deelrapportage dijkstabiliteit

Witteveen+Bos
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
0570 69 79 11
www.witteveenbos.nl

onderwerp	effectbeoordeling dijkstabiliteit ten behoeve van ProjectMER Overnachtingshaven Lobith
opdrachtgever	projectteam Overnachtingshaven Lobith
referentie	AH660-1-227/15-018.668
opgemaakt door	ir. P.E.M. Schoonen
goedgekeurd door	drs. J.M. van Nieuwpoort
status	definitief
datum opmaak	13 november 2015

paraaf

INHOUDSOPGAVE **blz.**

1. KADERS VOOR HET MER 1
1.1. Wet- en regelgeving 1
1.2. Beleidskader 1
1.3. Beoordelingskader 2
1.4. Werkwijze 3
1.4.1. Werkwijze algemeen 3
1.4.2. Plan- en studiegebied 4

2. HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELINGEN TUINDORP 5
2.1. Beschrijving huidige situatie 5
2.2. Beschrijving autonome ontwikkelingen 7
2.3. Referentiesituatie 12

3. BESCHOUWING WATERVEILIGHEID TUINDORP INRICHTINGSVARIANTEN 12
3.1. Macrostabiliteit buitenwaarts 12
3.1.1. Uitgangspunten 12
3.1.2. Huidige situatie 13
3.1.3. Toekomstige situatie 14
3.2. Piping 15
3.3. Golfoploop en golfoverslag 15
3.3.1. Huidige situatie 15
3.3.2. Toekomstige situatie 15
3.4. Benodigde aanpassingen aan waterkering om aan normen en leidraden te voldoen 16

4. EFFECTEN VARIANTEN EN MITIGATIE EN COMPENSATIE TUINDORP 17
4.1. Effecten varianten 17
4.1.1. Effectbeschrijving waterveiligheid 17
4.1.2. Uitbreidbaarheid 17
4.1.3. Toekomstvastheid 18
4.1.4. Overzicht effectbeoordeling 18
4.1.5. Conclusies 18

4.2. Mitigatie en compensatie 18

5. BESCHOUWING WATERVEILIGHEID TUINDORP VOORKEURSVARIANT 18
5.1. Macrostabiliteit buitenwaarts 19
5.1.1. Uitgangspunten 19
5.1.2. Huidige situatie 19
5.1.3. Voorkeursvariant 20
5.2. Piping 21
5.3. Golfoploop en golfoverslag 22
5.3.1. Huidige situatie 22
5.3.2. Voorkeursvariant 22
5.4. Benodigde aanpassingen aan waterkering om aan normen en leidraden te voldoen 22

6. GEHONOREERDE MITIGATIE EN COMPENSATIE EN EFFECTEN VOORKEURSVARIANT TUINDORP 23
6.1. Gehonoreerde mitigatie en compensatie 23
6.2. Effecten voorkeursvariant 23
6.2.1. Waterveiligheid 23
6.2.2. Uitbreidbaarheid 23
6.2.3. Toekomstvastheid 23
6.2.4. Overzicht effectbeoordeling en conclusie 23

7. HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELINGEN SPIJK 24
7.1. Beschrijving huidige situatie 24
7.2. Beschrijving autonome ontwikkelingen 25
7.3. Referentiesituatie 26

8. BESCHOUWING WATERVEILIGHEID SPIJK INRICHTINGSVARIANTEN 26
8.1. Macrostabiliteit 27
8.1.1. Uitgangspunten 27
8.1.2. Huidige situatie 29
8.1.3. Toekomstige situatie 30
8.2. Piping 33
8.3. Golfoploop en golfoverslag 34
8.4. Uitbreidbaarheid en toekomstvastheid 35
8.5. Benodigde aanpassingen aan waterkering om aan normen en leidraden te voldoen 35

9. EFFECTEN VARIANTEN EN MITIGATIE EN COMPENSATIE SPIJK 36
9.1. Effecten varianten 36
9.1.1. Effectbeschrijving waterveiligheid 36
9.1.2. Effectbeschrijving uitbreidbaarheid 37
9.1.3. Effectbeschrijving toekomstvastheid 37
9.1.4. Overzicht effectbeoordeling 38
9.1.5. Conclusies 39
9.2. Mitigatie en compensatie 39

10. BESCHOUWING WATERVEILIGHEID SPIJK VOORKEURSVARIANT EN FIETSPAD 39
10.1. Macrostabiliteit 40
10.1.1. Uitgangspunten 40
10.1.2. Huidige situatie 40

10.1.3. Na aanleg Overnachtingshaven Spijk 41
10.1.4. Stabiliteit na lokale ontgronding 41
10.2. Piping 42
10.3. Golfoploop en golfoverslag 43
10.4. Stabiliteit bekleding 43
10.5. Uitbreidbaarheid en toekomstvastheid 44
10.6. Benodigde aanpassingen aan waterkering om aan normen en leidraden te voldoen 45

11. GEHONOREERDE MITIGATIE EN COMPENSATIE EN EFFECTEN VOORKEURSVARIANT SPIJK EN FIETSPAD 45
11.1. Gehonoreerde mitigatie en compensatie 45
11.2. Effecten voorkeursvariant Overnachtingshaven Spijk 45
11.2.1. Waterveiligheid 45
11.2.2. Uitbreidbaarheid 46
11.2.3. Toekomstvastheid 46
11.2.4. Overzicht effectbeoordeling en conclusie 46
11.3. Compenserende maatregelen 47

12. LEEMTEN IN KENNIS 47

laatste bladzijde **47**

BIJLAGEN
I Leggerprofielen primaire waterkering (Spijk)
II Eisen uit de keur
III Golfoverslag berekeningen
IV Maatgevende glijcirkels huidige situatie
V Maatgevende glijcirkels nieuwe situatie
VI Notitie ontwerp taluidbekleding
VII Maatgevende glijcirkels bij ontgrondingen door schroefstraalstroming

Leeswijzer
Deze deelrapportage maakt integraal deel uit van het ProjectMER Overnachtingshaven Lobith. Het doel van het project en de beschrijving van de inrichtingsvarianten en de voorkeursvariant is opgenomen in de hoofdtekst van het ProjectMER.

1. KADERS VOOR HET MER

In dit hoofdstuk is eerst ingegaan op het wettelijk en beleidskader vanuit het thema dijkstabiliteit. Vervolgens op het gehanteerde beoordelingskader, de methodiek en het studiegebied vanuit dit thema.

1.1. Wet- en regelgeving

Tabel 1.1 presenteert het wettelijk kader dat van toepassing is op het thema waterveiligheid. Per wettelijke regel geeft de tabel een korte omschrijving van de inhoud en de relevantie voor het project Overnachtingshaven Lobith.

Tabel 1.1. Wet- en regelgeving dijkstabiliteit (waterkeringen)

wet-/regelgeving	omschrijving	relevantie voor project
Waterwet	De Waterwet regelt de zorg voor waterkeringen en verbetert ook de samenhang tussen bijvoorbeeld het waterbeheer en de ruimtelijke ordening. De waterwet is de wettelijke verankering van de zorg voor waterkeringen.	- algemene en specifieke regels voor het aanbrengen van wijzigingen in het watersysteem, waaronder wijzigingen aan de primaire en regionale waterkeringen. Hieronder vallen ook het Wettelijk Toetsingsinstrumentarium (WTI) en het ontwerpinstrumentarium (OI).
Keur Waterschap Rijn en IJssel 2009	De keur Waterschap Rijn en IJssel 2009 heeft haar wettelijke grond in de Waterschapswet.	- het is verboden zonder vergunning van het bestuur gebruik te maken van de kernzone en/of beschermingszone van een waterstaatswerk door, anders dan in overeenstemming met de functie, daarin, daarop, daarboven, daarover of daaronder werken aan te brengen, te hebben of te verwijderen; - het is verboden zonder vergunning van het bestuur in, op, onder of boven de buitenbeschermingszone afgravingen te verrichten.

1.2. Beleidskader

Tabel 1.2 presenteert de beleidsdocumenten die van toepassing zijn op het thema dijkstabiliteit. Per richtlijn geeft de tabel een korte omschrijving van de inhoud en de relevantie voor het project overnachtingshaven Lobith.

Tabel 1.2. Beleid en toekomstige ontwikkelingen voor het thema dijkstabiliteit

richtlijn	omschrijving	relevantie voor Lobith
Deltaprogramma	In het kader van het Deltaprogramma Rivieren is een aantal kansrijke strategieën verkend. Eén van deze strategieën maakt onderdeel van het idee Ruimte voor de Rivier plus. Daarin wordt het Rijnstrangengebied op termijn ingezet als retentiegebied/bypass. Voor het Rijnstrangengebied wordt een pilot ontwikkelingsgericht reserveren gestart.	'Deze strategie bestaat uit maatregelen die de rivier meer ruimte geven. Hiertoe behoren buitendijkse maatregelen, waaronder in een aantal regio's ook zomerbedverlaging en binnendijkse maatregelen, zoals dijkverlegging en retentie'. Voor de Rijntakken is onder andere het binnendijkse gebied tussen Spijk-Tolkamer

richtlijn	omschrijving	relevantie voor Lobith
		en Loo (de 'Rijnstrangen') gereserveerd als mogelijk retentiegebied. De locatie voor de nieuwe overnachtingshaven bij Spijk raakt de gebiedsreservering 'Rijnstrangen' formeel niet. Wel is de Beijenwaard aangeduid als één van de mogelijke locaties voor de doorlaat van rivierwater naar achterliggend retentiegebied.[1]
Nieuwe normering en een nieuw wettelijk toets- en ontwerpinstrumentarium (valt ook onder het deltaprogramma)	De huidige veiligheidsnormen worden herijkt. Deze herijking is nodig gebleken: vanwege de toename van de bevolking, en de veel grotere economische waarde achter de dijken en vanwege de wens om dijkverbeteringen harmonisch in te passen in het landschap, rekening houdend met natuurlijke en cultuurhistorische waarden. Tot slot ook vanwege de klimaatverandering met meer water en wind. Najaar 2014 is de nieuwe veiligheidnormering gepresenteerd, waarna deze in de loop van de jaren erna zal worden verankerd in nieuwe wetgeving.	Wanneer de normering van de primaire waterkeringen wordt aangescherpt kan het zijn dat de primaire waterkering achter de Beijenwaard niet meer voldoet. Concept nieuwe normering en OI2014 laten nu zien dat de dijk niet zal voldoen. Er is een doorkijk gemaakt om te bepalen of OHL toekomstige verbetering blokkeert of dat er meekoppelkansen zijn.
Besluit algemene regels ruimtelijke ordening (Barro)	Aangezien de ruimtelijke inpassing van dit Rijksproject geschiedt door middel van een provinciaal inpassingplan is het Barro van toepassing. Voor het project Overnachtingshaven Lobith zijn de bepalingen van titel 2.4 van het Barro relevant, onder andere ten aanzien van: - 'Gebiedsreservering voor de lange termijn voor de Rijntakken' (artikelen 2.4.6 en 2.4.7); - Bestemmingswijzigingen in het 'stroomvoerend deel van het rivierbed' (artikelen 2.4.2 tot en met 2.4.5).	Er worden eisen gesteld ten aanzien van het veilig en doelmatig gebruik van het water-lichaam, de afvoercapaciteit en het bergend vermogen van de rivier en de ecologische toestand van het oppervlaktewaterlichaam. Er dient rekening te worden gehouden met de mogelijke opstuwende werking van een nieuwe haven in de Beijenwaard en de andere vereisten uit artikel 2.4.3 van het Barro. Er is afgesproken te komen tot een gecoördineerde aanpak inzake de ruimtereservering voor de verschillende activiteiten, zoals bijvoorbeeld de opgaven voor natuurcompensatie die vanuit de verschillende projecten (ViA15, overnachtingshaven Lobith en Natuuropgave provincie) in het gebied spelen.

1.3. Beoordelingskader

Binnen het MER worden voor het thema dijkstabiliteit de aspecten uit tabel 1.3 beoordeeld. De beoordeling van de overnachtingshaven vindt voor alle drie de aspecten plaats.

[1] Vooralsnog houden we in de afweging naar een voorkeursvariant voor Spijk geen rekening met de eventuele belemmeringen van de inrichting/locatie voor de hydraulische effectiviteit van een eventuele toekomstige overlaat vanwege de onzekerheden in de plannen.

Tabel 1.3. Beoordelingsaspecten en criteria

criterium	omschrijving	wijze beoordeling
waterveiligheid	stabiliteit van de dijk	De veiligheid van de waterkering mag niet afnemen. Afname dient te worden gecompenseerd. De grootte van de compensatie voor de waterveiligheid volgt uit de toetsing, deze is opgenomen in de hoofdstukken 3, 5, 8 en 10. Indien compensatie nodig is, is de variant negatief beoordeeld op dit thema, in alle andere gevallen neutraal.
uitbreidbaarheid	of het profiel van vrije ruimte wordt doorsneden	Varianten die het profiel van vrije ruimte doorsnijden zullen een negatieve beoordeling krijgen.
toekomstvastheid	of de dijk ook in de toekomst aan de nieuwe normering blijft voldoen	Varianten die op grotere afstand liggen van de dijk scoren beter ten aanzien van toekomstvastheid en zullen daarmee een positieve beoordeling krijgen.

Tabel 1.4. Beoordeling dijkstabiliteit ten opzichte van referentiesituatie

score	maatlat
--	sterk negatief, sterke afname van waterveiligheid en/of geen ruimte voor uitbreiding of aanpassing aan de nieuwe norm
-	negatief, kleine afname van waterveiligheid en/of kleinere oplossingsruimte voor uitbreiding of aanpassing aan de nieuwe norm
0	neutraal, geen wijziging in veiligheid, uitbreidbaarheid of toekomstvastheid
+	positief, lichte toename van waterveiligheid en/of beperkte toename oplossingsruimte voor uitbreiding of aanpassing aan de nieuwe norm
++	sterk positief, grote toename van waterveiligheid en/of toename oplossingsruimte voor uitbreiding of aanpassing aan de nieuwe norm

1.4. Werkwijze

Het doel van dit rapport is tweeledig:
1. een beoordeling van de effecten van OHL op het de waterveiligheid van omringende dijken ten behoeve van de MER;
2. een onderbouwing van het PIP met dat de OHL voldoet aan de wet- en regelgeving rondom het thema waterveiligheid.

1.4.1. Werkwijze algemeen

Voor zowel de effectbeoordeling als de onderbouwing bij vergunningaanvragen dient onderzocht te worden in hoeverre de varianten voor OHL de dijkstabiliteit en daarmee de veiligheid van de dijk beïnvloed. Hiertoe is een veiligheidstoetsing uitgevoerd conform de geldende normen en leidraden van TAW/ENW.

Vanuit wetgeving is een verslechtering van de dijkveiligheid tot onder de norm niet toegestaan. Indien een dergelijke verslechtering wel optreedt, brengt deze eis een veiligheidsopgave met zich mee. De grootte van deze opgave volgt uit de veiligheids-toetsing die voor Tuindorp is opgenomen in hoofdstuk 3 en hoofdstuk 5 en voor de Spijksedijk in hoofdstuk 8 en hoofdstuk 10. Uit deze veiligheidstoetsing blijkt of er eventueel mitigerende of compenserende maatregelen nodig zijn per variant, of dat de veiligheids-marge afneemt.

Werkwijze doel 1
Op basis van de veiligheidstoetsing is een onderscheid gemaakt tussen de varianten. Indien de veiligheidsmarge afneemt of indien de benodigde maatregelen relatief groot zijn, scoort een variant negatief op het thema waterveiligheid. In het MER is een kwalitatieve beoordeling toereikend voor de afweging van de varianten. In de vorige fase (MIRT 2) is door CSO-Lievense een beoordeling van de verschillende locatiealternatieven uitgevoerd, waaronder van de locaties Beijenwaard en Tuindorp. Hieruit is gebleken dat de effecten voor dijkstabiliteit niet onderscheidend zijn en dat er geen significante negatieve effecten op de stabiliteit van de bestaande waterkeringen optreden.

Voor uitbreidbaarheid is gekeken naar het in de legger gedefinieerde profiel van vrije ruimte, hier is geen tijdshorizon aan gekoppeld. Ten aanzien van toekomstvastheid is gekeken of de dijk ook voldoet aan de nieuwe normering, welke vanaf 2017 gaat gelden.

Werkwijze doel 2
Als onderdeel van het PIP worden (concept) vergunningaanvragen opgesteld, de onderbouwing hiervan ten aanzien van de waterkering wordt in een separaat overleg afgestemd met provincie en waterschap.

Het rapport dient als onderbouwing voor het thema waterveiligheid. Daarvoor is eerst gekeken of de ingreep vergunningplichtig is. Met behulp van de leggerdwarsprofielen en begrenzing van de kern, beschermings- en buitenbeschermingszone en de algemene regels van de keur wordt beoordeeld of de varianten vergunningplichtig zijn in het kader van de keur van waterschap Rijn en IJssel.

De verslechteringstoets is daarna aan waterschap Rijn en IJssel ter toetsing voorgelegd voor de werkzaamheden die gepland zijn binnen de keurzone van de primaire waterkering Spijksedijk (Beijenwaard) en regionale kering (Tuindorp). Verslechtering ter plaatse van de keringen langs de Oude Waal en langs de zomerkades zijn niet te verwachten.

