

NADERE ANALYSE VEILIGHEIDSPROBLEEM

VERKENNINGSFASE DIJKVERSTERKING GOUDA
IJSELDIJK

Opdrachtgever:
Hoogheemraadschap van Rijnland
Postbus 156
2300 AD LEIDEN



Colofon

Rapport *NADERE ANALYSE VEILIGHEIDSOORDEEL*

VERKENNINGSFASE DIJKVERSTERKING GOUDA IJSSELDIJK

Versie *2.0*

Status *Definitief*

Datum *24 november 2014*

Referentie *P14-012.02*

Auteur(s) *ir. C. Bisschop*

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature is stylized and appears to read 'C. Bisschop'.

Controle *ing. C. van het Slot*

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, cursive 'S' shape.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Algemeen	4
1.2	Doel	4
1.3	Beschrijving situatie Gouda, IJsseldijk	5
2	Uitgangspunten	7
2.1	Ontwerpwaterstanden	7
2.2	Ontwerpkruinhoogte	7
3	Veiligheidsanalyse	8
3.1	Overloop en golfoverslag	8
3.2	Macrostabieliteit binnenwaarts	10
3.2.1	Deelgebied A (Sluiseiland)	11
3.2.2	Deelgebied C (Van Keersluis tot Bedrijventerrein)	11
3.2.3	Deelgebied D (Van Croda tot Mallegatsluis)	12
3.2.4	Deelgebied F (Veerstal tot aan Begraafplaats)	12
3.2.5	Herverdeling faalkansruimte	13
3.2.6	Samenvattend	13
3.3	Macrostabieliteit buitenwaarts	14
3.3.1	Deelgebied A (Sluiseiland)	14
3.3.2	Deelgebied C (Van Keersluis tot Bedrijventerrein)	15
3.3.3	Deelgebied D (Van Croda tot Mallegatsluis)	16
3.3.4	Deelgebied F (Veerstal tot aan Begraafplaats)	16
3.3.5	Aanpassing schematiseringsfactor	16
3.3.6	Samenvattend	17
4	Haastrechtsebrug	18
4.1	Veiligheidsbeschouwing waterkerend grondlichaam	18
4.1.1	Overloop en golfoverslag	18
4.1.2	Macrostabieliteit binnenwaarts	19
4.1.3	Macrostabieliteit buitenwaarts	19
4.2	Landhoofd Haastrechtsebrug	19
4.3	Samenvattend	20
5	Conclusie	21
	Literatuurlijst	22
	Bijlage 1 Overzicht en dwarsprofielen per deelgebied	
	Bijlage 2 Resultaten STBI – deelgebied A	
	Bijlage 3 Resultaten STBI – deelgebied C	
	Bijlage 4 Resultaten STBI – deelgebied F	
	Bijlage 5 Resultaten STBU – deelgebied A	
	Bijlage 6 Resultaten STBU – deelgebied C	
	Bijlage 7 Resultaten STBU – deelgebied D	

Bijlage 8 Resultaten STBU – deelgebied F

Bijlage 9 Dwarsdoorsnede Haastrechtsebrug

1 INLEIDING

1.1 ALGEMEEN

In opdracht van het hoogheemraadschap van Rijnland (HHvR) voert Greenrivers BV de verkenningsfase uit, voor de dijkversterking van de IJsseldijk te Gouda.

In 2008 is uit de toetsing gebleken dat de waterkering van de IJsseldijk op onderdelen is afgekeurd. Er is toen begonnen met het project Verbetering IJsseldijk Gouda (voortaan afgekort tot VIJG). Na intensieve afstemming en samenwerking met belanghebbenden is er in januari 2013 een voorkeursalternatief (VKA) bepaald [1]. Echter in 2013 hebben diverse ontwikkelingen plaatsgevonden en ontstonden daardoor nieuwe inzichten waardoor een nieuwe aanpak nodig was. Een aantal van deze ontwikkelingen zijn:

- Kansen voor verminderde opgave door aanpassing van toetsregels voor deelgebieden met hoge voorlanden. In Gouda zijn hoge voorlanden aanwezig ter plaatse van het bedrijventerrein langs de Schielandse Hoge Zeedijk en ter plaatse van de begraafplaats IJsselhof;
- Aanpassing van de ontwerpeis, namelijk dat dit gebeurt op basis van een optimale kostenverdeling over de levensduur van de gekozen oplossing, de zogenaamde Life Cycle Cost-benadering (LCC-benadering);
- Onzekerheid over de (mate van) afkeuring van het kadedeel langs de historische binnenstad van Gouda door ontbrekende grondwaterstromingsmetingen;
- Kansen voor het in de toekomst openstellen van de historische Havensluis;
- Nieuw hydraulisch belasting model - Hydra BS (dit onderdeel is uitgevoerd door Hydrologic).

Door HHvR is deze nieuwe aanpak bestuurlijk vastgelegd. Een belangrijk onderdeel van het besluit is dat het tracé wordt opgeknipt in urgente en minder urgente delen.

1.2 DOEL

In dit rapport is de nader uitwerking van het veiligheidsprobleem opgenomen om de opgave zoals bepaald in 2008 te actualiseren aan de meest recente inzichten. Als basis voor deze veiligheidsanalyse zijn de uitgangspunten gebruikt, zoals zijn opgenomen in het uitgangspuntendocument [18]. Ten opzichte van 2008 zijn met name het nieuwe hydraulische belastingmodel, nieuwe normering (overschrijdingskans naar overstromingskans) en enkele sterkteparameters van de ondergrond aangepast.

De veiligheidsanalyse geeft meer inzicht in de huidige veiligheid van de waterkeringen en geeft daarmee aan of de projectscope nog aangepast moet worden. Daarnaast is het doel van deze analyse om een afstand tot de norm aan te geven, waarmee een beeld verkregen wordt van de mate van urgentie en de haalbaarheid van de versterkingsmaatregelen.

Door Greenrivers BV zijn de waterkeringen (excl. waterkerende kunstwerken) van de urgent aangemerkte delen beschouwd. Gedurende deze verkenningsfase wordt nog terreinonderzoek (sonderingen, boringen en laboratoriumonderzoek) uitgevoerd. De resultaten van dit onderzoek zullen geen onderdeel vormen van deze veiligheidsanalyse.



1.3 BESCHRIJVING SITUATIE GOUDA, IJSSELDIJK

De IJsseldijk van de Julianasluis tot aan de Waaiersluis is een primaire waterkering in het beheergebied van het hoogheemraadschap van Rijnland. In 2008 is uit de toetsing gebleken dat de waterkering op onderdelen is afgekeurd.

