspanningen bij Dijken (TRWD), Technische adviescommissie voor de waterkeringen (TAW), 1 september 2004
9. Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Rijkswaterstaat, ministerie van Infrastructuur en Milieu / Deltares, definitief, 1202123-003, maart 2012
10. Stappenplan schematiseringsfactor, Waterdienst, 2010.
11. Memo review; Helpdesk Macrostabiliteit (Kennisplatform risicobenadering (KPR)), 24 mei 2016, definitief

Bijlage 1 Kaartenatlas resultaat Veiligheidsanalyse

Losse bijlage

Waterschap
Rivierenland

Waterschap Rivierenland
Postbus 599
4000 AN Tiel
(0344) 64 90 90
www.waterschaprivierenland.nl