1.4.2. Plan- en studiegebied

Het plangebied omvat het gebied waarin naar verwachting daadwerkelijk ingrepen zullen plaatsvinden. In afbeelding 1.1 is het plangebied weergegeven, zoals die is voortgekomen uit de MIRT2-fase als voorkeurslocaties. Het plangebied is gelegen in de gemeente Rijnwaarden, dat onderdeel vormt van de Stadsregio Arnhem Nijmegen en is onderverdeeld in twee delen. De voorkeurslocatie Beijenwaard is gelegen tussen het dorp Spijk en de loswal Wezendonk. De voorkeurslocatie Tuindorp is gelegen ten westen van de wijk Tuindorp dat behoort bij het dorp Tolkamer.

Het studiegebied omvat het gebied waar mogelijk effecten te verwachten zijn. Dit omvat de rivier de Rijn tot enkele kilometers stroomop- en afwaarts van de voorkeurslocaties. Binnendijks wordt het studiegebied bepaald door de te verwachten effecten op het grondwatersysteem. Uit de resultaten van de grondwatermodelberekeningen in de MIRT2 fase (Pfaff-Wagenaar, 2013[1]) blijkt dat zich dat tot op circa 2 kilometer in noord, oost en westelijke richting uitstrekt rondom de Beijenwaard. Aangezien in de MIRT2 fase werd uitgegaan van een grotere haven vormt dit invloedsgebied naar verwachting het maximale invloedsgebied voor de MIRT3 fase.

[1] Achtergronddocument grondwatereffecten. CSO 13M3011-015.

Voor de locatie Tuindorp wordt gecontroleerd of er negatieve effecten op de regionale kering te verwachten zijn als gevolg van eventuele baggerwerkzaamheden. De noodzaak van baggerwerkzaamheden wordt in het havenontwerp bepaald tijdens de variant-uitwerking.

Afbeelding 1.1. Plangebied modernisering Tuindorp en Beijenwaard buitendijks

2. HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELINGEN TUINDORP

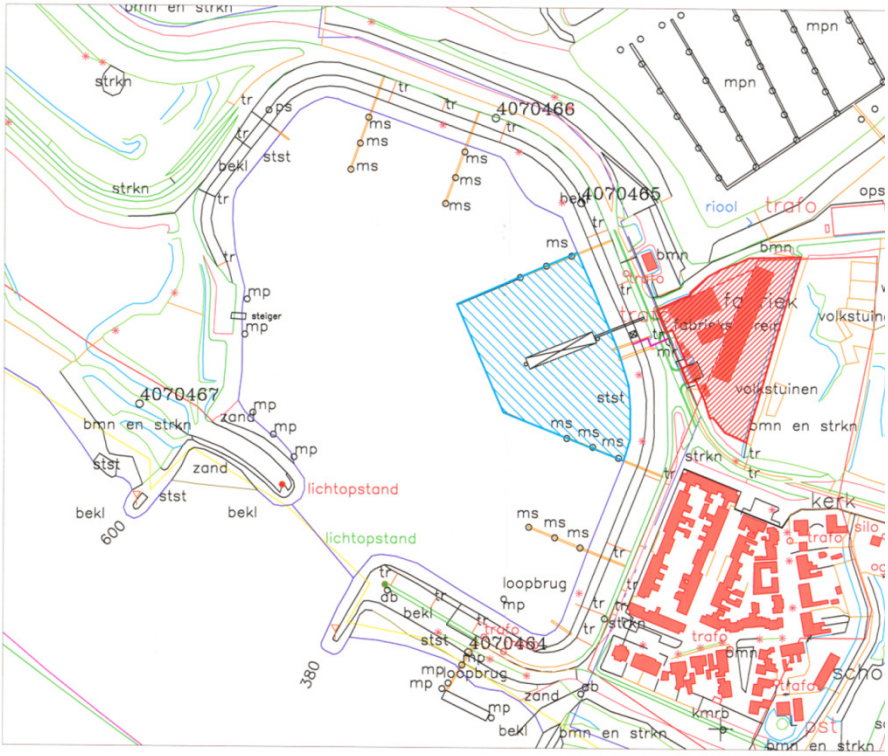
In dit hoofdstuk worden de huidige situatie en toekomstige ontwikkelingen beschreven voor Tuindorp. De beschrijvingen zijn erop gericht de effecten van de overnachtingshaven Lobith op dijkstabiliteit zo goed mogelijk in beeld te brengen. De beschrijving van de huidige situatie en autonome ontwikkelingen vormen samen de referentiesituatie. De effecten van de inrichtingsvarianten worden in hoofdstuk 4 vergeleken met deze referentiesituatie.

2.1. Beschrijving huidige situatie

De bestaande haven bij Tuindorp staat bekend als ‘Vluchthaven Lobith’ en ligt aan de Noordoever van de Rijn, bij rivierkilometer 863. De vluchthaven ligt direct ten westen van de bebouwde kom van Tuindorp (zie afbeelding 2.1). De haven is al wat ouder, wat onder meer te merken is aan de vrij smalle invaart, die lastig is voor grote schepen. In de haven bevinden zich vijf overnachtingssteigers, waarvan steiger 5 bestemd is voor een categorie schepen met een gevaarlijke lading, de zogenoemde één-kegelschepen. In de haven bevinden zich tevens een steiger van een scheepsmotorenreparatiebedrijf, een klein ponton van de dienstkring van RWS, een particuliere loswal en enige vrijstaande palen. Benedenstrooms van de vluchthaven is er een ankerplaats voor kegelschepen. De overnachtingshaven ligt aan de openbare weg, alwaar straatverlichting aanwezig is. De afloopvoorzieningen van de steigers komen uit op de dijk en zijn dus hoogwatervrij. Er is geen walstroom.

Afbeelding 2.1. Situatie Tuindorp

Afbeelding 2.2. Vergunde situatie Markerink



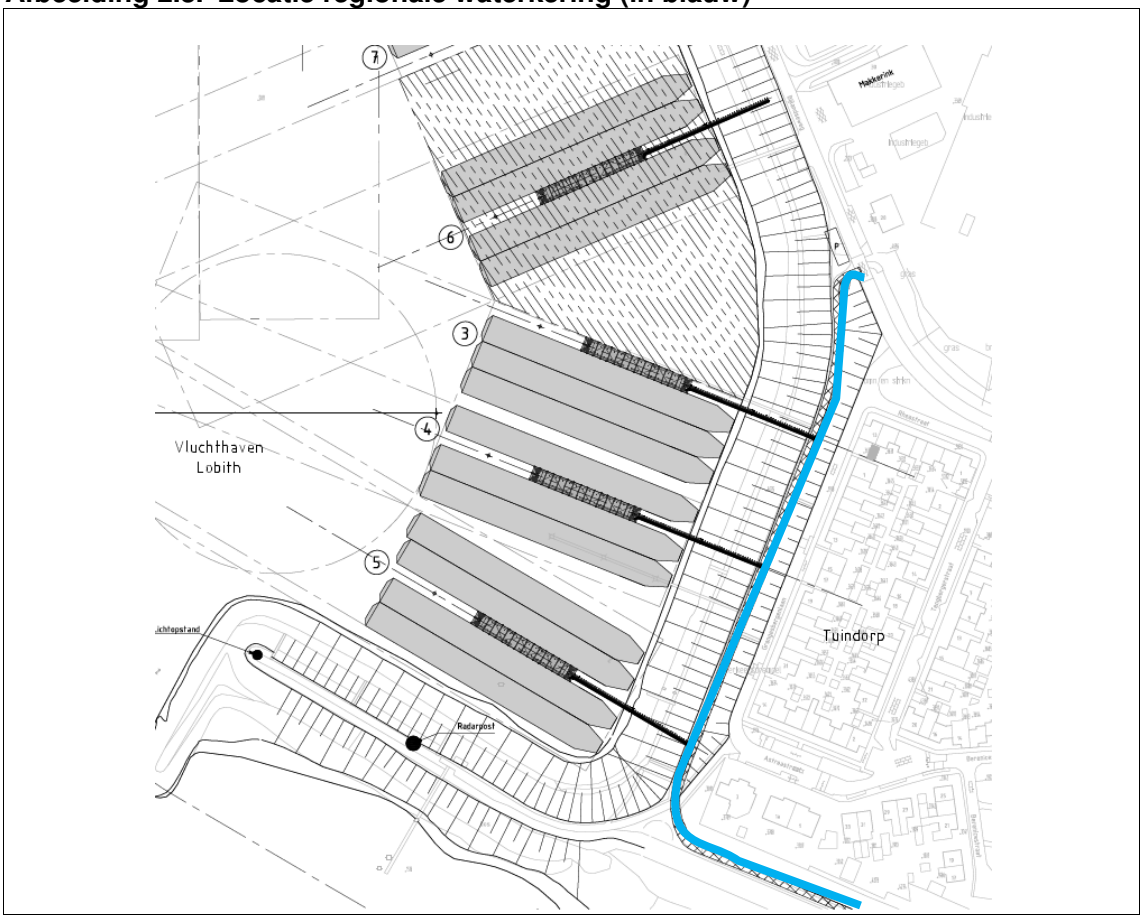
In het blauw gearceerde gebied heeft het bedrijf Markerink vergunning om in reparatie zijnde schepen een ligplaats te geven.

De haven heeft een theoretische capaciteit voor 23 schepen en 2 schepen met één kegel. De totale ligplaatscapaciteit is dankzij de ligging van de steigers afhankelijk van de creativiteit van de schippers die af willen meren, van de lengte van de schepen, van de

diepgang van de schepen (geladen schepen kunnen minder ver met de kop bij de wal komen, vergen meer lengte).

Tussen de vluchthaven en de bebouwde kom van Tuindorp is een regionale kering aanwezig. De locatie van de regionale kering is in het blauw weergegeven in afbeelding 2.3. De primaire kering loopt vanaf de andere zijde van Tuindorp om De Bijland heen. De primaire kering bevindt zich dus op relatief grote afstand van de vluchthaven. De optimalisering van de vluchthaven zal dan ook geen effect hebben op de primaire kering.

Afbeelding 2.3. Locatie regionale waterkering (in blauw)



2.2. Beschrijving autonome ontwikkelingen

De volgende autonome ontwikkelingen worden in het effectenonderzoek voor de ProjectMER in beschouwing genomen:

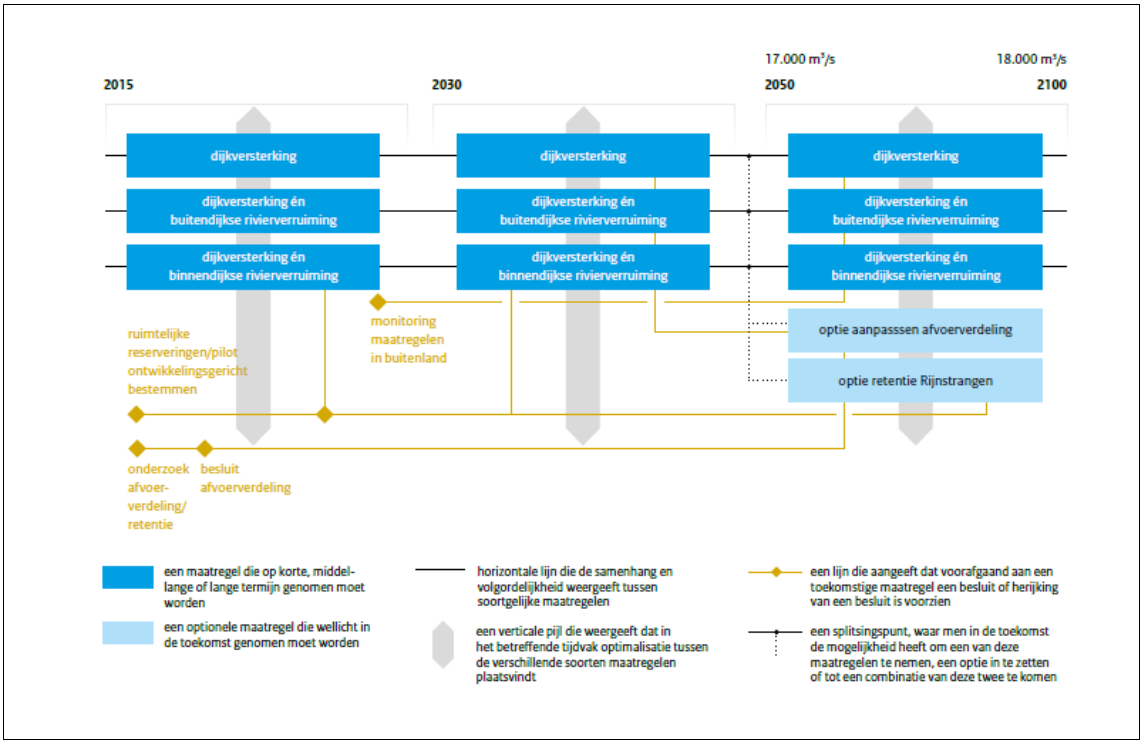
- ontwikkeling Millingerwaard (waterstandsdaling, invloed op splitsingspunt);
- deltaprogramma: ruimte voor de rivier/ retentie Rijnstrangen;
- beddingstabilisatie langs de Boven-Rijn;
- stroomlijn;
- voorontwerp Bestemmingsplan Spijksedijk en Loosjespolder;
- deltaprogramma: Nieuwe normering en een nieuw wettelijk toets- en ontwerp-instrumentarium;
- activiteiten van de Duitse overheid om in ligplaatsen te voorzien;
- Rijnwaardense uiterwaarden;
- rivier als verbindende ader van de regio;
- ontzandingsproject Carvium Novum.

Enkele hebben een relatie met het thema hoogwaterveiligheid en worden hieronder kort besproken. Daarbij wordt ingegaan op de relevantie voor het project Overnachtingshaven Lobith.

Ruimte voor de Rivier-plus - herinrichting Rijnstrangengebied
In de toelichtende tekst in het Deltaprogramma is het volgende aangegeven: 'De waterstanden nemen met deze strategie niet toe, maar blijven gelijk of nemen af. Met Ruimte voor de Rivier-plus zijn de opgaven voor waterveiligheid grotendeels op te lossen. Het retentiegebied Rijnstrangen is naar verwachting altijd nodig. Ook maatschappelijke overwegingen over bijvoorbeeld de kwaliteit en karakteristieken van het landschap, natuur en cultuurhistorie stellen grenzen aan de inzet van maatregelen. Dergelijke overweging spelen bijvoorbeeld een rol bij de inzet van retentiegebieden en bypasses (edit: bijvoorbeeld Rijnstrangen) die in deze fase van kansrijke strategieën meegenomen worden om de uitersten van het speelveld te verkennen. Bestuurlijk lijkt er vooralsnog weinig draagvlak voor grootschalige ingrepen.'

Gezien de ruimtelijke impact, de schaalgrootte en het detailniveau van deze strategie en gezien de bestuurlijke onzekerheid, waarmee deze strategie is omgeven wordt met deze ontwikkeling bij de afweging van de inrichtingsvarianten ten aanzien van dijkstabiliteit in deze MIRT planuitwerking voor de overnachtingshaven Lobith geen rekening gehouden.

Afbeelding 2.4. Rivieren, adaptatiepad voorkeursstrategie Waterveiligheid Rijntakken



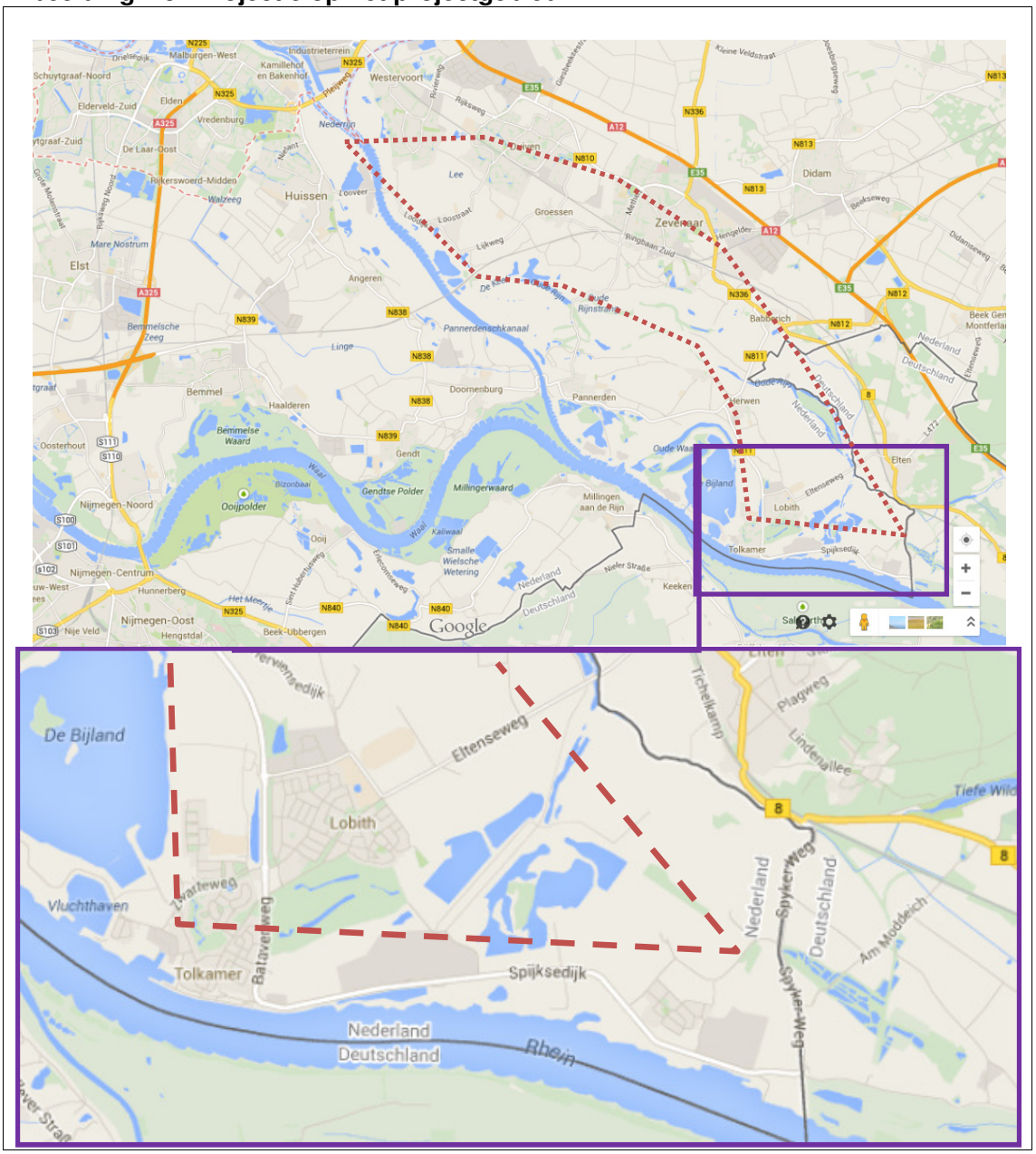
Zoals in bovenstaand schema wordt aangegeven gaan het Deltaprogramma 2015 en de herziening van het Nationaal Waterplan uit van inzet van het Rijnstrangengebied als een retentiemaatregel voor de lange termijn, optie voor de periode 2050-2100.