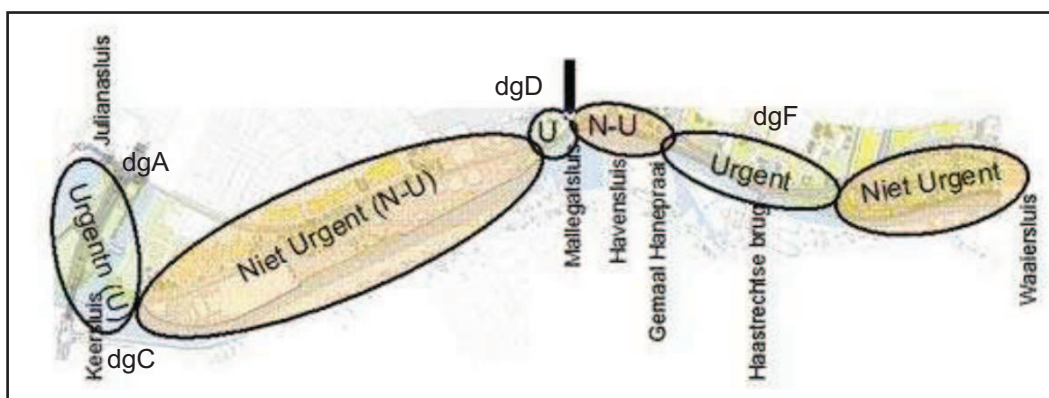
Een belangrijk onderdeel van het besluit, om te kiezen voor een nieuwe aanpak (zie paragraaf 1.1), is dat het tracé wordt opgeknipt in urgente en minder urgente delen. De meest urgente delen zijn in onderstaande figuur 1-1 weergegeven en zijn:

Deelgebied A: Julianasluis, over sluisseiland (dg A);

Deelgebied C: Vanaf keersluis tot aan bedrijventerrein (dg C);

Deelgebied D: Vanaf bedrijf Croda tot en met de Mallegatsluis (dg D);

Deelgebied F: Vanaf Veerstal tot de begraafplaats (dg F).



Figuur 1-1 Locaties urgente- en niet-urgente deelgebieden [bron: uitvraag verkenningfase]

In het door Grontmij Nederland bv opgestelde VKA [1] is een andere indeling van de deelgebieden aangehouden. In onderstaande figuur 1-2 is deze oude indeling aangegeven. Daarbij zijn ook de nieuwe deelgebied (incl. benaming) aangegeven.



Figuur 1-2 Locaties deelgebieden [1]



In tabel 1-1 zijn de nieuwe en oude nummering en benaming van de deelgebieden weergegeven. Ook is de lengte van de nieuwe deelgebieden opgenomen.

Tabel 1-1: Overzicht nummering nieuwe en oude deelgebieden

Deelgebied	Onderdeel van oude deelgebied [1]	Oude benaming	Lengte [m]
A	DG1.NT	Sluiseiland en gemaal	732
B	DG1.NT	Sluiseiland en gemaal	73
D	DG5	De Historische binnenstad	102
F	DG6	De dijk bij de Haastrechtse brug	628

In bijlage 1 is een overzicht van de beschouwde deelgebieden weergegeven. daarnaast zijn per deelgebied ook een aantal representatieve dwarsprofielen gepresenteerd. Deze profielen zijn toegepast in de veiligheidsanalyse.



2 UITGANGSPUNTEN

De volledige weergave van de opgestelde uitgangspunten voor de verkenningsfase van de dijkversterking VIJG is opgenomen in [18]. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste uitgangspunten voor de veiligheidsanalyse hieruit overgenomen.

2.1 ONTWERPWATERSTANDEN

In tabel 2-1 zijn de in [18] afgeleide ontwerpwaterstanden weergegeven. Op verzoek het HRvR wordt een toeslag van 0,30 m op de ontwerpwaterstand gehanteerd voor de sterkte. Dit wil zeggen dat bij de dimensionering van verschillende faalmechanismen, behoudens het faalmechanisme overloop en golfoverslag, de in tabel 2-1 weergegeven ontwerpwaterstanden worden gehanteerd.

Tabel 2-1: Overzicht ontwerpwaterstanden (incl. robuustheidstoeslag)

Deelgebied	Locatie Hydrologic	Ontwerpwaterstand	ontwerpwaterstand
		2050 [m t.o.v. NAP]	2100 [m t.o.v. NAP]
A	1	3,56	3,64
	2	3,56	3,64
C	4	3,56	3,64
D	5	3,60	3,67
F	7	3,60	3,68
	8	3,62	3,70
	9	3,62	3,70

2.2 ONTWERPKRUIHOOGTE

In tabel 2-2 is de minimaal benodigde kruinhoogte weergegeven (inclusief minimale waakhogte van 0,30 m).

Tabel 2-2: Afgeleide minimaal benodigde kruinhoogten (overstromingskans 1/15.000 p.j.)

Deelgebied	Locatie Hydrologic	min. benodigde	min. benodigde
		kruinhoogte 2065 [m t.o.v. NAP]	kruinhoogte 2115 [m t.o.v. NAP]
A	1	3,56	3,64
	2	4,10	4,06
C	4	3,56	3,64
D	5	3,60	3,67
F-1 (tot aan Haastrechtse brug)	7	4,28	4,21
F-2 (tussen brug en begraafplaats)	8	3,62	3,70
	9	3,68	3,70



3 VEILIGHEIDSANALYSE

In dit hoofdstuk is de veiligheidsanalyse opgenomen, waarbij de huidige aanwezige situatie als basis dient.

De veiligheidsanalyse is voor de deelgebieden A, C, D en F uitgevoerd.

De volgende faalmechanismen zijn hierin beschouwd:

- Overloop en Golfoverslag;
- Macrostabieliteit binnenwaarts;
- Macrostabieliteit buitenwaarts.

De faalmechanismen opbarsten en piping en microstabieliteit zijn voor deze deelgebieden niet van toepassing, zoals blijkt uit de uitgevoerde veiligheidsbeoordeling in de tweede toetsronde [5].

In de volgende paragrafen is achtereenvolgens de veiligheidsanalyse voor de verschillende faalmechanisme opgenomen.

3.1 OVERLOOP EN GOLFOVERSLAG

Op basis van de door Hydrologic [19] afgeleide hydraulische belastingniveaus zijn in het uitgangspuntendocument de minimaal benodigde kruinhoogte voor de situatie 2065 en 2115 (planperiode van 50 en 100 jaar) bepaald. Deze kruinhoogte dient over een breedte van minimaal 3,0 m aanwezig te zijn.

In onderstaande tabel zijn naast de aanwezige kruinhoogte voor de verschillende deelgebieden ook de minimaal benodigde kruinhoogte (voor planperiode van 50 jaar, inclusief minimale waakhogte van 0,30 m) opgenomen. Daarnaast is het verschil tussen beide weergegeven.

Tabel 3-1: Afgeleide minimaal benodigde kruinhoogten (overstromingskans 1/15.000 p.j.)