De ruimtelijke reservering voor de lange termijn van het gebied is geregeld in het besluit algemene regels ruimtelijke ordening (Barro). Dit houdt in dat er geen grootschalige kapitaalintensieve ontwikkelingen in strijd met de beoogde functie worden uitgevoerd. In

samenhang hiermee wordt in de komende periode door de provincie Gelderland samen met het rijk en de regionale partners een onderzoek gestart om de ontwikkelingsmogelijkheden en beperkingen van de reservering in beeld te brengen.

Afbeelding 2.5. Visualisatie maatregel Rijnstrangengebied uit het Deltaprogramma

Afbeelding 2.5. Projectie op het projectgebied



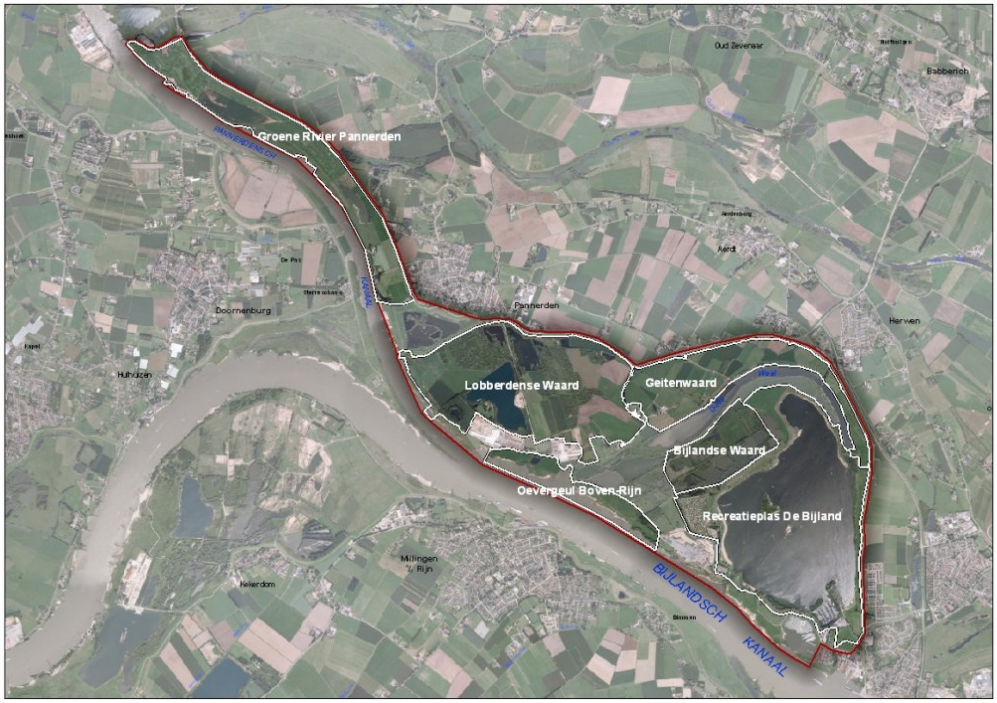
Deltaprogramma: Nieuwe normering en een nieuw wettelijk toets- en ontwerp-instrumentarium

De huidige veiligheidsnormen worden herijkt. Deze herijking is nodig gebleken: vanwege de toename van de bevolking en de veel grotere economische waarde achter de dijken en vanwege de wens om dijkverbeteringen harmonisch in te passen in het landschap, rekening houdend met natuurlijke en cultuurhistorische waarden. Tot slot ook vanwege de klimaatverandering met meer water en wind. Najaar 2014 is de nieuwe veiligheidnormering gepresenteerd, waarna deze in de loop van de jaren erna zal worden verankerd in nieuwe wetgeving. De nieuwe normering en veiligheidsbenadering is ten tijde van het opstellen van het MER niet relevant regionale waterkeringen.

Stroomlijn
Programmadirectie Ruimte voor de Rivier (PDR) werkt aan het vergroten van de doorstroming van uiterwaarden in het Nederlandse rivierengebied door het uitvoeren van een inhaalslag op het vegetatiebeheer, project Stroomlijn genaamd. Ze verwijderen bomen en struiken op plekken waar het water het hardst stroomt (de stroombaan). Met deze aanpak kan bij hoogwater het vele water ook via de uiterwaarden onbelemmerd naar zee stromen. Rijkswaterstaat doet dit in afstemming met eigenaren en beheerders van de uiterwaarden, rekening houdend met beschermde planten en dieren in het gebied. Het project Stroomlijn is niet relevant voor de effectstudie hoogwaterveiligheid voor de planuitwerking overnachtingshaven Lobith omdat voor de waterveiligheid wordt gerekend met vastgestelde hoogwaterstanden.

Rijnwaardense uiterwaarden
Het project Rijnwaardense uiterwaarden is de overkoepelende benaming van zeven projecten van verschillende initiatiefnemers in de buitendijkse gebied langs het Bijlandsch kanaal en het Pannerdensch kanaal. De projecten zijn primair gericht op hoogwater-veiligheid en natuurontwikkeling en zorgen in totaliteit voor een geprogrammeerde waterstandsdaling van 11 cm en voor de goede waterverdeling bij het splitsingspunt. Het project is onderdeel van het programma Nadere Uitwerking Rivierengebied (NURG) en opgenomen in de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier. De coördinatie is in handen van Dienst Landelijk Gebied (www.rijnwaardenseuiterwaarden.nl). De project-gebieden van Rijnwaardense Uiterwaarden zijn weergegeven in afbeelding 2.7.

Afbeelding 2.7. Ligging projectgebieden Rijnwaardense Uiterwaarden



Omdat in de verslechteringstoets, die in het kader van de effectbepaling van hoogwater-veiligheid wordt uitgevoerd, wordt gerekend met vastgestelde hoogwaterstanden is het project niet 'Rijnwaardense Uiterwaarden' niet relevant voor de planuitwerking van de Overnachtingshaven Lobith.

2.3. Referentiesituatie

De hierboven beschreven huidige situatie en autonome ontwikkelingen vormen samen de referentiesituatie. De effecten van de inrichtingsvarianten worden vergeleken met deze referentiesituatie.

3. BESCHOUWING WATERVEILIGHEID TUINDORP INRICHTINGSVARIANTEN

Zowel bij de basis- als de uitgebreide variant, wordt de haven verdiept. Daarnaast kunnen werkzaamheden aan de haven lokaal van invloed zijn op de maatgevende waterstanden. Dit kan invloed hebben op de volgende faalmechanismen:

- macrostabiliteit buitenwaarts: doordat de bodem dieper komt te liggen, kan de buitenwaartse stabiliteit van de kering afnemen. Dit faalmechanisme is behandeld in paragraaf 3.1;
- piping: het verdiepen van de bodem op een beperkte afstand van de kering kan een intredepunt veroorzaken, waardoor de kwelweg afneemt. Dit faalmechanisme is besproken in paragraaf 3.2;
- golfoploop en overloop: de aanleg van de haven kan lokaal zorgen voor een verhoogde waterstand. In de rivierkundige effectstudie zijn de effecten op de waterstand berekend. Dit faalmechanisme is besproken in paragraaf 3.3.

3.1. Macrostabiliteit buitenwaarts

3.1.1. Uitgangspunten

Voor de berekeningen is uitgegaan van de sommen die zijn aangeleverd door het waterschap Rijn en IJssel. De verdieping van de haven heeft alleen invloed op de westelijke dijk langs Tuindorp (profiel 1), daarom is deze som gebruikt. De sommen komen uit de eerste toetsing van de regionale waterkeringen. De uitgangspunten uit deze toetsing (Arcadis, 2012) zijn overgenomen. Hiermee zijn de volgende situaties beschouwd:

- huidige situatie van de kering (zonder uitdieping);
- toekomstige situatie van de kering waarbij de haven is uitgediept tot NAP+1,45 m.

In de berekeningen zijn de schematisaties uit de aangeleverde sommen aangehouden. De bodemopbouw en sterkteparameters zijn weergegeven in tabel 3.1. Voor de steen-bekleding is een gewicht van 23 kN/m^3 aangehouden, een cohesie van 20 kPa en een phi van 0,1 graden (conform het toetsrapport van Arcadis uit 2012).

Tabel 3.1. Bodemopbouw en rekenwaarden grondparameters (dwarsprofiel 1 (west)

grondlaag	bovenkant laag [m+NAP]	γ/γ_{sat} [kN/m^3]	c_d' [kN/m^2]	φ_d' [graden]
dijkmateriaal TD	mv	18,0/19,5	1,0	25,0
Bovenrijn, klei, zandig	15,1	18,0/19,0	2,0	25,5
zand, deklaag	13,2	18,0/19,0	0,0	26,5
Bovenrijn, klei, zandig	12,6	18,0/19,0	2,0	25,5
zand, deklaag	11,8	18,0/19,0	0,0	26,5
Bovenrijn, klei, zandig	10,0	18,0/19,0	2,0	25,5
zand, ondergrond	9,0	18,0/20,0	0,0	30,0

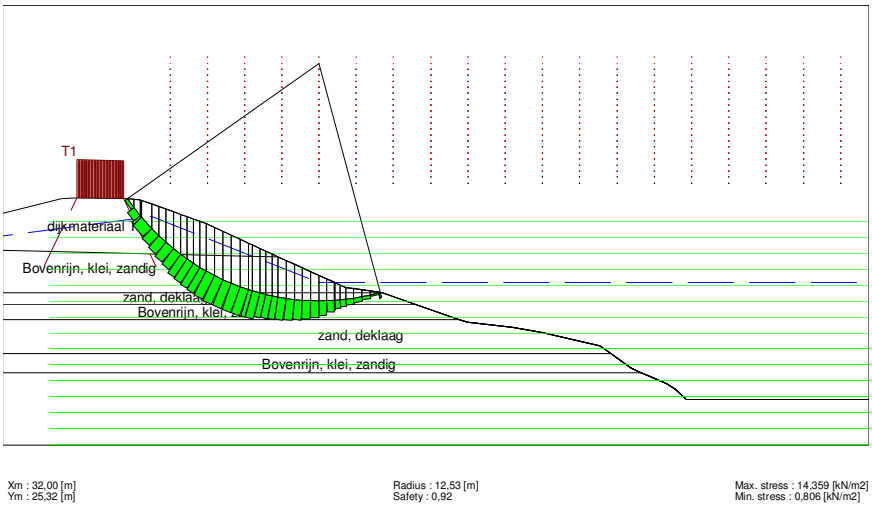
3.1.2. Huidige situatie

Voor de huidige situatie zijn in de toetsing twee scenario's beschouwd:
- een eerste (grovere) berekeningstap van de kering langs de haven (west, profiel 1);
- een optimalisatieslag waarbij de bekleding van het talud in rekening is gebracht en een lagere waterspanning in de zanddeklaag is aangehouden.

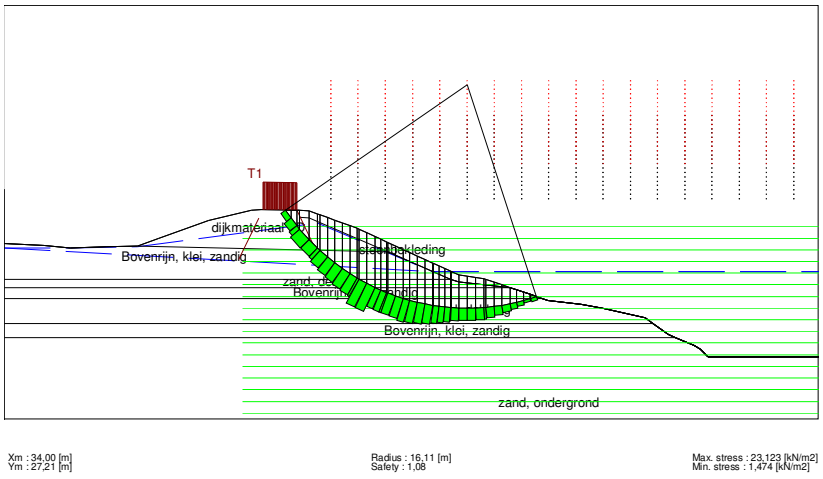
De stabiliteit van het buitentalud voor de westelijke kade voldoet in de eerste grovere berekeningsstap niet aan de minimale stabiliteitsfactor ($F_{min} \geq 1{,}03$). Deze score ligt niet in de verwachting en daarom is besloten de berekening verder te detailleren. Hierbij is de lagere waterspanning in de zanddeklaag toegevoegd en is de steenbekleding apart geschematiseerd (Arcadis, 2012).

De berekeningsresultaten zijn weergegeven in tabel 3.2 en afbeelding 3.1 en 3.2.

Afbeelding 3.1. Maatgevende glijcirkel zonder steenbekleding



Afbeelding 3.2. Maatgevende glijcirkel met steenbekleding



3.1.3. Toekomstige situatie

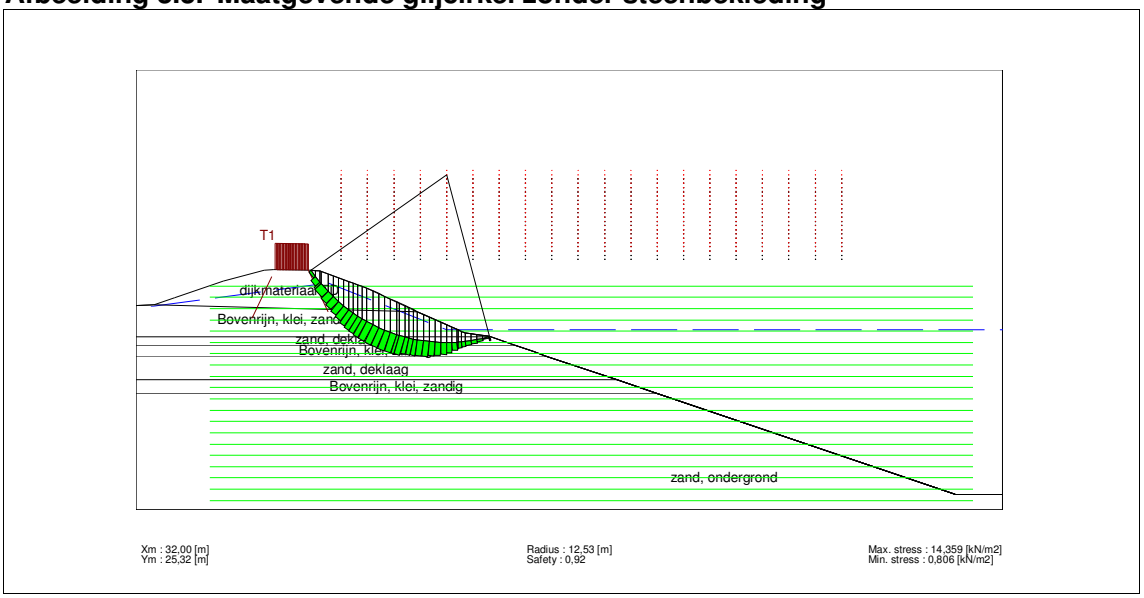
In de toekomstige situatie is eveneens gekeken naar de schematisaties welke zijn beschreven in de vorige paragraaf. In tabel 3.2 is te zien dat de verdieping van de haven in beide schematisaties niet leidt tot een verslechtering van de stabiliteit. Vanaf de bestaande steenbekleding wordt een talud van 1:3 aangehouden.

Tabel 3.2. Resultaten stabiliteitsberekeningen buitenwaarts

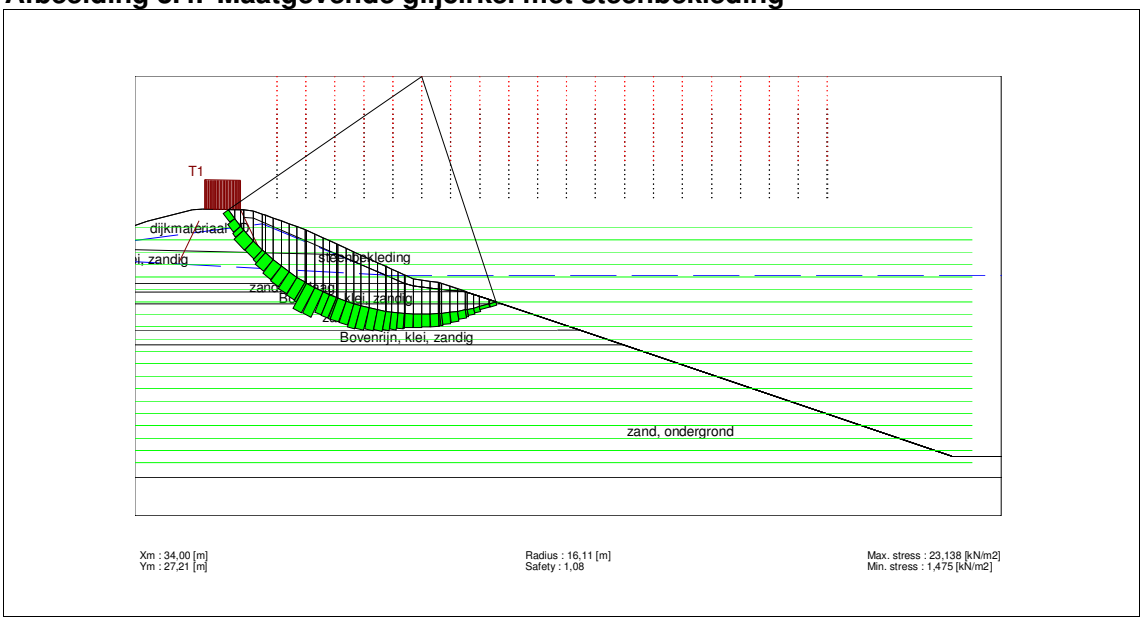
scenario	stabiliteitsfactor huidig	stabiliteitsfactor toekomstig
zonder steenbekleding	0,92	0,92
met steenbekleding	1,08*	1,08

* Deze stabiliteitsfactor wijkt iets af van het resultaat uit de toetsing (1,09) vanwege een aangepast rekengrid.

Afbeelding 3.3. Maatgevende glijcirkel zonder steenbekleding



Afbeelding 3.4. Maatgevende glijcirkel met steenbekleding



3.2. Piping

De kering bij Tuindorp is in de toetsing afgekeurd op piping. De resultaten zijn weergegeven in tabel 3.3.

Tabel 3.3. Pipingberekeningen Tuindorp (Arcadis, 2012)

profiel + zijde	toetspeil [m+NAP]	maaiveld [m+NAP]	verval [m]	aanwezige kwelweg [m]	benodigde kwelweg [m]	reserve [m]	score [V/O]
1. west	17,75	15,47	2,28	23,57	27,36	-3,79	O

Voor Tuindorp is vervolgens een verbeterplan opgesteld. Op basis van aanvullend grondonderzoek is geconstateerd dat er aan de westdijk van Tuindorp geen doorgaande samendrukbare lagen aanwezig zijn tussen de buiten- en binnenteen. Er is daarom sprake van een zanddijk op een zandondergrond, de doorsnede is hiermee niet gevoelig voor piping.

De verdieping van de haven heeft alleen invloed op de westelijke dijk langs Tuindorp (profiel 1), alleen dit vak is beschouwd. Op basis van de aanwezige kwelweg, kan worden geconcludeerd dat het intredepunt relatief dicht op de kering zit. De verdieping van de haven vindt op grotere afstand plaats, waardoor dit niet leidt tot een verkorting van de kwelweg.

3.3. Golfoploop en golfoverslag

3.3.1. Huidige situatie

In de toetsing is de kering om Tuindorp langs de haven (kering West) afgekeurd op hoogte.

Tabel 3.4. Benodigde kruinhoogte kering Tuindorp (Arcadis, 2012)

profiel	Hs [m]	Tp [s]	benodigde kruin [m NAP]	aanwezige kruin [m NAP]	overslagdebiet [l/m/s]	verhoging bij 0,1/l/m/s [m]	verhoging bij 1 l/m/s [m]
West	0,45	2,67	18,88	18,19	11,9	0,70	0,34
Zuid	0,42	2,54	18,77	18,01	8,7	0,76	0,44
Oost	0,26	1,96	18,31	18,09	3,8	0,22	0,16
Noord	0,33	2,27	17,76	18,01	<0,1	geen	geen

Er is nog geen ontwerp beschikbaar voor de benodigde verbetering.

3.3.2. Toekomstige situatie

In de rivierkundige effectenanalyse is de opstuwing ter plaatse van de waterkering bepaald per variant. De resultaten zijn weergegeven in tabel 3.5.

In de uitgebreide variant is de opstuwing van de waterstand maximaal 1,5 cm. Hierdoor neemt de waakhoogte af en neemt de golfoverslag toe. Ter compensatie is voor de uitgebreide variant een verhoging van de kruin nodig van 5 cm (afgerond).

Tabel 3.5. Vergelijking effectbeoordeling Tuindorp varianten (uit rivierkundige effectanalyse)

variant	basisvariant	uitgebreide variant
opstuwing	geen	maximaal 1,5 cm

3.4. Benodigde aanpassingen aan waterkering om aan normen en leidraden te voldoen

Tabel 3.6 geeft de conclusies weer ten aanzien van waterveiligheid.

Tabel 3.6. Benodigde aanpassingen per variant

variant	aanpassing waterkering
basisvariant	- autonome situatie: verbeteren op hoogte; - geen aanvullende aanpassing ten opzichte van de autonome situatie benodigd.
uitgebreide variant	- extra verhoging van maximaal 5 cm benodigd om aan de benodigde kruinhoogte te voldoen.

4. EFFECTEN VARIANTEN EN MITIGATIE EN COMPENSATIE TUINDORP

4.1. Effecten varianten

4.1.1. Effectbeschrijving waterveiligheid

Basisvariant
Zowel bij de basis- als de uitgebreide variant, wordt mogelijk de haven uitgebaggerd. In hoofdstuk 3 is gecontroleerd of de regionale kering voldoet aan de buitenwaartse stabiliteit bij een verdieping van de haven. Dit blijkt het geval. De steigers worden op een later moment zo ingepast dat een eventueel negatief effect op de stabiliteit van de dijk gemitigeerd of gecompenseerd wordt.

Uit de rivierkundige effectstudie[1] blijkt dat deze variant géén verhoging van de waterstand tot gevolg heeft. Dit houdt in dat er ook geen negatieve effecten op de waterkering ten aanzien van hoogte hoeven te worden verwacht.

Omdat er geen effecten zijn op de veiligheid van de regionale kering, krijgt deze variant een neutrale beoordeling.

Uitgebreide variant
De effecten ten aanzien van de stabiliteit zijn gelijk voor beide varianten, aangezien de haven bij beide varianten wordt verdiept en daardoor de buitenwaartse stabiliteit van de regionale kering wordt beïnvloed.

Uit de rivierkundige effectstudie blijkt dat deze variant een beperkte verhoging van de waterstand tot gevolg heeft. Deze verhoging wordt veroorzaakt door de ingrepen aan de havendammen die een onderdeel zijn van deze variant maar niet van de basisvariant. De waterstandsverhoging bedraagt maximaal 1,5 cm. In de huidige situatie is er al een kruinhoogtetekort (zie ook hoofdstuk 3).

Deze variant krijgt een licht negatieve beoordeling op het gebied van waterveiligheid. Dit komt doordat er bij sprake is van een waterstandsverhoging van (maximaal) 1,5 cm. Hierdoor neemt het reeds aanwezige kruinhoogtetekort toe.

4.1.2. Uitbreidbaarheid

Basisvariant
Zowel bij de basis- als de uitgebreide variant, wordt de uitbreidbaarheid van de dijk aan de buitenzijde beperkt door de aanlegsteigers. Dit is niet onderscheidend ten opzichte van de referentiesituatie.

Aan de binnenzijde wordt de ruimte echter niet beperkt ten opzichte van de huidige situatie, daarom krijgen beide varianten een neutrale beoordeling.

Uitgebreide variant
De effecten ten aanzien van stabiliteit zijn gelijk voor beide varianten, aangezien de haven bij beide varianten wordt verdiept en de aanlegsteigers op een later moment zo worden ingepast dat ze geen invloed hebben. In de uitgebreide variant neemt door opstuwing van de waterstand de grootte van het reeds aanwezige hoogtetekort minimaal toe. Omdat er

[1] Milieueffectrapport Overnachtingshaven Lobith - deelrapportage rivierkunde. Witteveen+Bos, 2015.

reeds een hoogtetekort is, die leidt tot een versterking zijn hiervoor geen aanvullende compenserende of mitigerende maatregelen nodig.

4.1.3. Toekomstvastheid

Omdat de nieuwe normering niet van toepassing is op regionale keringen, wordt dit effect voor de modernisering van de haven Tuindorp buiten beschouwing gelaten.

4.1.4. Overzicht effectbeoordeling

Vergelijkingstabel varianten
Tabel 4.1 geeft een totaaloverzicht van de effecten van de varianten van Tuindorp op het thema dijkstabiliteit. Daaruit blijkt dat er alleen onderscheid is op het criterium waterveiligheid. De uitgebreide variant scoort daar negatief vanwege een lichte waterstandsverhoging. De overige criteria zijn neutraal beoordeeld.

Tabel 4.1. Effectbeoordeling varianten Tuindorp

effect	basisvariant	uitgebreide variant
waterveiligheid	0	-
uitbreidbaarheid	0	0
toekomstvastheid	n.v.t.	n.v.t.

4.1.5. Conclusies

De basisvariant scoort beter op het gebied van waterveiligheid. Dit komt doordat er bij de basisvariant geen sprake is van opstuwing, terwijl er voor de uitgebreide variant rekening moet worden gehouden met een waterstandsverhoging van 1,5 cm. De uitgebreide variant krijgt daardoor een licht negatieve beoordeling, de basisvariant krijgt een neutrale beoordeling.

4.2. Mitigatie en compensatie

De verwachte effecten op hoogwaterveiligheid geven voor de overnachtingshaven Tuindorp vooralsnog geen aanleiding voor het treffen van mitigerende en compenserende maatregelen. Resteffecten na aanvullende maatregelen zijn derhalve niet aan de orde.

5. BESCHOUWING WATERVEILIGHEID TUINDORP VOORKEURSVARIANT

In de voorkeursvariant wordt net als bij de basis- en de uitgebreide variant, de haven verdiept. Dit kan analoog aan de inrichtingsvarianten invloed hebben op de volgende faalmechanismen:
- macrostabiliteit buitenwaarts: doordat de bodem dieper komt te liggen, kan de buitenwaartse stabiliteit van de kering afnemen. Dit faalmechanisme is behandeld in paragraaf 5.1;
- piping: het verdiepen van de bodem op een beperkte afstand van de kering kan een intredepunt veroorzaken, waardoor de kwelweg afneemt. Dit faalmechanisme is besproken in paragraaf 5.2;
- golfoploop en overloop: de aanleg van de haven kan lokaal zorgen voor een verhoogde waterstand. In de rivierkundige effectstudie zijn de effecten op de waterstand berekend. Dit faalmechanisme is besproken in paragraaf 5.3.

5.1. Macrostabiliteit buitenwaarts

5.1.1. Uitgangspunten

Voor de berekeningen is uitgegaan van de sommen die zijn aangeleverd door het waterschap Rijn en IJssel. De verdieping van de haven heeft alleen invloed op de westelijke dijk langs Tuindorp (profiel 1), daarom is deze som gebruikt. De sommen komen uit de eerste toetsing van de regionale waterkeringen. De uitgangspunten uit deze toetsing (Arcadis, 2012) zijn overgenomen. Hiermee zijn de volgende situaties beschouwd:
- huidige situatie van de kering (zonder uitdieping), zie paragraaf 3.1.2;
- toekomstige situatie van de kering waarbij de haven is uitgediept tot NAP +1,45 m.

In de berekeningen zijn de schematisaties uit de aangeleverde sommen aangehouden. De bodemopbouw en sterkteparameters zijn weergegeven in tabel 5.1. Voor de steenbekleding is een gewicht van 23 kN/m^3 aangehouden, een cohesie van 20 kPa en een phi van 0,1 graden (conform het toetsrapport van Arcadis uit 2012).

Tabel 5.1. Bodemopbouw en rekenwaarden grondparameters (dwarsprofiel 1 (west)

grondlaag	bovenkant laag [m+NAP]	γ/γ_{sat} [kN/m^3]	c_d' [kN/m^2]	φ_d' [graden]
dijkmateriaal TD	mv	18,0/19,5	1,0	25,0
Bovenrijn, klei, zandig	15,1	18,0/19,0	2,0	25,5
zand, deklaag	13,2	18,0/19,0	0,0	26,5
Bovenrijn, klei, zandig	12,6	18,0/19,0	2,0	25,5
zand, deklaag	11,8	18,0/19,0	0,0	26,5
Bovenrijn, klei, zandig	10,0	18,0/19,0	2,0	25,5
zand, ondergrond	9,0	18,0/20,0	0,0	30,0

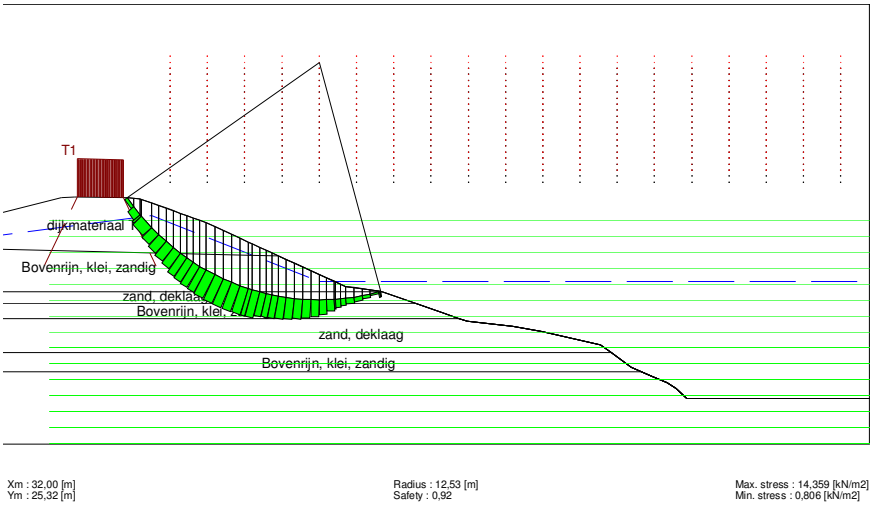
5.1.2. Huidige situatie

Voor de huidige situatie zijn in de toetsing twee scenario's beschouwd:
- een eerste (grovere) berekeningstap van de kering langs de haven (west, profiel 1);
- een optimalisatieslag waarbij de bekleding van het talud in rekening is gebracht en een lagere waterspanning in de zanddeklaag is aangehouden.

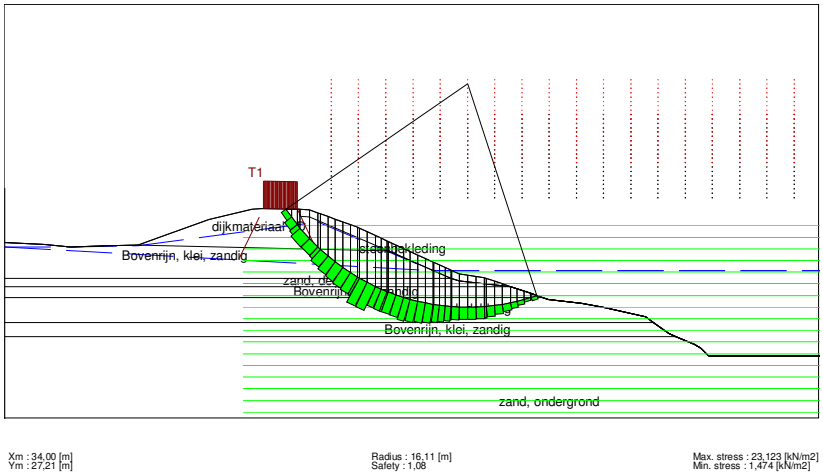
De stabiliteit van het buitentalud voor de westelijke kade voldoet in de eerste grovere berekeningsstap niet aan de minimale stabiliteitsfactor (Fmin ≥ 1,03). Deze score ligt niet in de verwachting en daarom is besloten de berekening verder te detailleren. Hierbij is de lagere waterspanning in de zanddeklaag toegevoegd en is de steenbekleding apart geschematiseerd (Arcadis, 2012).

De berekeningsresultaten zijn weergegeven in tabel 5.2 en afbeelding 5.1 en 5.2.