Deelgebied	Aanwezige kruinhoogte [m tov NAP]	min. benodigde kruinhoogte 2065 [m t.o.v. NAP]	Vershil [m]
A (Julianasluis)	3,60	3,56	+0,04
A (kop sluseiland)	4,10	4,10	+0,00
C	4,05	3,56	+0,49
D	4,40	3,60	+0,80
F-1 (tot aan Haastrechtse brug)	4,15	4,28	-0,13
F-2 (tussen brug en begraafplaats)	4,00	3,62	+0,38
F-2 (tussen brug en begraafplaats)	3,95	3,68	+0,27

Uit de gegevens blijkt dat alleen voor deelgebied F-1 (tot aan Haastrechtsebrug) een acuut hoogtetekort aanwezig is van circa 0,15 m. Voor de kop van het sluseiland (deelgebied A) is op dit moment net voldoende kruinhoogte aanwezig.



Echter als gevolg van verwachte bodemdaling (van 1,1 cm/jaar, conform uitgangspunten-document [18]) zal binnen een aantal jaar ook voor deelgebied A een kruinhoogtetekort ontstaan. In tabel 3-2 is aangegeven, na welke tijdsperiode niet meer aan de kruinhoogte voldaan zal worden.

Tabel 3-2 Tijdsperiode waarna aanwezige kruinhoogte kleiner is dan min. benodigd

Deelgebied	Aanwezige kruinhoogte [m tov NAP]	Verschil [m]	Tijdsperiode [jaar]
A (Julianasluis)	3,60	+0,04	4
A (kop sluseiland)	4,10	+0,00	n.v.t.*1
C	4,05	+0,49	45
D	4,40	+0,80	72
F-1 (tot aan Haastrechtse brug)	4,15	-0,13	n.v.t.*1
F-2 (tussen brug en begraafplaats)	4,00	+0,38	35
F-2 (tussen brug en begraafplaats)	3,95	+0,27	25

*1 n.v.t: voor deze deelgebieden wordt in de huidige situatie nog net of al niet voldaan aan de hoogte-eis.

Uit de gegevens blijkt dat voor het sluseiland (voor het gedeelte nabij de Julianasluis) na een periode van circa 4 jaar de minimaal benodigde kruinhoogte al is bereikt. Voor het gedeelte van deelgebied F (na de Haastrechtsebrug) wordt na een periode van circa 25 à 30 jaar niet meer aan de minimale hoogte-eis voldaan.

Opgemerkt wordt dat in het geval van een dijkverbetering (groene dijk) het gebruikelijk is en daarnaast ook aanbevolen wordt in de Leidraad Rivieren, om een planperiode van 50 jaar te hanteren. Dit zou inhouden dat op deelgebied D na, voor alle andere deelgebieden een kruinverhoging zal moeten worden aangebracht. In tabel 3-3 is per deelgebied de hiervoor benodigde kruinverhoging aangegeven.

Tabel 3-3 Benodigde kruinverhoging in de periode tot 2065

Deelgebied	Aanwezige kruinhoogte [m tov NAP]	Kruinhoogte (2065) incl. bodemdaling [m tov NAP]	Benodigde kruinverhoging [m]
A (Julianasluis)	3,60	4,11	0,51
A (kop sluseiland)	4,10	4,65	0,55
C	4,05	4,11	0,06
D	4,40	4,15	n.v.t.
F-1 (tot aan Haastrechtse brug)	4,15	4,83	0,68
F-2 (tussen brug en begraafplaats)	4,00	4,17	0,17
	3,95	4,23	0,28

Uit de resultaten blijkt dat behalve voor deelgebied D voor de andere deelgebieden een kruinverhoging van minimaal circa 0,2 m voor het gedeelte na de Haastrechtsebrug tot maximaal circa 0,7 m voor het gedeelte tot de Haastrechtsebrug moet worden aangebracht.

Indien uitgegaan wordt van een periode tot 2115 (100 jaar) zal daarin naast de verhoging van de ontwerpwaterstand (circa 10 cm) ook een extra bodemdaling als gevolg van achtergrondzetting en klink (1,1 cm/jaar) in rekening moeten worden gebracht voor de (groene) dijken. Dit leidt er toe dat de minimaal benodigde kruinhoogten, zoals in tabel 2-3 staan weergegeven, nog met circa 0,65 m toenemen.



Samenvattend

Alleen voor deelgebied F-1 (tot aan de Haastrechtsebrug) is een acuut hoogtetekort aanwezig van circa 0,13 m (zie tabel 2-1). Voor de kop van het sluisseiland (deelgebied A) is op dit moment net voldoende kruinhoogte aanwezig. Echter als gevolg van verwachte bodemdaling van 1,1 cm/jaar zal binnen vier jaar ook voor deelgebied A een kruinhoogtetekort ontstaan. Binnen de planperiode van 50 jaar is ook voor deelgebied C (circa 0,06 m) en deelgebied F-1 en F-2 een kruinverhoging noodzakelijk. Vanwege de Life-Cycle-Cost-benadering is het mogelijk de kruinverhoging gefaseerd over de komende jaren uit te voeren. Het actuele hoogtetekort bij deelgebied F-1 zorgt dat dit deelgebied de hoogste prioriteit krijgt.

3.2 MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS

Op basis van de door Hydrologic [19] afgeleide hydraulische belastingniveaus zijn in het uitgangspuntendocument de minimaal benodigde ontwerpwaterstanden voor de situatie 2065 en 2115 (planperiode van 50 en 100 jaar) bepaald. Hiervoor is gebruik gemaakt van de overstromingskans (afkeurgrens) van 1/15.000 per jaar.

In onderstaande tabel zijn deze waterstanden (incl. robuustheidstoeslag van 0,30 m) voor de verschillende deelgebieden opgenomen.

Tabel 3-4: Afgeleide ontwerpwaterstanden (overstromingskans 1/15.000 p.j.)

Deelgebied	Ontwerpwaterstand (2065) [m tov NAP]	Ontwerpwaterstand (2115) [m t.o.v. NAP]
A (Julianasluis)	3,56	3,64
A (kop sluisseiland)	3,56	3,64
C	3,56	3,64
D	3,60	3,67
F-1 (tot aan Haastrechtse brug)	3,60	3,68
F-2 (tussen brug en begraafplaats)	3,62	3,70
	3,62	3,70

In de berekening van de stabiliteitsfactoren is gerekend met de ontwerpwaterstanden voor een planperiode van 50 jaar.

De minimaal benodigde stabiliteitsfactor voor binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) bedraagt conform het uitgangspuntendocument [18] afhankelijk van de waarde voor de schematiseringsfactor conform de methode Bishop:

- Schematiseringsfactor = 1,10 → $1,14 \times 1,10 = 1,25$
- Schematiseringsfactor = 1,30 → $1,14 \times 1,30 = 1,48$

Vooralsnog is uitgegaan van een situatie waarbij de schematiseringsfactor niet is gereduceerd en dus een veiligheidsfactor van 1,48 is toegepast.

Voor de berekening van de binnenwaartse stabiliteit is gerekend met zonerings, zoals in het programma DStability is opgenomen. Dit is niet helemaal overeenkomstig hetgeen in de conceptversie van het technische rapport macrostabiliteit [11] is aangegeven. Echter omdat dit technische rapport nog niet vigerend is en er gerekend is met een beperkt golfoverslagdebiet van 1,0 l/m/s is het voldoende veilig om in deze veiligheidsanalyse met de zoneringsoptie te rekenen.