Afbeelding 5.1. Maatgevende glijcirkel zonder steenbekleding



Afbeelding 5.2. Maatgevende glijcirkel met steenbekleding



5.1.3. Voorkeursvariant

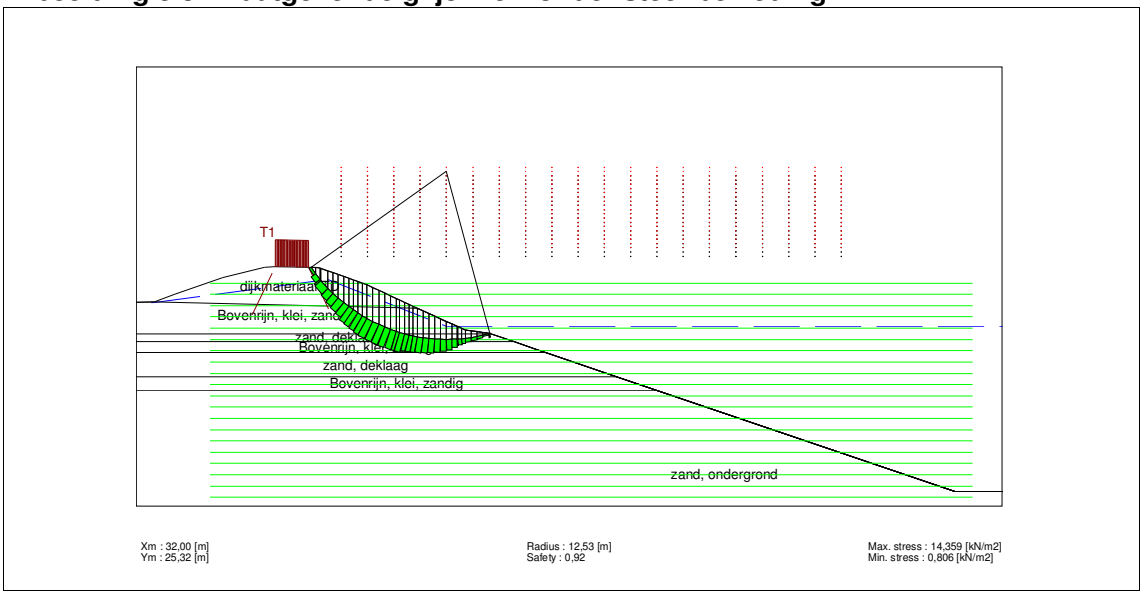
In de toekomstige situatie is eveneens gekeken naar de schematisaties welke zijn beschreven in de vorige paragraaf. In tabel 5.2 is te zien dat de verdieping van de haven in beide schematisaties niet leidt tot een verslechtering van de stabiliteit. Vanaf de bestaande steenbekleding wordt een talud van 1:3 aangehouden.

Tabel 5.2. Resultaten stabiliteitsberekeningen buitenwaarts

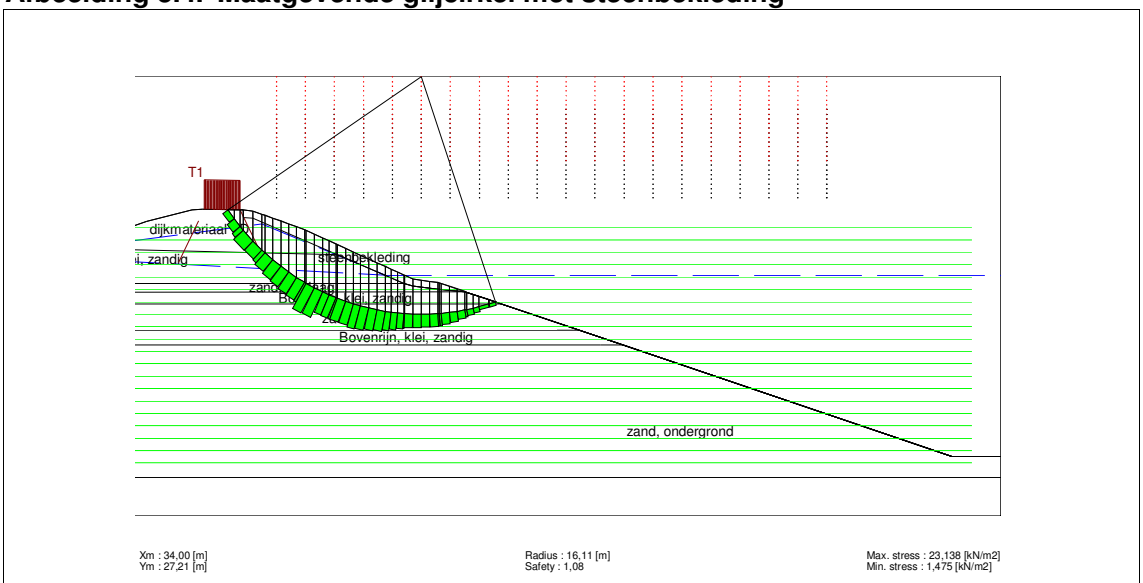
scenario	stabiliteitsfactor huidig	stabiliteitsfactor toekomstig
zonder steenbekleding	0,92	0,92
met steenbekleding	1,08*	1,08

* Deze stabiliteitsfactor wijkt iets af van het resultaat uit de toetsing (1,09) vanwege een aangepast rekengrid.

Afbeelding 5.3. Maatgevende glijcirkel zonder steenbekleding



Afbeelding 5.4. Maatgevende glijcirkel met steenbekleding



5.2. Piping

De kering bij Tuindorp is in de toetsing afgekeurd op piping. De resultaten zijn weergegeven in tabel 5.3.

Tabel 5.3. Pipingberekeningen Tuindorp (Arcadis, 2012)

profiel + zijde	toetspeil [m+NAP]	maaiveld [m+NAP]	verval [m]	aanwezige kwelweg [m]	benodigde kwelweg [m]	reserve [m]	score [V/O]
1. west	17,75	15,47	2,28	23,57	27,36	-3,79	O

Voor Tuindorp is vervolgens een verbeterplan opgesteld. Op basis van aanvullend grondonderzoek is geconstateerd dat er aan de westdijk van Tuindorp geen doorgaande samendrukbare lagen aanwezig zijn tussen de buiten- en binnenteen. Er is daarom sprake van een zanddijk op een zandondergrond, de doorsnede is hiermee niet gevoelig voor piping.

De verdieping van de haven heeft alleen invloed op de westelijke dijk langs Tuindorp (profiel 1), alleen dit vak is beschouwd. Op basis van de aanwezige kwelweg, kan worden geconcludeerd dat het intredepunt relatief dicht op de kering zit. De verdieping van de haven vindt op grotere afstand plaats, waardoor dit niet leidt tot een verkorting van de kwelweg.

5.3. Golfoploop en golfoverslag

5.3.1. Huidige situatie

In de toetsing is de kering om Tuindorp langs de haven (profiel West) afgekeurd op hoogte (met uitzondering van de noordzijde). Dit is verder toegelicht in paragraaf 3.3.1.

Tabel 5.4. Benodigde kruinhoogte (Arcadis 2012)

profiel	Hs [m]	Tp [s]	benodigde kruin [m NAP]	aanwezige kruin [m NAP]	overslagdebiet [l/m/s]	verhoging bij 0,1/l/m/s [m]	verhoging bij 1 l/m/s [m]
West	0,45	2,67	18,88	18,19	11,9	0,70	0,34
Zuid	0,42	2,54	18,77	18,01	8,7	0,76	0,44
Oost	0,26	1,96	18,31	18,09	3,8	0,22	0,16
Noord	0,33	2,27	17,76	18,01	<0,1	geen	geen

Er is nog geen ontwerp beschikbaar voor de benodigde verbetering.

5.3.2. Voorkeursvariant

In de rivierkundige effectenanalyse is de opstuwing ter plaatse van de waterkering bepaald voor de voorkeursvariant. De opstuwing bij de kering is maximaal 3 mm. Dit wijkt af van de basisvariant doordat voor het VKV de opstuwing nauwkeurig is berekend. Voor de basisvariant is ingeschat dat de opstuwing verwaarloosbaar zou zijn (aangenomen is daarbij 0 mm).

De berekende 3 mm valt binnen de nauwkeurigheidsmarge van de hoogtemeting en ruim binnen de nauwkeurigheid van de waterstandsberekeningen. Deze opstuwing is daarom verwaarloosbaar en leidt niet tot een verhoging van de kruin.

5.4. Benodigde aanpassingen aan waterkering om aan normen en leidraden te voldoen

Om de aan normen en leidraden te voldoen dient de waterkering opgehoogd te worden. Dit is echter niet ten gevolge van de aanpassingen in de haven.

6. GEHONOREERDE MITIGATIE EN COMPENSATIE EN EFFECTEN VOORKEURSVARIANT TUINDORP

6.1. Gehonoreerde mitigatie en compensatie

In de voorkeursvariant zijn geen mitigerende of compenserende maatregelen meegenomen voor het thema waterveiligheid, omdat de effecten op de waterveiligheid verwaarloosbaar zijn.

In de volgende paragraaf worden de effecten van de voorkeursvariant besproken.

6.2. Effecten voorkeursvariant

De inrichting van de voorkeursvariant is iets gewijzigd ten opzichte van de uitgebreide variant. Het damwandscherm is nog wel onderdeel van de voorkeursvariant, maar de langsdam wordt niet meer toegepast. De voorlopige ligging van de aanlegsteigers is eveneens gewijzigd.

6.2.1. Waterveiligheid

In de voorkeursvariant wordt de haven verdiept. In hoofdstuk 5 is gecontroleerd of de regionale kering voldoet aan de buitenwaartse stabiliteit bij een verdieping van de haven. Dit blijkt het geval. De steigers worden op een later moment zo ingepast dat een eventueel negatief effect op de stabiliteit van de dijk gemitigeerd of gecompenseerd wordt.

Uit de rivierkundige effectstudie blijkt dat deze variant een zeer beperkte verhoging van de waterstand tot gevolg heeft. Deze verhoging is verwaarloosbaar.

Deze variant krijgt een neutrale beoordeling op het gebied van waterveiligheid. Effecten zijn verwaarloosbaar.

6.2.2. Uitbreidbaarheid

De uitbreidbaarheid van de dijk wordt, net als bij de oorspronkelijke varianten, aan de buitenzijde beperkt door de aanlegsteigers. Dit is echter in de huidige situatie ook het geval. Daar komt bij dat de ruimte aan de binnenzijde niet wordt beperkt ten opzichte van de huidige situatie. Daarom krijgt ook de voorkeursvariant een neutrale beoordeling.

6.2.3. Toekomstvastheid

Omdat de nieuwe normering niet van toepassing is op regionale keringen, wordt dit effect voor de modernisering van de haven Tuindorp buiten beschouwing gelaten.

6.2.4. Overzicht effectbeoordeling en conclusie

In tabel 6.1 zijn de effecten van de voorkeursvariant samengevat voor Tuindorp. De voorkeursvariant scoort neutraal op waterveiligheid. De waterveiligheid wijzigt niet ten gevolge van de aanleg van de haven. De uitbreidbaarheid wordt als neutraal beoordeeld, omdat de regionale kering aan de binnenzijde niet beperkt wordt voor toekomstige dijkverbeteringen. Omdat de nieuwe normering niet van toepassing is op regionale keringen is toekomstvastheid buiten beschouwing gelaten.

Tabel 6.1. Effectbeoordeling voorkeursvariant Tuindorp

effect	VKV
waterveiligheid	0
uitbreidbaarheid	0
toekomstvastheid	n.v.t.

7. HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELINGEN SPIJK

In dit hoofdstuk worden de huidige situatie en toekomstige ontwikkelingen beschreven voor Spijk. De beschrijvingen zijn erop gericht de effecten van de overnachtingshaven Lobith op het thema dijkstabiliteit zo goed mogelijk in beeld te brengen. De huidige situatie en autonome ontwikkelingen vormen samen de referentiesituatie. De effecten van de inrichtingsvarianten worden in hoofdstuk 9 vergeleken met deze referentiesituatie.

7.1. Beschrijving huidige situatie

In de bestaande situatie betreft het gebied waar de overnachtingshaven Spijk is gepland een uiterwaard van de Boven-Rijn: de Beijenwaard. Het gebied voor de haven Spijk bevindt zich tussen het dorp Spijk en verwerkingslocatie van het zandwinbedrijf Wezendonk. Het projectgebied is in eigendom bij verschillende eigenaren. De gronden zijn met name in gebruik als landbouwgrond. Daarnaast zijn diverse natuurwaarden in het gebied aanwezig. In het verleden is een deel van de uiterwaard gebruikt als stortlocatie van afval. De plas waarin dit afval is gestort, is als gevolg hiervan verontreinigd. In de uiterwaard bevindt zich een woning die bereikbaar is middels een hoogwatervrije weg vanaf de Spijksedijk.

Afbeelding 7.1. Situatie Spijk

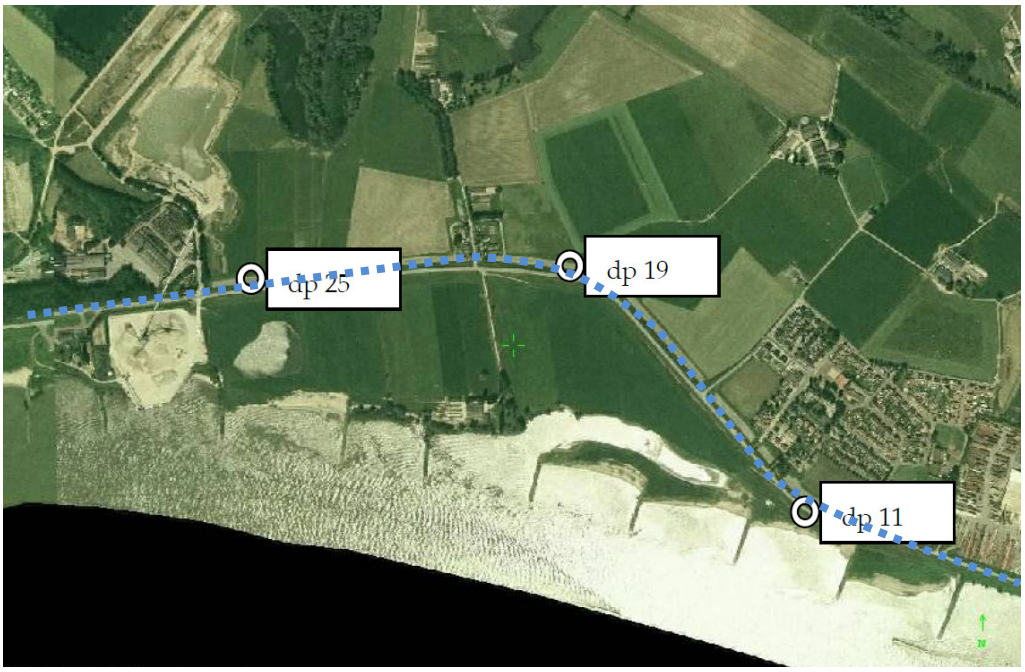
Afbeelding 7.2 laat de ligging van de huidige primaire kering zien (blauwe lijn). Deze primaire waterkering ten noorden van de Beijenwaard voldeed in de laatste toetsronde (Arcadis, 2010). De dijk kreeg een score ‘goed’ voor het spoor hoogte en een score ‘voldoende’ voor stabiliteit voorland. Ten aanzien van het faalmechanisme piping is weliswaar een tekort aan kwelweglengte geconstateerd, maar door de aanwezigheid van een grindkoffer wordt de dijk hier niet op afgekeurd. De werking van de grindkoffer is onderzocht[1], deze werkt naar behoren. Dit betekent dat er geen versterkingsopgave ligt.

[1] Spijksedijk, Dp 0 - 40 piping, filter en taluddrainage onderzoek, november 2004. Grontmij, 2004.

De huidige primaire kering heeft taluds van ongeveer 1:3. Aan de buitenzijde kan het talud iets steiler aanwezig zijn (tot circa 1:2,5). De kruinhoogte is gemiddeld NAP +19,1 m en de kruin heeft een breedte van circa 7 m. In de binnenteen van de dijk is een filterconstructie (grindkoffer) aanwezig. Deze filterconstructie dient om piping tegen te gaan doordat het uitspoelen van zand voorkomen wordt. De filterconstructie het oordeel 'voldoende' gekregen in de laatste veiligheidstoetsing. Hierbij is wel de kanttekening gemaakt dat een inspectie van de grindkoffer in het calamiteitenplan moet zijn opgenomen. Ter plaatse van de woningen aan de Ameidsedam, is er lokaal geen grindkoffer aanwezig over een lengte van ongeveer 10 en 20 meter aan weerszijden van de Ameidsedam. Omdat de Ameidsedam zelf een stuk hoger ligt, zal piping daar geen probleem zijn. Door de drainerende werking van de grindkoffer aan weerzijden, zal er zich direct naast de Ameidsedam geen wel vormen. Door deze 3D werking van de grondwaterstroming worden geen problemen verwacht bij de Ameidsedam.

In bijlage I zijn de leggerkaarten weergegeven van de profielen 11, 19 en 25. Hierin is te zien dat de beschermingszones relatief kort zijn (circa 6 à 8 m). In de leggerkaarten is voor elk profiel tevens een profiel van vrije ruimte opgenomen. Binnen dit profiel van vrije ruimte zijn geen beperkende maatregelen toegestaan die een toekomstige dijkversterking in de weg staan. Dit profiel van vrije ruimte betreft in de genoemde profielen een meter kruinverhoging en de bijbehorende versterking binnenwaarts. Dit profiel van vrije ruimte is een maat voor het aspect 'uitbreidbaarheid'; indien de maatregel buiten het profiel van vrije ruimte valt krijgt deze een neutrale beoordeling.

Afbeelding 7.2. Locatie primaire waterkering (blauwe lijn)



Bron: Arcadis, 2007

7.2. Beschrijving autonome ontwikkelingen

Hier wordt verwezen naar paragraaf 2.2, waar de autonome ontwikkelingen voor de modernisering van de overnachtingshaven Tuindorp zijn toegelicht. In tegenstelling tot Tuindorp, waar sprake is van een regionale kering is voor de overnachtingshaven Spijk de

nieuwe normering voor primaire waterkeringen wél relevant. Daarom wordt deze ontwikkeling hieronder nader toegelicht.

Nieuwe normering waterkeringen
De huidige primaire waterkering ten noorden van de Beijenwaard voldeed in de laatste toetsronde. Dit betekent dat er geen versterkingsopgave ligt.

De activiteiten die zich binnen de zonering van de dijk bevinden worden conform de vergunningvoorwaarden van het waterschap beoordeeld met behulp van de vigerende normen en leidraden. De activiteiten binnen de kern-, beschermings- of buitenbeschermingszone mogen geen negatief effect hebben op de veiligheid van de waterkering. In dat geval voldoet het project aan de doelstellingen op het gebied van dijkstabiliteit.

In september 2014 is het definitieve voorstel voor de nieuwe normering bekend gemaakt. Deze normering wordt in de jaren daarop verankerd in beleid en regelgeving. Het toets- en ontwerpinstrumentarium, dat moet worden gebruikt om concrete ontwerpen te kunnen maken is nog niet vastgesteld en staat gepland voor 2017. Er bestaat al wel een ontwerpinstrumentarium 2014 dat een hybridevorm betreft tussen de huidige ontwerpregels en de toekomstige werkwijze. Deze is bedoeld voor verkenningen van projecten waar nu al een verbeteringsopgave binnen het HWBP ligt, maar niet voor projecten waar nog geen versterkingsopgave ligt.

Aangezien er geen dijkverlegging of versterking plaatsvindt en er nog geen rekenregels beschikbaar zijn, wordt in de effectbeoordeling voor de waterveiligheid geen rekening gehouden met de nieuwe normering. In de effectbeoordeling voor toekomstbestendigheid is wel een doorkijk gemaakt naar het effect van de nieuwe normering op het ontwerp van de dijk. Hiertoe is een ontwerp volgens het OI2014 opgesteld door waterschap Rijn en IJssel (Arcadis, 2014).

Ontzandingsproject Carvium Novum
De invloed op het grondwatersysteem en de waterhuishouding in de omgeving is beperkt en lokaal). Wel kan gesteld worden dat de zandwinput lokaal een ontlastende werking heeft op de waterstanden onder de dijk en op de werking grindkoffer.

7.3. Referentiesituatie

De hierboven beschreven huidige situatie en autonome ontwikkelingen vormen samen de referentiesituatie. De effecten van de inrichtingsvarianten worden vergeleken met deze referentiesituatie.

8. BESCHOUWING WATERVEILIGHEID SPIJK INRICHTINGSVARIANTEN

Om de haven te realiseren worden werkzaamheden aan de buitenzijde van de waterkering (buiten de kernzone) uitgevoerd. Het aanwezige voorland wordt afgegraven en de waterbodem komt hier op een diepte van NAP +1,73 m te liggen (hoogte voorland op circa NAP +13,5 m). De werkzaamheden kunnen invloed hebben op de volgende faalmechanismes:

- macrostabiliteit buitenwaarts: een ingreep in de bodem op een beperkte afstand van de kering kan van invloed zijn op de stabiliteit van de kering. Dit faalmechanisme wordt besproken in paragraaf 8.1;

- piping: een ingreep in de bodem op een beperkte afstand van de kering kan een intredepunt veroorzaken, waardoor de kwelweg afneemt. Dit faalmechanisme wordt besproken in paragraaf 8.2;
- golfoploop en overloop: de aanleg van de haven kan lokaal zorgen voor een verhoogde waterstand. In de rivierkundige effectstudie zijn de effecten op de waterstand berekend. Dit faalmechanisme wordt besproken in paragraaf 8.3;
- stabiliteit bekleding: de kleibekleding op het buitentalud wordt minmaal teruggebracht in de huidige staat met de huidige taludhellingen. De grasbekleding heeft enkele groeiseizoenen nodig om te herstellen, maar zal bij gelijk beheer en herstel van de huidige teelaardelaag dezelfde sterkte bereiken als in de huidige situatie. De stabiliteit van de bekleding is bijgevolg na aanleg van de OHL gelijk aan de huidige situatie. Dit faalmechanisme is daarom in de effectbeoordeling voor de varianten buiten beschouwing gelaten;
- stabiliteit voorland: doordat het voorland gedeeltelijk wordt afgegraven, neemt de aandrijvende kracht af. De stabiliteit ten aanzien van afschuiving van het voorland verslechtert hierdoor niet (het is voldoende om te toetsen aan stabiliteit buitenwaarts). Ten aanzien van zettingsvloeiing wordt ook geen negatieve invloed verwacht door de aanleg van bestorting en/of het plaatsen damwand. Dit faalmechanisme is daarom buiten beschouwing gelaten.

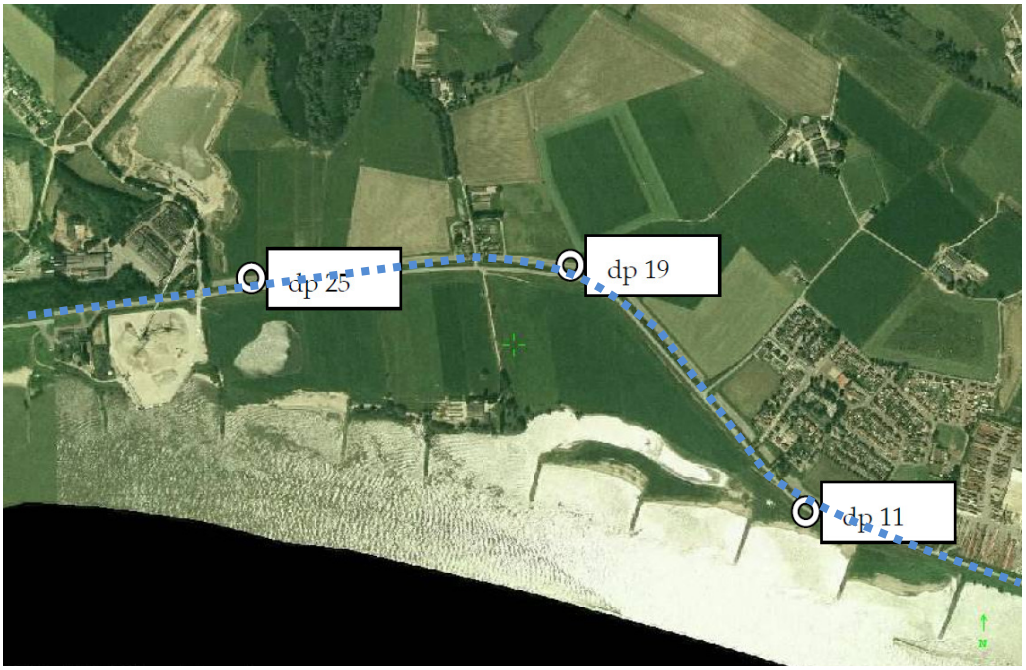
8.1. Macrostabiliteit

8.1.1. Uitgangspunten

Voor de berekeningen is uitgegaan van de sommen die zijn aangeleverd door het waterschap Rijn en IJssel. De sommen komen uit de derde toetsronde (Arcadis, 2010) en zijn daarbij gehanteerd voor stabiliteit binnenwaarts. De sommen zijn aangepast om te kunnen toetsen op stabiliteit buitenwaarts. Hiermee worden de volgende situaties beschouwd:
- de huidige situatie (voor profiel 19 en 25);
- de toekomstige situatie voor variant 1 (profiel 19);
- de toekomstige situatie voor variant 2 (profiel 25);
- de toekomstige situatie voor variant 4 (profiel 19).

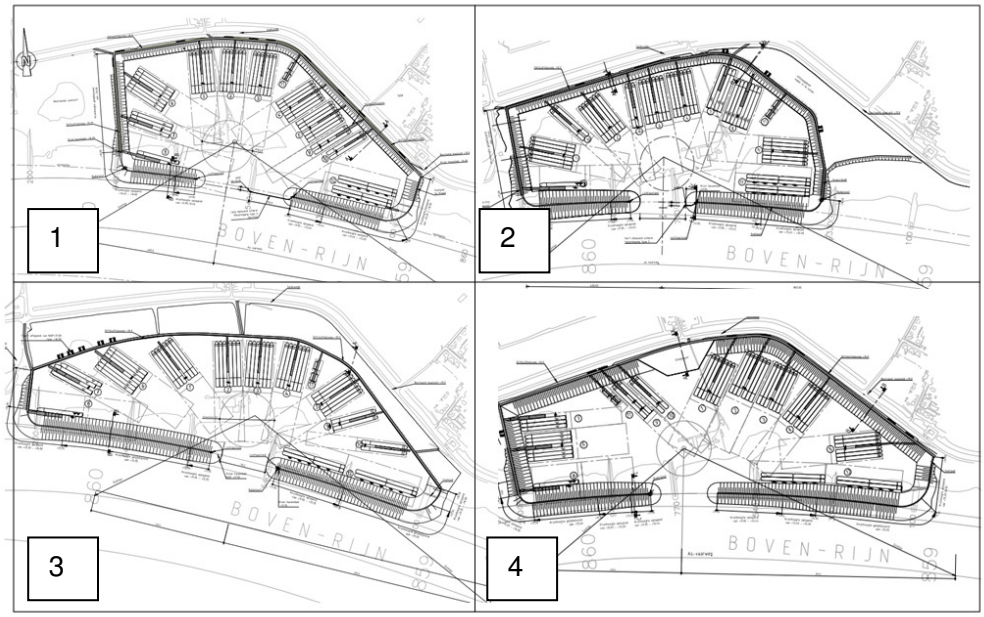
Deze profielen zijn gekozen vanwege de ligging ten opzichte van de ontgraving, zie afbeelding 8.1 en afbeelding 8.2.

Afbeelding 8.1. Locatie profielen primaire waterkering (blauwe lijn)



Bron: Arcadis, 2007

Afbeelding 8.2. Locatie varianten



Variant 3 is buiten beschouwing gelaten, omdat de damwand ver van de kering wordt aangebracht en de grond tot aan de damwand niet wordt afgegraven. De damwand zal ontworpen worden conform de Eurocode, RC3. De damwand zal daarom voldoende sterk zijn, hiermee heeft deze variant geen effect op de stabiliteit van de waterkering.

In de berekeningen zijn de schematisaties uit de aangeleverde sommen aangehouden. Deze schematisaties zijn een veilige weergave. De bodemopbouw en sterkteparameters zijn weergegeven in tabel 8.1.

Tabel 8.1. Bodemopbouw en rekenwaarden grondparameters

grondlaag	dwp 19, kruin bovenkant laag [m+NAP]	dwp 25, kruin bovenkant laag [m+NAP]	γ/γ_{sat} [kN/m^3]	c_d' [kN/m^2]	φ_d' [graden]
klei, dijk	mv	mv	19,0/19,5	3,5	24,0
zand dijk, siltig	16,0	n.v.t.	19,5/20,0	1,0	25,0
klein, bruin	13,2	15,9	18,0/18,5	2,0	26,0
zand, deklaag	n.v.t.	14,5	18,0/19,0	0,0	25,5
klein, bruin	n.v.t.	13,5	18,0/18,5	2,0	26,0
zand, ondergrond	12,0	12,0	18,0/20,0	0,0	30,0

Voor de val na hoogwater is een val van MHW naar een waterstand van eens per 10 jaar aangehouden. Dit komt overeen een val tot ongeveer NAP +14,85 m. Er is vanwege de zandige ondergrond vanuit gegaan dat de stijghoogte daalt met de buitenwaterstand en daardoor geen versterkende negatieve invloed heeft op de buitenwaartse stabiliteit. De verkeersbelasting is in de toekomstige situatie op de ontsluitingsweg of op de kruin geplaatst (belasting 13,3 kN/m). De verkeersbelasting op de ontsluitingsweg is maatgevend, deze is gerapporteerd.

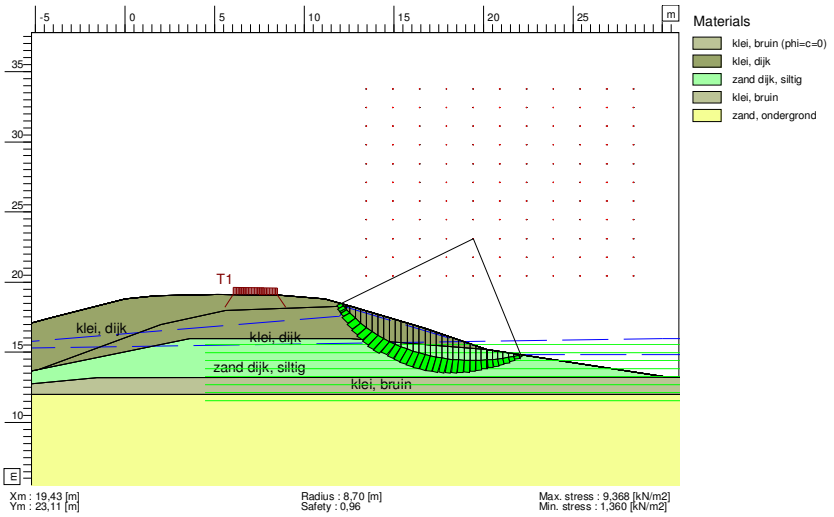
8.1.2. Huidige situatie

De sommen zijn uitgevoerd voor de huidige situatie. Er zijn twee locaties beschouwd, omdat deze ook bij de verschillende varianten van belang zijn. Opgemerkt wordt dat deze stabiliteitsfactoren niet overeenkomen met de resultaten uit de toetsing (hier voldeed de dijk op STBU), doordat de uitgangspunten voor de schematisatie van STBU afwijkt. Voor de vergelijkende beschouwing die in dit hoofdstuk is uitgevoerd, is dit echter niet relevant.

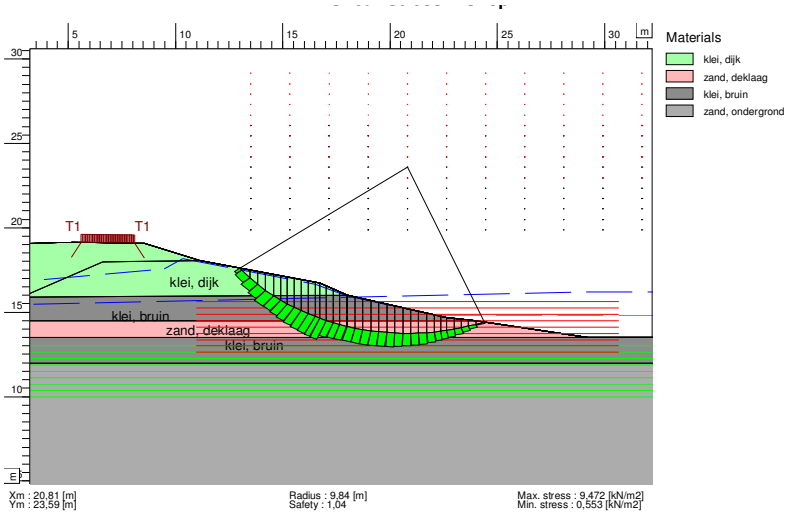
Tabel 8.2. Resultaten stabiliteitsberekeningen huidige situatie

profiel	stabiliteitsfactor STBU
dwp 19	0,96
dwp 25	1,04

Afbeelding 8.3. Maatgevende glijcirkel dwp 19



Afbeelding 8.4. Maatgevende glijcirkel dwp 25



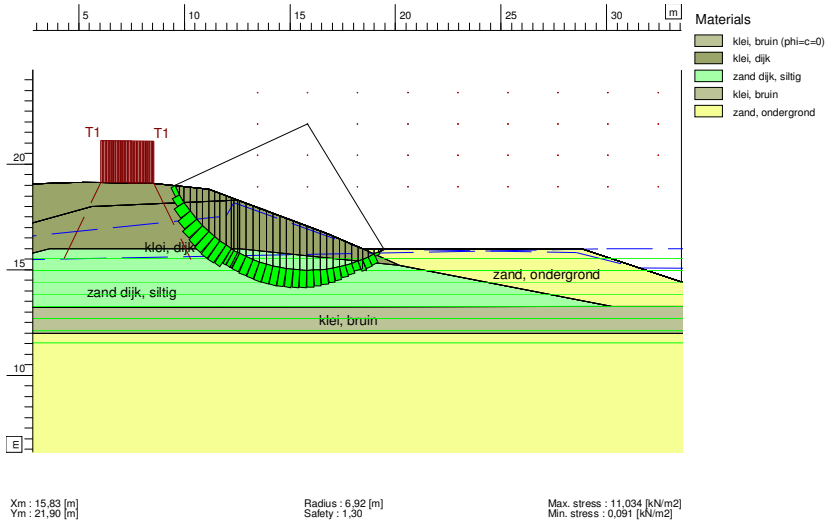
8.1.3. Toekomstige situatie

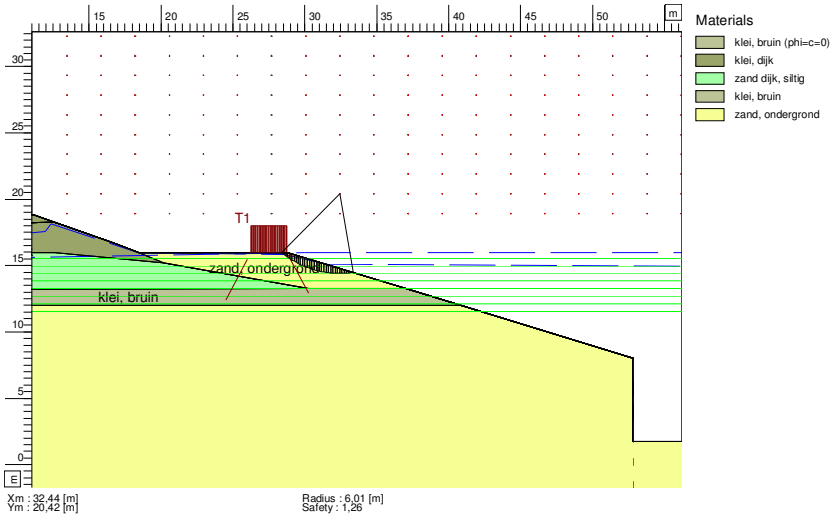
De sommen zijn gemaakt voor drie varianten. De ontwerpen van de inrichtingsvarianten (november 2014) zijn gebruikt als uitgangspunt (tekeningen AH660.1.1020 tot en met 1023). Tabel 8.3, afbeelding 8.5, afbeelding 8.6 en afbeelding 8.7 geven de resultaten van de berekeningen weer. De stabiliteit buitenwaarts neemt voor alle varianten zelf toe, dit heeft ermee te maken dat de glijcirkels in de nieuwe situatie door het zand gaan in plaats van door de klei (ter plaatse van de ontsluitingsweg).