In onderstaande paragrafen zijn per deelgebied de resultaten van de stabiliteitsanalyse opgenomen.



3.2.1 DEELGEBIED A (SLUISEILAND)

Voor deelgebied A zijn twee dwarsprofielen, zie bijlage 1, beschouwd, te weten:

Dwarsprofiel DGA-G2: Noordzijde Sluiseiland.

Dwarsprofiel DGA-G5: Kop Sluiseiland

Opgemerkt wordt dat voor dwarsprofiel G2 gerekend is met de aanwezigheid van de aardebaan van de N207. Hiervoor is het bestaande achterland verhoogd tot de minimaal aanwezige maaiveldniveau van NAP +3,0 m.

In tabel 3-5 zijn de resultaten van de stabiliteitsberekeningen opgenomen. De grafische weergave van de glijcirkels is opgenomen in bijlage 2.

Tabel 3-5: Deelgebied A Berekende veiligheidsfactoren STBI - (2065)

Dwarsprofiel	Berekende veiligheid (F_s)	Vereiste veiligheid (F_{min})	Voldoet (ja / nee)
DGA-G2	2,46	1,48	ja
DGA-G5	2,31	1,48	Ja

Uit de stabiliteitsberekeningen blijkt dat, zoals verwacht, de huidige situatie voldoet aan de eisen voor het faalmechanisme Macrostabieliteit binnenwaarts.

3.2.2 DEELGEBIED C (VAN KEERSLUISTOT BEDRIJVENTERREIN)

Voor deelgebied C zijn drie dwarsprofielen beschouwd, zie bijlage 1, te weten:

Dwarsprofiel DGC-G1: Tussen keersluis en gemaal

Dwarsprofiel DGC-G2: Langs Hollandse IJssel

Dwarsprofiel DGC-G3: Langs Hollandse IJssel incl. wiel.

Opgemerkt wordt dat voor dwarsprofiel DGC-G3 het bodemniveau van het wiel is ingeschat, omdat hiervan geen metingen van bekend zijn. Het aangenomen bodemniveau bedraagt NAP -4,0 m.

In tabel 3-6 zijn de resultaten van de stabiliteitsberekeningen opgenomen. De grafische weergave van de glijcirkels is opgenomen in bijlage 3.

Tabel 3-6: Deelgebied C Berekende veiligheidsfactoren STBI - (2065)

Dwarsprofiel	Berekende veiligheid (F_s)	Vereiste veiligheid (F_{min})	Voldoet (ja / nee)
DGC-G1	1,55	1,48	Ja
DGC-G2	0,92	1,48	Nee
DGC-G3	0,79	1,48	Nee

Uit de berekeningen blijkt dat voor dwarsprofiel DGC-G1 in de bestaande situatie voldoende veiligheid aanwezig is. Dit geldt dan ook voor het gehele gedeelte tussen de keersluis en het gemaal.

Voor de dwarsprofielen (G2 en G3) die direct aan de Hollandse IJssel grenzen is onvoldoende veiligheid voor het faalmechanisme Macrostabieliteit binnenwaarts berekend.



3.2.3 DEELGEBIED D (VAN CRODA TOT MALLEGATSLUIS)

Voor deelgebied D is er sprake van een zeer flauw aflopend binnentalud (helling circa 1:20), waar geen instabiliteit te verwachten is onder maatgevende omstandigheden. Dit komt overeen met het toetsresultaat uit de tweede toetsronde [5].

3.2.4 DEELGEBIED F (VEERSTAL TOT AAN BEGRAAFPLAATS)

Voor deelgebied F zijn drie dwarsprofielen beschouwd, te weten:

Dwarsprofiel DGF-G1: tussen Veerstal en Haastrechtsebrug

Dwarsprofiel DGF-G2: Na Haastrechtsebrug voor Sportlaan

Dwarsprofiel DGF-G4: Na Haastrechtsebrug met Sportlaan in berm

Dwarsprofiel DGF-G1 is het maatgevende profiel voor wat betreft de geometrie van het binnentalud. Het dwarsprofiel bevindt zich ongeveer ter hoogte van het aanwezige verzorgingshuis na de kruising met de Fluwelensingel. Dit dwarsprofiel is representatief gesteld voor het gehele gedeelte vanaf de Veerstal tot de Haastrechtse brug.

Het dwarsprofiel DGF-G2 is representatief voor het gedeelte net na de Haastrechtse brug tot aan het eind van de binnenwaarts gelegen Cronjestraat. Uit het grondonderzoek blijkt dat de ondergrond in het achterland hier uit zeer zandige klei bestaat tot een niveau van circa NAP -9,0 m. Onder deze laag bevindt zich wel weer de slappe veenlaag totdat het Pleistocene zand begint op een niveau van circa NAP -14,0 m.

Als laatste is ook de stabiliteit van dwarsprofiel DGF-G4 beschouwd. Dit profiel is zo gekozen dat de Sportlaan zeer laag gelegen is in combinatie met een steil binnentalud (tussen Sportlaan en kruin van de dijk). In dit dwarsprofiel fungeert de Sportlaan als berm van de kering. Ten opzichte van de zandige grondopbouw in het achterland zoals ter hoogte van dwarsprofiel DGF-G2 is waargenomen bestaat hier de ondergrond weer voornamelijk uit humeuze klei en veenlagen.

In tabel 3-7 zijn de resultaten van de stabiliteitsberekeningen opgenomen. De grafische weergave van de glijcirkels is opgenomen in bijlage 4.

Tabel 3-7: Deelgebied F Berekende veiligheidsfactoren STBI - (2065)

Dwarsprofiel	Berekende veiligheid (F_s)	Vereiste veiligheid (F_{min})	Voldoet (ja / nee)
DGF-G1	0,92	1,48	Nee
DGF-G2	1,27	1,48	Nee
DGF-G4	0,87	1,48	Nee

Uit de berekeningen blijkt dat voor het gehele deelgebied niet aan de eisen voor binnenwaartse stabiliteit wordt voldaan. Wel blijkt dat op basis van de betere grondgesteldheid in het achterland direct na de Haastrechtsebrug hier de berekende stabiliteit aanzienlijk hoger ligt.

Opgemerkt wordt echter wel dat het negatieve effect van het binnenwaarts gelegen wiel (net achter de Haastrechtsebrug) in deze stabiliteitsanalyse niet afzonderlijk is beschouwd. Het wiel heeft een zeer nadelig effect op de berekende stabiliteitsfactor, waardoor ook aan dit gedeelte van het deelgebied een onvoldoende oordeel kan worden toegekend.



3.2.5 HERVERDELING FAALKANSRUIMTE

Zoals in het uitgangspuntendocument is aangegeven, kan de schadefactor mogelijk worden gereduceerd tot 1,09 (hiervoor gerekend met 1,14) als de totale faalkansbijdrage voor het mechanisme *Opbarsten en Piping* (24% van de faalkansruimte) wordt aangewend voor *Macrostabieliteit binnenwaarts*.