Tabel 8.3. Resultaten stabiliteitsberekeningen toekomstige situatie (STBU)

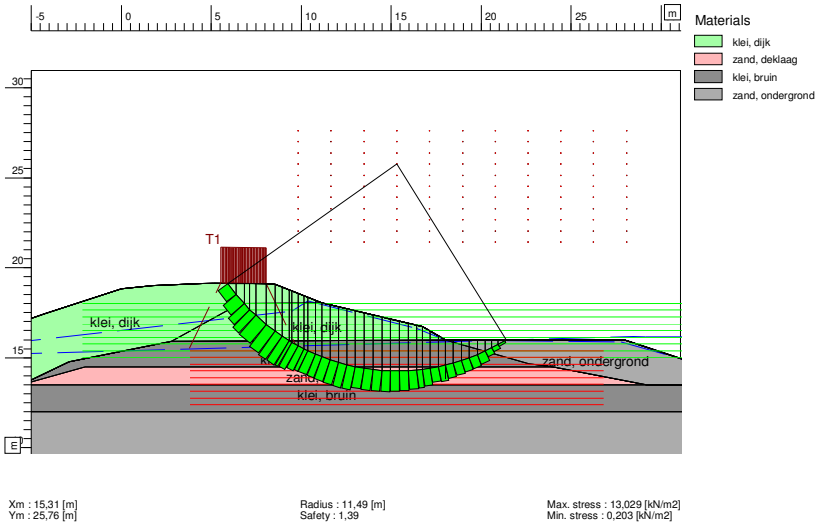
profiel	SF huidige situatie	SF variant 1	SF variant 2	SF variant 4
dwp 19	0,96	1,26	n.v.t.	1,12
dwp 25	1,04	n.v.t.	1,13	n.v.t.

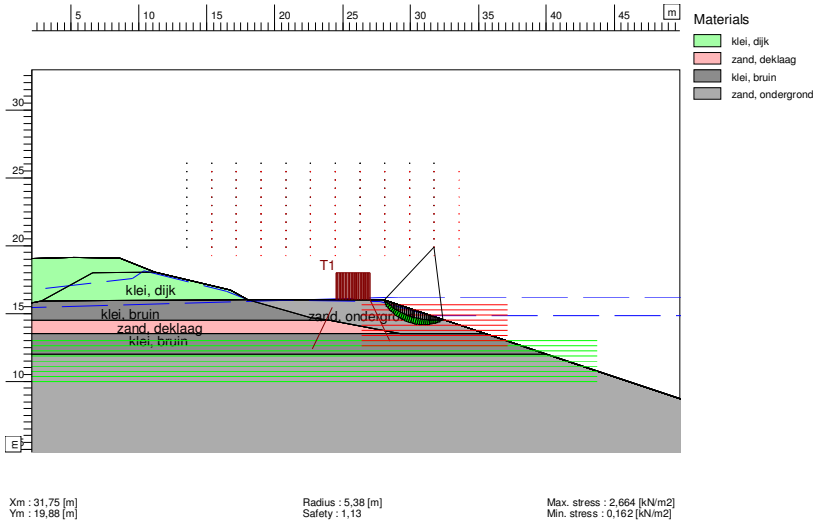
Afbeelding 8.5. Variant 1, dwp 19



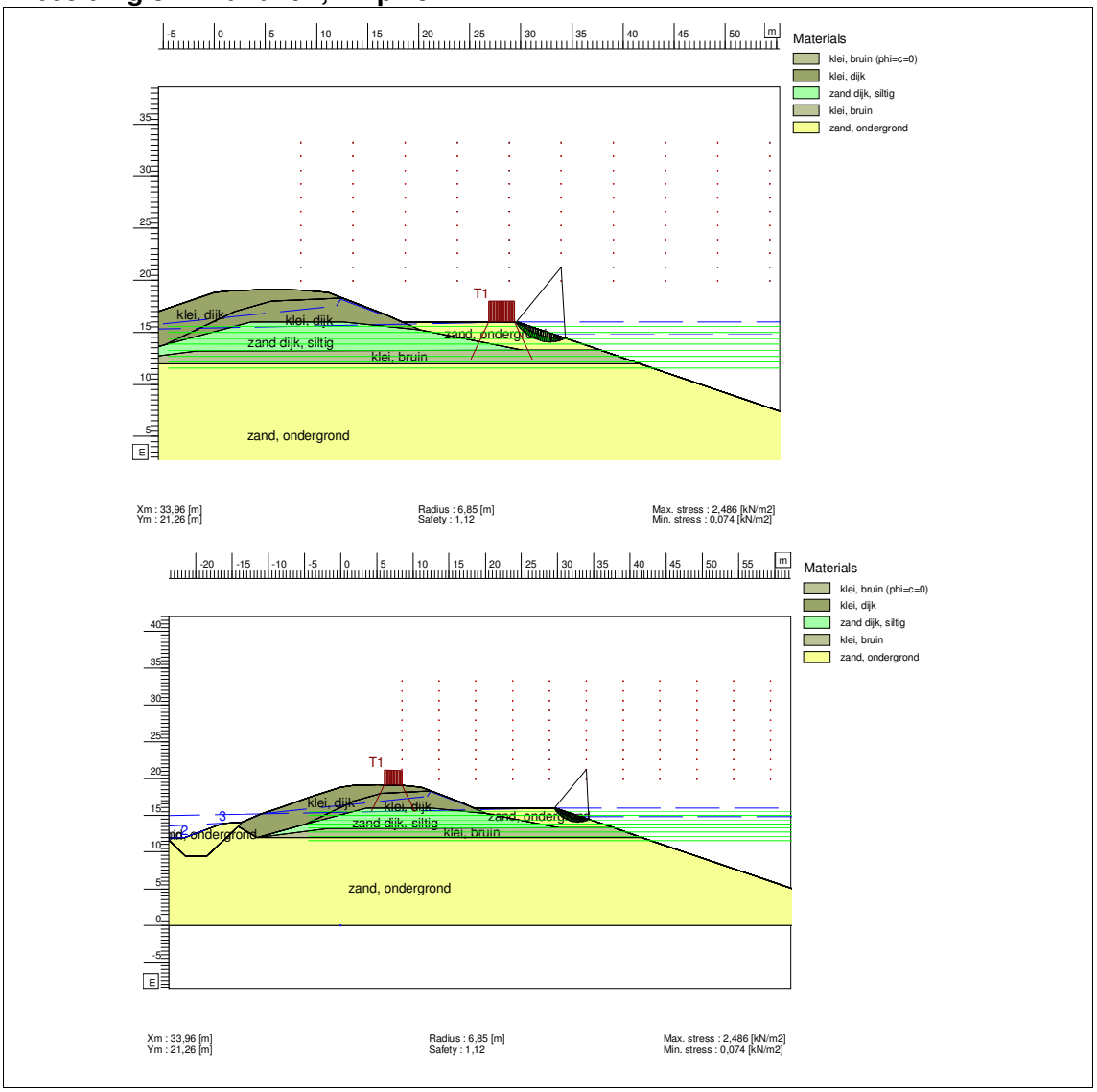


Afbeelding 8.6. Variant 2





Afbeelding 8.7. Variant 4, Dwp 19



8.2. Piping

Er is in de huidige situatie een filterconstructie aanwezig die piping tegengaat. Er is op het voorland over het algemeen een relatief dunne kleilaag (circa 0,5 à 2 m) aanwezig die lokaal dikker is (tot circa 4 meter aan de zuid-oostzijde) maar vaker nog afwezig (bron: Dibec, 2004). Een doorgaande kleilaag over het voorland is alleen aanwezig ter hoogte van de bocht in de Spijksedijk (tussen Spijk en Ameidsedam). De kleilaag is hier het dunst het dichtst bij de dijk.

Bij de varianten 1, 2 en 4 wordt deze kleilaag vanaf circa 20 meter vanaf de teen van de dijk afgegraven. Bij variant 4 blijft ter hoogte van Ameidsedam een stuk voorland bestaan, dit heeft een positieve werking omdat de kwelweglengte hier lokaal langer blijft (op dit stuk bevindt zich geen grindkoffer). De kering heeft in de huidige situatie al onvoldoende kwelweg, en is daarom van een filterconstructie is voorzien.

In de praktijk kan de intredeweerstand echter wel (tijdelijk) afnemen als gevolg van het afgraven van deze kleilaag. Er wordt weerstand tegen piping weggenomen die nu van nature aanwezig is. Hierdoor zal de belasting op de grindkoffer toenemen. Waarschijnlijk zal de haven in de loop van de tijd - binnen enkele maanden tot maximaal een half jaar (na het optreden van een/enkele hoge waterstanden) - dichtslibben, waarbij er naar verwachting eenzelfde intredeweerstand zal ontstaan als er voorheen op het voorland aanwezig was. De mate waarin deze weerstand zal toenemen en op welke termijn is echter moeilijk aantoonbaar en nu niet meegenomen in de beoordeling.

In een eerder onderzoek naar een haven op deze locatie (Arcadis, 2007) en het onderzoek naar de grindkoffer in de derde toetsronde (Grontmij, 2004) is het functioneren van de grindkoffer beschouwd. In het onderzoek van Arcadis is de opbouw van het filter beschouwd en zijn PlaxFlow-berekeningen gemaakt om de toename van het verhang over het filter te beschouwen. Bij de PlaxFlow-berekening is er voor de situatie met haven van uitgegaan er geen weerstand is tussen de rivierwaterstand en de grondwaterstand in de zandlaag (dichtslibben van de haven is dus niet meegenomen). Ter plaatse van het voorland is uitgegaan van een de bodemsamenstelling conform het rapport Grondstromenplan (Dibec B.V., 2005).

Op basis van de PlaxFlow-berekeningen is geconcludeerd dat voor de maatgevende situatie (grote zandwinplas, veel klei aanwezig op het voorland) de toename in het potentiaal 0,07 m bedraagt. Bij een stijging van de waterstand van NAP +18 m naar NAP +19 m (overeen-komend met een afvoer van de Bovenrijn van 18.000 m^3/s) neemt het potentiaalverschil toe met enkele centimeters.

Materiaal uit de onderliggende lagen mag niet door de bovenliggende lagen uitspoelen. Op basis van de filterregels is een toetsing uitgevoerd. Er kan geen oordeel ‘goed’ worden gegeven op basis van de aanwezige zandlagen. Daarom is de toetsing vervolgd met een controle op het verhang over het filter. Voor het aangetroffen materiaal wordt gesteld dat het verhang niet groter mag zijn dan 1. Uit de PlaxFlow-berekeningen volgt een maximaal verhang van 0,35 ter plaatse van de overgang van de zandondergrond naar het filter. Op basis van deze analyse kan worden geconcludeerd dat de grindkoffer ook voor de toekomstige situatie voldoet.

8.3. Golfoploop en golfoverslag

In de rivierkundige effectenanalyse is de opstuwing ter plaatse van de waterkering bepaald per variant. De resultaten zijn weergegeven in tabel 8.4. Te zien is dat de verschillen tussen de varianten verwaarloosbaar zijn, maar dat er wel degelijk rekening moet worden gehouden met een toename van de golfoploop en golfoverslag door een verhoogde waterstand.

Tabel 8.4. Vergelijking effectbeoordeling Spijk varianten (uit rivierkundige effect-analyse)

variant	oost	west	zuid	bril
opstuwing bij waterkering	5,0 cm	6,0 cm	5,2 cm	5,0 cm

In een eerder onderzoek naar een haven op deze locatie (Arcadis, 2007) is geconcludeerd dat het effect op de golfhoogte en periode (door afgraving van het voorland) beperkt is (respectievelijk 0,01 m en 0,6 seconden). De golfoverslag wordt met name bepaald door de opstuwing en neemt op de maatgevende locatie (dwp 26 en 27) toe van circa 1 tot circa

2 l/s/m. Ter plaatse van dwarsprofiel 19 neemt de golfoverslag weliswaar toe (van 0,15 tot 0,28 l/s/m), maar blijft nog steeds ruim onder de 1 l/s/m.

Door de rivierkundige opstuwing neemt in alle varianten de veiligheid tegen golfoploop en golfoverslag licht af. Het overslagdebiet neemt met ongeveer een factor 2 toe tot maximaal 2 l/m/s. Om aan wettelijke normen te blijven voldoen is daardoor een maatregel nodig of dient de dijk onderzocht te worden op overslagbestendigheid.

Op basis van deze resultaten wordt in het Arcadis rapport een kruinverhoging van 0,10m voorgesteld. Een andere mogelijkheid is om (tijdelijk) een hoger overslagdebiet toe te staan tot een volgende dijkverbetering. Hierbij dient nog wel te worden aangetoond dat de dijk met een hoger overslagdebiet nog steeds voldoende veilig is.

8.4. Uitbreidbaarheid en toekomstvastheid

De haven mag een toekomstige dijkversterking niet in de weg staan. Om deze reden is een profiel van vrije ruimte opgenomen in de legger. Het profiel van vrije ruimte voorziet in een kruinverhoging met 1 meter en de bijbehorende versterking *binnenwaarts*. De varianten staan een dijkversterking binnenwaarts niet in de weg, dus kan worden gesteld dat aan de eisen van uitbreidbaarheid wordt voldaan. Bij maatregelen aan de buitenzijde wordt rekening gehouden met deze extra belasting.

Ook is een inschatting gemaakt van de consequenties vanuit de nieuwe normering, op basis van het Ontwerp Instrumentarium 2014[1]. De opgave op basis van de nieuwe normering en rekenregels voor de Spijkse Dijk is zowel verhogen als versterken. Het betreft een verwachte verhoging van de dijk met circa 80 cm, dit is dus *minder* dan in het profiel van vrije ruimte is opgenomen. Er zijn door het waterschap Rijn en IJssel twee opties gedefinieerd voor de dijkverbetering:

1. verhoging van de dijk met 80 cm en verbreding binnendijks in combinatie met verplaatsing en mogelijk uitbreiding van de binnendijks gelegen grindkoffer. Deze oplossing valt binnen het profiel van vrije ruimte;
2. verhoging van de dijk met 80 cm en verbreding binnendijks in combinatie met een binnendijkse steunberm en een buitendijkse voorland verbetering van 100 m (kleidek). Deze oplossing wordt aan de buitenzijde beperkt door de varianten 1, 2 en 4. Dit betekent dat de hydraulische belasting op de grindkoffer mogelijk toeneemt in de toekomst. Voor variant 3 kan dit slechts gedeeltelijk worden ondervangen door het aanbrengen van een voorlandverbetering van 50 m.

8.5. Benodigde aanpassingen aan waterkering om aan normen en leidraden te voldoen

Tabel 8.5 laat zien dat de conclusies ten aanzien van waterveiligheid voor alle varianten ongeveer gelijk zijn.