Bij een schematiseringsfactor van 1,30 reduceert de vereiste veiligheidsfactor dan (bij de methode Bishop) tot 1,42. Bij een schematiseringsfactor van 1,10 reduceert dit een veiligheidsfactor van 1,20.

In tabel 3-8 zijn de resultaten van alle stabiliteitsberekeningen opgenomen, waarbij getoetst is aan beide veiligheidsfactoren.

Tabel 3-8: Berekende veiligheidsfactoren per deelgebied - STBI

Dwarsprofiel	Berekende veiligheid (F_s)	Vereiste veiligheid (F_{min}) $\gamma_b = 1,10$	Voldoet (ja / nee)	Vereiste veiligheid (F_{min}) $\gamma_b = 1,30$	Voldoet (ja / nee)
DGA-G2	2,46	1,20	Ja	1,42	Ja
DGA-G5	2,31	1,20	Ja	1,42	Ja
DGC-G1	1,55	1,20	Ja	1,42	Ja
DGC-G2	0,92	1,20	Nee	1,42	Nee
DGC-G3	0,79	1,20	Nee	1,42	Nee
DGF-G1	0,92	1,20	Nee	1,42	Nee
DGF-G2	1,27	1,20	Ja	1,42	Nee
DGF-G4	0,87	1,20	Nee	1,42	Nee

Uit deze analyse blijkt dat bij een aanpassing van de schematiseringsfactor tot 1,10 voor dwarsprofiel G2 van deelgebied F, wel wordt voldaan aan de vereiste veiligheid.

Uit de uitgevoerde analyses blijkt ook dat de herverdeling van de faalkansruimte niet zal leiden tot een veranderde score in de veiligheidsanalyse voor dit faalmechanisme. Geadviseerd wordt dan ook om geen herverdeling van de faalkansen toe te passen in zowel de veiligheidsanalyse als het ontwerp van de dijkverbetering.

3.2.6 SAMENVATTEND

Uit de verschillende stabiliteitsanalyses voor de deelgebieden blijkt dat voor wat betreft het faalmechanisme *macrostabieliteit binnenwaarts* voor de deelgebieden C en F onvoldoende veiligheid aanwezig is in de bestaande situatie.

Voor deelgebied C geldt dit voor het gedeelte van de waterkering dat direct grenst aan de Hollandse IJssel (dus vanaf de keersluis tot aan het hoogliggende voorland).

Voor deelgebied F geldt dit vanaf het begin van de maalkom van gemaal Hanepraai tot aan de begraafplaats. Waarbij moet worden opgemerkt dat middels het aanscherpen van de schematiseringsfactor voor het gedeelte net na de Haastrechtsebrug tot aan het einde van de Cronjestraat mogelijk wel aan de stabiliteitseisen kan worden voldaan.

Ook blijkt dat de herverdeling van de faalkansanalyse niet zal leiden tot een andere oordeel voor wat betreft dit faalmechanisme in de veiligheidsanalyse.



3.3 MACROSTABILITEIT BUITENWAARTS

Zoals in het uitgangspuntendocument is weergegeven blijkt uit de meest recent onderzoek (door Hydrologic) dat het in het VKA [1] gehanteerde peil na val nog steeds een reëel aanname blijkt. In de veiligheidsanalyse is dan ook gerekend met situatie waarin het peil op de Hollandse IJssel na een periode van maatgevend hoog water plotseling is gedaald tot een niveau van NAP -1,0 m. In de berekening is de waterstand in de waterkering geschematiseerd, zoals deze maximaal is tijdens maatgevend hoogwater, gehandhaafd.

Als eis voor buitenwaartse stabiliteit is conform uitgangspuntendocument [18] en VKA [1] een veiligheidsfactor van 1,21 toegepast voor de deelgebieden A en C. Voor deelgebied D en F is een veiligheidsfactor van 1,31 gehanteerd. Opgemerkt wordt dat hierin wel een aangepaste schematiseringsfactor van respectievelijk 1,13 en 1,22 en een schadefactor van 1,07 is meegerekend. Er is nog geen aanvullend terreinonderzoek uitgevoerd, waardoor deze factoren in deze veiligheidsanalyse zijn overgenomen. Het verdient echter aanbeveling om in de uiteindelijk ontwerpberoeeningen een aanscherping van deze schematiseringsfactor per deelgebied (of zelfs per beschouwd dwarsprofiel) te bepalen.

In onderstaande paragrafen zijn per deelgebied de resultaten van de stabiliteitsanalyse opgenomen.

3.3.1 DEELGEBIED A (SLUISEILAND)

Voor deelgebied A zijn dezelfde twee dwarsprofielen beschouwd als ook voor het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts zijn beschouwd, te weten:

Dwarsprofiel DGA-G02=DWPG02: Noordzijde Sluiseiland.

Dwarsprofiel DGA-G05=DWPG05: Kop Sluiseiland

In tabel 3-9 zijn de resultaten van de stabiliteitsberekeningen opgenomen. De grafische weergave van de glijcirkels is opgenomen in bijlage 5.

Tabel 3-9: Deelgebied A Berekende veiligheidsfactoren STBU

Dwarsprofiel	Berekende veiligheid (F_s)	Vereiste veiligheid (F_{min})	Voldoet (ja / nee)
DGA-G2	1,31 ^{*1}	1,21	Ja
DGA-G5	1,15	1,21	Nee

^{*1} De gepresenteerde glijcirkel snijdt het voorland en niet de kruin van de waterkering. Hiermee is de veiligheid van dit dwarsprofiel nog hoger dan berekend.

Uit de stabiliteitsberekeningen blijkt dat in de huidige situatie voldoende veiligheid is berekend voor het gedeelte van de waterkering dat evenwijdig aan de aardebaan van de N207 is gelegen.

Voor de kop van het sluisseiland (direct grenzend aan de Hollandse IJssel) is echter onvoldoende veiligheid berekend voor het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts.

Opgemerkt wordt dat door de aanleg van de N207 en de tweede sluiscolk van de Julianasluis met name geometrie van het noordelijks gelegen gedeelte van de waterkering niet helemaal exact is te bepalen. Geadviseerd wordt dan ook om voor de ontwerpberoeening een inmeting van de bestaande situatie uit te voeren.



3.3.2 DEELGEBIED C (VAN KEERSLUIS TOT BEDRIJVENTERREIN)

Voor deelgebied C zijn drie dwarsprofielen beschouwd, te weten:

Dwarsprofiel DGC-G1: Tussen keersluis en gemaal

Dwarsprofiel DGC-G2: Langs Hollandse IJssel

Dwarsprofiel DGC-G3: Langs Hollandse IJssel incl. wiel.

Opgemerkt wordt dat voor dwarsprofiel DGC-G1 het bodemniveau van het spuiكوم is ingeschat, omdat hiervan geen metingen van bekend zijn. Het aangenomen bodemniveau bedraagt NAP -3,5 m. Vanuit foto's van de aanleg van het gemaal blijkt dat zowel de taluds als de bodem van de spuiكوم met een steenzetting is bekleed, zie ook figuur 3-1. Onbekend is of deze bekleding nog intact is of dat er mogelijke uitspoeling heeft plaatsgevonden. Daarnaast blijkt ook uit de aanlegfoto's dat er mogelijk een damwandconstructie in de dijken rondom de spuiكوم zijn aangebracht.



Figuur 3-1 Foto van aanleg gemaal Mr. P.A. Pijnacker Hordijk

In tabel 3-10 zijn de resultaten van de stabiliteitsberekeningen opgenomen. De grafische weergave van de glijcirkels is opgenomen in bijlage 6.

Tabel 3-10: Deelgebied C Berekende veiligheidsfactoren STBU

Dwarsprofiel	Berekende veiligheid (F_s)	Vereiste veiligheid (F_{min})	Voldoet (ja / nee)
DGC-G1	1,11	1,21	Nee
DGC-G2	1,19 ^{*1}	1,21	Nee

^{*1} In de berekening is een 'forbidden line' op het buitentalud gelegd. Hierdoor wordt de glijcirkel door buitenteen van de waterkering gedwongen, waarmee een realistischere glijcirkel is berekend.

Uit de berekeningen blijkt dat voor beide beschouwde dwarsprofielen in de bestaande situatie niet aan de stabiliteitseisen wordt voldaan. Daarbij wordt opgemerkt dat de nader (literatuur)onderzoek zal moeten uitwijzen of in de kruin van de keringen rondom de spuiكوم



damwandconstructies aanwezig zijn. Blijken deze aanwezig en nog steeds in een goede staat en/of is de geometrie van de spuikom anders dan geschematiseerd dan kan alsnog een voldoende voor dit gedeelte worden toegekend.

3.3.3 DEELGEBIED D (VAN CRODA TOT MALLEGATSLUIS)

Voor deelgebied D is één representatief dwarsprofiel beschouwd, te weten dwarsprofiel DGD-G3.

In tabel 3-11 is het resultaat van deze stabiliteitsberekening opgenomen. De grafische weergave van de glijcirkel is opgenomen in bijlage 7.

Tabel 3-11: Deelgebied D Berekende veiligheidsfactoren STBU

Dwarsprofiel	Berekende veiligheid (F_s)	Vereiste veiligheid (F_{min})	Voldoet (ja / nee)
DGD-G3	1,01	1,31	Nee

Uit de stabiliteitsberekeningen blijkt dat in de huidige situatie onvoldoende veiligheid is berekend.

3.3.4 DEELGEBIED F (VEERSTAL TOT AAN BEGRAAFPLAATS)

Voor deelgebied F zijn drie dwarsprofielen beschouwd, te weten:

Dwarsprofiel DGF-G1: tussen Veerstal en Haastrechtsebrug

Dwarsprofiel DGF-G2: Na Haastrechtsebrug voor Sportlaan

Dwarsprofiel DGF-G4: Na Haastrechtsebrug met hoogliggend voorland

In Tabel 3-12 zijn de resultaten van de stabiliteitsberekeningen opgenomen. De grafische weergave van de glijcirkels is opgenomen in bijlage 8.

Tabel 3-12: Deelgebied F Berekende veiligheidsfactoren STBU

Dwarsprofiel	Berekende veiligheid (F_s)	Vereiste veiligheid (F_{min})	Voldoet (ja / nee)
DGF-G1	0,91	1,31	Nee
DGF-G2	1,09	1,31	Nee
DGF-G4	1,16	1,31	Nee

Uit de berekeningen blijkt dat voor het gehele deelgebied niet aan de eisen voor buitenwaartse stabiliteit wordt voldaan.

3.3.5 AANPASSING SCHEMATISERINGSFACTOR

Zoals in het uitgangspuntendocument [18] is aangegeven is voor de stabiliteitseisen voor het mechanisme macrostabiliteit buitenwaarts wel gerekend met een gereduceerde schematiseringsfactor. Voor deelgebied A en C is deze gesteld op een factor van 1,13 en voor deelgebied D en F is deze middels berekeningen vastgesteld op 1,22.

Indien de schematiseringsfactor voor alle deelgebieden zou kunnen worden aangescherpt tot een factor van 1,10 zou de vereiste veiligheidsfactor reduceren tot 1,18. In tabel 3-13 zijn de resultaten van alle stabiliteitsberekeningen opgenomen, waarbij getoetst is aan deze gereduceerde veiligheidsfactor.



Tabel 3-13: Berekende veiligheidsfactoren per deelgebied STBU

Dwarsprofiel	Berekende veiligheid (F_s)	Vereiste veiligheid (F_{min}) $\gamma_b = 1,10$	Voldoet (ja / nee)
DGA-G2	1,31	1,18	Ja
DGA-G5	1,15	1,18	Nee
DGC-G1	1,11	1,18	Nee
DGC-G2	1,19	1,18	Ja
DGD-G3	1,01	1,18	Nee
DGF-G1	0,91	1,18	Nee
DGF-G2	1,09	1,18	Nee
DGF-G4	1,16	1,18	Nee

Uit deze analyse blijkt dat bij een aanpassing van de schematiseringsfactor tot 1,10 alleen voor dwarsprofiel G2 in deelgebied C aanvullend een score voldoende aan het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts kan worden toegekend.

3.3.6 SAMENVATTEND

Uit de verschillende stabiliteitsanalyses voor de deelgebieden blijkt dat voor wat betreft het faalmechanisme *macrostabiliteit buitenwaarts* voor alle deelgebieden één of meerdere dwarsprofielen en daarmee voor verschillende gedeelten onvoldoende veiligheid aanwezig is in de bestaande situatie. Hierdoor zullen voor alle deelgebied in meer of mindere mate verbetermaatregelen moeten worden uitgevoerd.

Voor een gedeelte van de sluseiland (deelgebied A evenwijdig aan de N207), de waterkering aan de spuikom van het gemaal (deelgebied C) en de hoger gelegen voorlanden van deelgebied C en voor F wordt net of net niet aan de vereiste veiligheid voldaan. Aanvullende onderzoek (inmeting geometrie en aanvullende terrein- en laboratoriumonderzoek, dat in deze verkenningsfase uitgevoerd gaat worden) kan mogelijk leiden tot een voldoende eindoordeel voor deze gedeelten. Daarbij wordt opgemerkt dat ook het mogelijk kunnen reduceren van de schematiseringsfactor voor met name deelgebied F ook tot een optimalisatie kan leiden.



4 HAASTRECHTSEBRUG

Voor de veiligheidsanalyse van de Haastrechtsebrug is in dit hoofdstuk onderscheidt gemaakt tussen het waterkerende grondlichaam en de aanwezigheid van het landhoofd inclusief fundering. Hierbij is het landhoofd inclusief fundering en vleugelwanden als niet waterkerend object (NWO) beschouwd.

Deze veiligheidsbeschouwing baseert zich met name op de gegevens, zoals zijn opgenomen in de notitie van Grontmij [20]. In bijlage 9 is de dwarsdoorsnede die ook in deze notitie is opgenomen, weergegeven.

Voor de waterkering (grondlichaam) is in paragraaf 3.1 een veiligheidsbeschouwing opgenomen. In paragraaf 3.2 is het landhoofd zelf als NWO beschouwd.

4.1 VEILIGHEIDSBESCHOUWING WATERKEREND GRONDLICHAAM

Voor het waterkerende grondlichaam zijn de volgende faalmechanismen beschouwd:

- Overloop en golfoverslag
- Macrostabieliteit binnenwaarts
- Macrostabieliteit buitenwaarts

4.1.1 OVERLOOP EN GOLFOVERSLAG

Op basis van de door Hydrologic [19] afgeleide hydraulische belastingniveaus zijn in het uitgangspuntendocument de minimaal benodigde kruinhoogten voor de situatie ter hoogte van de Haastrechtsebrug voor de zichtjaren 2065 en 2115 (planperiode van 50 en 100 jaar) bepaald. Hiervoor is door Hydrologic uitvoerlocatie 8 in Hydra-BS gebruikt.

Hieruit blijken de volgende minimaal benodigde kruinhoogten:

- 2065: NAP +3,62 m + 0,55 m = NAP+4,17 m;
- 2115: NAP +3,70 m + 1,10 m = NAP +4,80 m.

Uit de hoogtemeting, waarvan de resultaten zijn weergegeven in de overzichtstekening in bijlage 1 blijkt dat de minimaal aanwezige kruinhoogte circa NAP +4,27 m à NAP +4,38 m bedraagt. Daarmee wordt voldaan aan de hoogte-eisen voor een planperiode van 50 jaar, zoals geldig is voor een 'groene' waterkering.

Voor een planperiode van 100 jaar is een kruinhoogtetekort van circa 0,4 à 0,5 m aanwezig. Echter vanwege de aanwezigheid van de brug zal periodieke verhoging van de dijk ter plaatse moeten worden uitgevoerd, zodat een onvoldoende kruinhoogte voor dit gedeelte niet zal ontstaan.



4.1.2 MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS

Het representatieve binnenwaartse geometrie van de Haastrechtsebrug komt overeen met het beschouwde dwarsprofiel DGF-G1. Echter ten opzichte van dit dwarsprofiel is in achterland een wiel aanwezig.

Zoals reeds in paragraaf 3.2.4 is opgemerkt heeft dit wiel een extra negatieve invloed op het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts, waardoor voor dit gedeelte ook een onvoldoende oordeel geldt.

4.1.3 MACROSTABILITEIT BUITENWAARTS

De exacte afmetingen van het buitentalud onder de Haastrechtsebrug zijn niet bekend. Het is, vanwege zettingen en mogelijke aanpassingen aan het talud in de loop van de jaren, niet te verwachten dat de geometrie nog aanwezig is zoals in de dwarsdoorsnede van de Haastrechtsebrug in bijlage 9 is weergegeven. Het verdient aanbeveling om het buitentalud inclusief de waterbodem van de Hollandse IJssel voor de vervolgfase van het dijkversterkingsproject ter plaatse in te meten.

Vooralsnog is er in deze veiligheidsanalyse vanuit gegaan dat het aanwezige buitentalud dezelfde geometrie heeft, als de naastgelegen dijkgedeelten. Uit de veiligheidsanalyse is gebleken dat voor deze delen onvoldoende veiligheid voor het faalmechanisme *macrostabiliteit buitenwaarts* aanwezig is, zodat dit ook voor het buitentalud onder de Haastrechtsebrug geldig is.

Opgemerkt wordt dat nadat de geometrie van het talud is ingemeten het aan te bevelen is om een stabiliteitsanalyse met een eindig elementen programma (bv. Plaxis) uit te voeren. Op deze manier kan de stabiliteitsvergrotende werking van de fundering van het landhoofd als ook de belastingafdracht van de verkeersbelasting en het landhoofd zelf, beter gemodelleerd worden, dan mogelijk is met het programma D-Geostability.

4.2 LANDHOOFD HAASTRECHTSEBRUG

Zoals op dwarsdoorsnede in bijlage 9 is aangegeven, bestaat het landhoofd en de aan weerszijden aanwezige vleugelwanden uit een betonnen constructie, welke middels prefab betonnen palen in schoorstand is gefundeerd in de vaste zandlaag. De constructie is daarmee zettingsvrij.

Als gevolg van achtergrondzettingen bestaat de mogelijkheid dat het buitentalud onder de onderzijde van het landhoofd wegzakt, waardoor holle ruimten onder het landhoofd kunnen ontstaan. Bij hoge waterstanden op de Hollandse IJssel kan dit er toe leiden dat er relatief gemakkelijk water in het dijklichaam kan infiltreren. Dit proces kan mogelijk versneld worden doordat de kern van de dijk in de loop van de jaren met allerlei (mogelijk doorlatende) materialen is opgebouwd.

Uitgaande van prefab (grondverdringende) funderingspalen en een stabiel landhoofd zal er geen kortsluiting van het buitenwater (Hollandse IJssel) met de watervoerende zandlaag kunnen ontstaan. In toetsing [5] is aanwezigheid van hydraulische weerstand op bodem van de Hollandse IJssel al aangetoond. Deze kortsluiting zal dan ook niet leiden tot het verhogen van de grondwaterpotentiaal in deze zandlaag, waardoor dit niet tot extra negatieve invloeden voor de faalmechanismen *opbarsten en piping* en *macrostabiliteit binnenwaarts* zal kunnen leiden.

Het is onbekend of er een bekleding (gezette steenbekleding) aanwezig is onder de Haastrechtse brug en of deze nog intact is. Het is aan te bevelen om bij het inmeten van het



buitentalud hier nader onderzoek naar te doen. Ondanks de geringe stroomsnelheden en de golfbelastingen is een steenbekleding of bestorting noodzakelijk, omdat vanwege de schaduwwerking van de brug zelf, een grasbekleding zich niet zal ontwikkelen.

4.3 SAMENVATTEND

Samenvattend kan gesteld worden dat ter plaatse van de Haastrechtsebrug voldoende kruinhoogte aanwezig is en in de toekomst blijft. Voor zowel de faalmechanismen Macrostabieliteit binnenwaarts als buitenwaarts is echter geen voldoende eindscore voor het grondlichaam te geven.

Het landhoofd, dat zich op dit moment als niet waterkerend object in de waterkering bevindt, zal op zich de veiligheid van de waterkering niet negatief beïnvloeden. Echter zal de aansluiting van het buitentalud op het landhoofd als ook de bekleding van het buitentalud, moeten worden ingemeten om hiervoor ook een veiligheidsoordeel te geven.

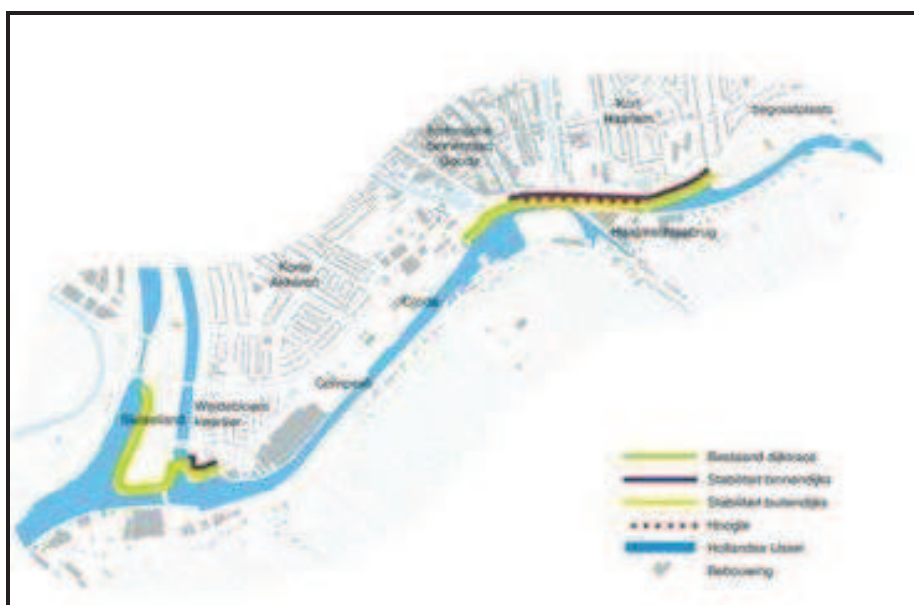


5 CONCLUSIE

In dit rapport is de nader uitwerking van het veiligheidsprobleem opgenomen om de opgave zoals bepaald in 2008 te actualiseren aan de meest recente inzichten. Als basis voor deze veiligheidsanalyse zijn de uitgangspunten gebruikt, zoals zijn opgenomen in het uitgangspuntendocument [18]. Ten opzichte van 2008 zijn met name het nieuwe hydraulische belastingmodel, nieuwe normering (overschrijdingskans naar overstromingskans) en enkele sterkteparameters van de ondergrond aangepast.

Door Greenrivers BV zijn de waterkeringen (excl. waterkerende kunstwerken) van de urgent aangemerkte delen beschouwd.

In figuur 5-1 is het resultaat van de veiligheidsanalyse opgenomen. Dit figuur is overgenomen uit het MER. Het resultaat is ook samengevat in tabel 5-1.



Figuur 5-1 Overzicht resultaten veiligheidsanalyse (bron: MER)

Tabel 5-1: Resultaten veiligheidsanalyse

Deelgebied	Overloop en overslag	Macrostabieliteit binnenwaarts	Macrostabieliteit buitenwaarts
A (Julianasluis)	Onvoldoende	Voldoende	Onvoldoende
A (kop sluseiland)	Onvoldoende	Voldoende	Onvoldoende
C	Onvoldoende	Onvoldoende	Onvoldoende
D	Voldoende	Onvoldoende	Onvoldoende
F-1 (tot aan Haastrechtse brug)	Onvoldoende	Onvoldoende	Onvoldoende
F-2 (tussen brug en begraafplaats)	Onvoldoende	Onvoldoende	Onvoldoende
Haastrechtsebrug	Voldoende	Onvoldoende	Onvoldoende
F-2 (tussen brug en begraafplaats)	Onvoldoende	Onvoldoende	Onvoldoende

Uit veiligheidsanalyse blijkt dat alle deelgebieden op een of meerdere faalmechanisme niet aan de vereiste veiligheid voldoen. Opgemerkt wordt dat er binnen de deelgebieden wel gedeelten zijn die aan de eisen voldoen.



LITERATUURLIJST

- [1] Grontmij, 2013 – Dijkversterking IJsseldijk te Gouda, Geotechnisch voorontwerp (VO) groene dijken en kadeconstructies, definitief, GM-0089526, Grontmij Nederland bv, 31 januari 2013
- [2] RWS, 2014 - Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, Rijkswaterstaat, ministerie van Infrastructuur en Milieu, definitief, versie 2.0, april 2014
- [3] RWS/ENW, 2007 – Leidraad Rivieren + Addendum, Ministerie van verkeer en Waterstaat / Expertise Netwerk Waterkeren, DGW/GF 2007/836, juli 2007
- [4] TAW, 2004 – Leidraad Kunstwerken, Technische adviescommissie voor de waterkeringen (TAW), mei 2003
- [5] Witbo, 2009 – Veiligheidstoetsing Goejanverwelledijk, Witteveen + Bos, GD104-1, 28 november 2009
- [6] CUR 166, 2005 – Damwandconstructie, CUR166, 4^{de} druk, oktober 2005
- [7] NNI, 2006 – Basiseisen en belastingen NEN6740 (TGB1990), geotechniek, Nederland Normalisatie Instituut, 2^{de} druk, september 2006
- [8] Haskoning, 2012 – Uitgangspunten DO Dijkversterking, Royal Haskoning/DHV, definitief rapport, 9V6281.G0/R0001_rev3/MvG/NTEK/Rott, 27 juli 2012
- [9] TAW, 2001 – Technisch rapport Waterkerende grondconstructies (TRWG) + addendum, geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemdijken, Technische adviescommissie voor de waterkeringen (TAW), juni 2001
- [10] ENW, 2012 – Technisch rapport Grondmechanisch schematiseren bij dijken, Expertise Netwerk Waterkeringen, oktober 2012
- [11] Deltares, 2013 – Concept Technisch rapport Macrostabieleit, Deltares, 1204203-007-GEO-0003-gbh, 2013
- [12] ENW, 2013 – Technisch rapport Analyse Macrostabieleit met de Eindige Elementen Methode (TREEEM)
- [13] TAW, 2003 – Technisch rapport Asfalt voor Waterkeren, Technische adviescommissie voor de waterkeringen, 2002
- [14] STOWA, 2010 – State of art Asfaltbekledingen, Stichting toegepast onderzoek waterbeheer, 2010
- [15] TAW, 2004 – Technisch rapport Kistdammen en Diepwanden in Waterkeringen, TR22, Technische adviescommissie voor de waterkeringen, november 2004
- [16] www.AHN.nl – Algemeen hoogtebestand Nederland



- [17] TAW, Technisch rapport waterspanningen bij dijken, Technische adviescommissie voor de waterkeringen, 1 september 2004
- [18] Greenrivers, 2014, Uitgangspunten Gouda, IJsseldijk – verkenningsfase dijkversterking Gouda IJsseldijk, P14-012.01, definitief, oktober 2014
- [19] Hydrologic, 2014, Uitgangspunten en resultaten HydraBS analyse Hollandsche IJssel, Hydra BS en inundatie IJsseldijk Gouda, P626, 25 juni 2014
- [20] Grontmij, 2011, Aanpassingen Haastrechtsebrug te Gouda, T&M-1032935-HvE/lk, kenmerk 232568, 22 november 2011