Tabel 8.5. Benodigde aanpassingen per variant

variant	aanpassing waterkering
variant 1 'oost'	- de kering blijft voldoen aan de eisen voor buitenwaartse stabiliteit: geen aanpassing; - de grindkoffer blijft functioneren in de toekomstige situatie: geen aanpassing; - het overslagdebiet neemt toe als gevolg van opstuwing; mogelijk verhoging kruin met 10 cm.
variant 2 'west'	- de kering blijft voldoen aan de eisen voor buitenwaartse stabiliteit: geen aanpassing; - de grindkoffer blijft functioneren in de toekomstige situatie: geen aanpassing;

[1] Hierbij moet worden opgemerkt dat het OI2014 bedoeld is voor verkenningen, er zitten nog onzekerheden in.

variant	aanpassing waterkering
	- het overslagdebiet neemt toe als gevolg van opstuwing; mogelijk verhoging kruin met 10 cm.
variant 3 'zuid'	- de kering blijft voldoen aan de eisen voor buitenwaartse stabiliteit: geen aanpassing; - de grindkoffer blijft functioneren in de toekomstige situatie: geen aanpassing; - het overslagdebiet neemt toe als gevolg van opstuwing; mogelijk verhoging kruin met 10 cm.
variant 4 'brilvariant'	- de kering blijft voldoen aan de eisen voor buitenwaartse stabiliteit: geen aanpassing; - de grindkoffer blijft functioneren in de toekomstige situatie: geen aanpassing; - het overslagdebiet neemt toe als gevolg van opstuwing; mogelijk verhoging kruin met 10 cm.

9. EFFECTEN VARIANTEN EN MITIGATIE EN COMPENSATIE SPIJK

9.1. Effecten varianten

9.1.1. Effectbeschrijving waterveiligheid

In deze paragraaf worden de effecten kwalitatief beschreven. Ter onderbouwing van het ontwerp is daarnaast ook een kwantitatieve beoordeling van de varianten uitgevoerd. Deze veiligheidstoetsing is opgenomen in hoofdstuk 10.

Variant 1 'Oost'
Om de haven te realiseren worden werkzaamheden aan de buitenzijde van de waterkering (buiten de kernzone) uitgevoerd. Het aanwezige voorland wordt afgegraven en de waterbodem komt hier op een diepte van NAP +1,73 m te liggen (hoogte voorland op circa NAP +13,5 m). Er wordt een damwand geplaatst op circa 24 meter uit de huidige teen van de dijk. Deze damwand zal robuust en toekomstbestendig worden ontworpen. De grond tussen de kering en de damwand wordt afgegraven onder een talud van 1:3 en hierop wordt een taludbescherming aangebracht.

De effecten op de kering ten aanzien van stabiliteit (buitenwaarts en piping) zijn klein. De stabiliteit buitenwaarts neemt niet af, de grindkoffer zorgt er zowel in de huidige als de toekomstige situatie voor dat piping niet kan optreden. Ten aanzien van de hoogte leidt de opstuwing tot een toename van het overslagdebiet, waardoor de veiligheid afneemt. Alle varianten krijgen daarom een licht negatieve beoordeling.

De steigers worden op een later moment zo ingepast dat ze geen negatieve invloed hebben op de waterveiligheid. Aandachtpunt hierbij is met name een goede detaillering van de aansluiting op de oeverbekleding.

Variant 2 'West'
Variant 2 varieert ten opzichte van variant 1 alleen in de ligging ten opzichte van de primaire waterkering. Om de haven te realiseren worden werkzaamheden aan de buitenzijde van de waterkering (buiten de kernzone) uitgevoerd. Het aanwezige voorland wordt afgegraven en de waterbodem komt hier op een diepte van NAP +1,73 m te liggen (hoogte voorland op circa NAP +13,5 m). Er wordt een damwand geplaatst op circa 24 meter uit de huidige teen van de dijk. Deze damwand zal robuust en toekomstbestendig worden ontworpen. De grond tussen de kering en de damwand wordt afgegraven onder een talud van 1:3 en hierop wordt een taludbescherming aangebracht.

De effecten op de kering ten aanzien van stabiliteit (buitenwaarts en piping) zijn klein. De stabiliteit buitenwaarts neemt niet af, de grindkoffer zorgt er zowel in de huidige als de toekomstige situatie voor dat piping niet kan optreden. Ten aanzien van de hoogte leidt de opstuwing tot een toename van het overslagdebiet, waardoor de veiligheid afneemt. Alle varianten krijgen daarom een licht negatieve beoordeling.

De steigers worden op een later moment ingepast dat ze geen negatieve invloed hebben op de stabiliteit van de dijk.

Variant 3 'Zuid'
Bij variant 3 wordt op relatief grote afstand (deze afstand is variabel, maar over het algemeen groter dan 50 m) van de primaire waterkering een damwand aangebracht. Deze damwand zal robuust en toekomstbestendig worden ontworpen. Tussen de damwand en de waterkering wordt geen grond afgegraven. De effecten op de kering ten aanzien van stabiliteit (buitenwaarts en piping) zijn klein. De stabiliteit buitenwaarts neemt niet af, de grindkoffer zorgt er zowel in de huidige als de toekomstige situatie voor dat piping niet kan optreden. Ten aanzien van de hoogte leidt de opstuwing tot een toename van het overslagdebiet, waardoor de veiligheid afneemt. Alle varianten krijgen daarom een licht negatieve beoordeling.

De steigers worden op een later moment zo ingepast dat ze geen negatieve invloed hebben op de waterveiligheid. Aandachtpunt hierbij is met name een goede detaillering van de aansluiting op de oeverbekleding.

Variant 4 'Brilvariant'
Bij variant 4 wordt geen damwand toegepast bij de aanlegplaatsen. De grond wordt onder een talud van 1:3 afgegraven en hierop wordt een taludbescherming aangebracht. Er wordt een uitkijkpunt gecreëerd, waarbij wel een damwand wordt aangebracht, op relatief grote afstand van de primaire waterkering (op circa 77 meter afstand van de huidige teen). Deze damwand zal robuust en toekomstbestendig worden ontworpen.

De effecten op de kering ten aanzien van stabiliteit (buitenwaarts en piping) zijn klein. De stabiliteit buitenwaarts neemt niet af, de grindkoffer zorgt er zowel in de huidige als de toekomstige situatie voor dat piping niet kan optreden. Ten aanzien van de hoogte leidt de opstuwing tot een toename van het overslagdebiet, waardoor de veiligheid afneemt. Alle varianten krijgen daarom een licht negatieve beoordeling.

De steigers worden op een later moment zo ingepast dat ze geen negatieve invloed hebben op de waterveiligheid. Aandachtpunt hierbij is met name een goede detaillering van de aansluiting op de oeverbekleding.

9.1.2. Effectbeschrijving uitbreidbaarheid

De haven mag een toekomstige dijkversterking niet in de weg staan. Om deze reden is een profiel van vrije ruimte opgenomen in de legger. Het profiel van vrije ruimte voorziet in een kruinverhoging met 1 meter en de bijbehorende versterking *binnenwaarts*. Geen van de varianten staan een dijkversterking binnenwaarts in de weg, dus kan worden gesteld dat aan de wettelijke eisen van uitbreidbaarheid wordt voldaan. Alle varianten scoren hiermee neutraal.

9.1.3. Effectbeschrijving toekomstvastheid

Door de nieuwe normering moet de primaire waterkering mogelijk worden versterkt. Voor een versterking is ruimte benodigd. Varianten die op grotere afstand liggen van de dijk scoren minder slecht ten aanzien van toekomstvastheid en zullen daarmee een neutrale tot licht negatieve beoordeling krijgen. De beoordeling is hiermee gelijk aan de effect-beschrijving 'uitbreidbaarheid'.

Er is een inschatting gemaakt van de consequenties vanuit de nieuwe normering, op basis van het Ontwerp Instrumentarium 2014. De opgave op basis van de nieuwe normering en rekenregels voor de Spijkse Dijk is zowel verhogen als versterken. Het betreft een verhoging van de dijk met maximaal circa 80 cm, dit is dus *minder* dan in het profiel van vrije ruimte is opgenomen. Er zijn door het waterschap Rijn en IJssel twee opties gedefinieerd voor de dijkverbetering:

1. verhoging van de dijk met 80 cm en verbreding binnendijks in combinatie met verplaatsing en mogelijk uitbreiding van de binnendijks gelegen grindkoffer. Deze oplossing valt dus binnen het profiel van vrije ruimte;
2. verhoging van de dijk met 80 cm en verbreding binnendijks in combinatie met een binnendijkse steunberm en een buitendijkse voorland verbetering van 100 m (kleidek).

Vooralsnog houden we in de afweging naar een voorkeursvariant voor Spijk geen rekening met de eventuele belemmeringen van de inrichting/locatie voor de hydraulische effectiviteit van een eventuele toekomstige overlaat.

Variant 1 'Oost'
In deze variant is optie 1 voor een toekomstige dijkverbetering uitvoerbaar. Optie 2 wordt door deze variant onmogelijk gemaakt, omdat de haven daarvoor te dicht bij de dijk komt te liggen. Dit betekent dat de hydraulische belasting op de grindkoffer licht toeneemt in de toekomst. Deze variant scoort daarom negatief.

Variant 2 'West'
In deze variant is optie 1 voor een toekomstige dijkverbetering uitvoerbaar. Optie 2 wordt door deze variant onmogelijk gemaakt, omdat de haven daarvoor te dicht bij de dijk komt te liggen. Dit betekent dat de hydraulische belasting op de grindkoffer licht toeneemt in de toekomst. Deze variant scoort daarom negatief.

Variant 3 'Zuid'
In deze variant is optie 1 voor een toekomstige dijkverbetering uitvoerbaar. Optie 2 is bij deze variant deels mogelijk. Van de voorziene 100 meter voorlandverbetering is bij deze variant 50 meter mogelijk. Deze variant scoort daarom licht negatief.

Variant 4 'Brilvariant'
In deze variant is optie 1 voor een toekomstige dijkverbetering uitvoerbaar. Optie 2 wordt door deze variant onmogelijk gemaakt, omdat de haven daarvoor te dicht bij de dijk komt te liggen. Dit betekent dat de hydraulische belasting op de grindkoffer licht toeneemt in de toekomst. Deze variant scoort daarom negatief.

9.1.4. Overzicht effectbeoordeling

Vergelijkingstabel varianten
Tabel 9.1 geeft een totaaloverzicht van de effecten van de varianten van Spijk op het thema dijkstabiliteit. Daaruit blijkt dat er alleen onderscheid is op het criterium toekomstvastheid. De zuidelijke ligging van variant 3 biedt gedeeltelijk ruimte voor een voorlandverbetering in het kader van de nieuwe normering en scoort daarom slechts licht negatief. De overige varianten bieden deze ruimte niet en scoren daarmee negatief

Tabel 9.1. Beoordeling varianten

effect	variant 1	variant 2	variant 3	variant 4
waterveiligheid	-	-	-	-
uitbreidbaarheid	0	0	0	0
toekomstvastheid	-	-	-/0	-

9.1.5. Conclusies

De variant 3 'Zuid' komt verder van de primaire waterkering te liggen dan de overige varianten en scoort hierdoor minder slecht op toekomstvastheid. Ten aanzien van het effect waterveiligheid, scoren alle varianten gelijk, omdat ze allemaal enerzijds aan de geldende normen moeten voldoen en anderzijds de opstuwing leidt tot een afname van de waterveiligheid.

9.2. Mitigatie en compensatie

Om de toename van de overslag te mitigeren, kan de bestaande kruin 10 cm worden verhoogd. Hierdoor blijft de overslag (en dus de waterveiligheid) gelijk aan de huidige situatie.

10. BESCHOUWING WATERVEILIGHEID SPIJK VOORKEURSVARIANT EN FIETSPAD

In dit hoofdstuk is de waterveiligheid beschouwd van zowel de overnachtingshaven Spijk als de aanleg van het fietspad ter hoogte van de Beijenwaard.

Om de voorkeursvariant van de OHL en het separaat fietspad te realiseren worden werkzaamheden aan de buitenzijde van de waterkering (binnen en buiten de kernzone) uitgevoerd. De kruin wordt verbreed en het buitentalud wordt (deels) opnieuw aangelegd. Ten behoeve van de overnachtingshaven wordt het aanwezige voorland afgegraven. De waterbodem komt hier op een diepte van NAP +1,52 m te liggen (hoogte voorland op circa NAP +13,5 m). Het buitentalud van de kering wordt grotendeels aangepast. Deze werkzaamheden kunnen invloed hebben op de volgende faalmechanismen:

- macrostabiliteit buitenwaarts: een ingreep in de bodem op een beperkte afstand van de kering kan van invloed zijn op de stabiliteit van de kering. Dit faalmechanisme wordt besproken in paragraaf 10.1;
- piping: een ingreep in de bodem op een beperkte afstand van de kering kan een intredepunt veroorzaken, waardoor de kwelweg afneemt. Dit faalmechanisme wordt besproken in paragraaf 10.2;
- golfoploop en overloop: de aanleg van de haven kan lokaal zorgen voor een verhoogde waterstand. In de rivierkundige effectstudie zijn de effecten op de waterstand berekend. Dit faalmechanisme wordt besproken in paragraaf 10.3;
- stabiliteit bekleding: De bekleding op het buitentalud wordt (deels) opnieuw aangebracht. Na aanleg dient de bekleding de golfaanval vanaf het water en schroefstraalstroming van schepen te weerstaan. Dit faalmechanisme is beschreven in paragraaf 10.4;
- stabiliteit voorland: doordat het voorland gedeeltelijk wordt afgegraven, neemt de aandrijvende kracht af. De stabiliteit ten aanzien van afschuiving van het voorland verslechtert hierdoor niet (het is voldoende om te toetsen aan stabiliteit buitenwaarts). Ten aanzien van zettingsvloeiing wordt in de eindsituatie ook geen negatieve invloed verwacht door de aanleg van bestorting op het onderwatertalud. Deze bestorting is ontworpen op de maatgevende scheepsbelasting. Dit faalmechanisme is daarom buiten beschouwing gelaten. In de tijdelijke situatie (aanlegfase) wanneer er nog geen

bestorting aanwezig is, dient middels CUR aanbeveling 133 aangetoond te worden dat zettingsvloeiing niet kan optreden bij de gekozen ontgravingsmethode.

10.1. Macrostabiliteit

10.1.1. Uitgangspunten

Voor de berekeningen is uitgegaan van de sommen die zijn aangeleverd door het waterschap Rijn en IJssel. De sommen komen uit de derde toetsronde (Arcadis, 2010) en zijn daarbij gehanteerd voor stabiliteit binnenwaarts. De sommen zijn aangepast om te kunnen toetsen op stabiliteit buitenwaarts. Hiermee zijn de volgende situaties beschouwd:
- de huidige situatie (voor profiel DWP 11, 19 en 25), zie paragraaf 10.1.2;
- de aangepaste situaties, zie paragraaf 10.1.3.

De beschouwde profielen zijn door het waterschap beschikbaar zijn gesteld vanuit de stabiliteitsberekeningen voor de laatste veiligheidstoetsing (Arcadis 2010). Ze zijn representatief voor de gehele dijkstrekking langs de OHL.

In de berekeningen zijn de schematisaties uit de aangeleverde sommen aangehouden. Deze schematisaties zijn een veilige weergave van de werkelijkheid. De bodemopbouw en sterkteparameters zijn weergegeven in tabel 10.1.

Tabel 10.1. Bodemopbouw en rekenwaarden grondparameters

grondlaag	dwp 19, kruin bovenkant laag [m+NAP]	dwp 25, kruin bovenkant laag [m+NAP]	γ/γ_{sat} [kN/m^3]	c_d' [kN/m^2]	φ_d' [graden]
klei, dijk	mv	mv	19,0/19,5	3,5	24,0
zand dijk, siltig	16,0	n.v.t.	19,5/20,0	1,0	25,0
klein, bruin	13,2	15,9	18,0/18,5	2,0	26,0
zand, deklaag	n.v.t.	14,5	18,0/19,0	0,0	25,5
klein, bruin	n.v.t.	13,5	18,0/18,5	2,0	26,0
zand, ondergrond	12,0	12,0	18,0/20,0	0,0	30,0

Voor de val na hoogwater is een val van MHW naar een waterstand van eens per 10 jaar aangehouden. Dit komt overeen een val tot ongeveer NAP +15,50 m aan de Duitse grens tot NAP +13,75 m bij Tolkamer. Er is vanwege de zandige ondergrond vanuit gegaan dat de stijghoogte daalt met de buitenwaterstand en daardoor geen versterkende negatieve invloed heeft op de buitenwaartse stabiliteit. De verkeersbelasting is in de toekomstige situatie op de ontsluitingsweg of op de kruin geplaatst (belasting 13,3 kN/m). Ter hoogte van de overnachtingshaven is de verkeersbelasting op de ontsluitingsweg maatgevend, deze is gerapporteerd.

10.1.2. Huidige situatie

De sommen zijn uitgevoerd voor de huidige situatie. Er zijn in totaal zeven locaties beschouwd. Opgemerkt wordt dat deze stabiliteitsfactoren niet overeenkomen met de resultaten uit de toetsing (hier voldeed de dijk overal op STBU), doordat de uitgangspunten voor de schematisatie van STBU afwijkt. Voor de vergelijkende beschouwing die in dit hoofdstuk is uitgevoerd, is dit echter niet relevant.

Tabel 10.2. Resultaten stabiliteitsberekeningen huidige situatie

profiel	stabiliteitsfactor STBU
dwp 11	1,21
dwp 19	0,96
dwp 25	1,04

De maatgevende glijcirkels zijn opgenomen in bijlage IV.

10.1.3. Na aanleg Overnachtingshaven Spijk

Er zijn voor het effectonderzoek van de voorkeursvariant en het fietspad (tracédeel langs de haven) stabiliteitsberekeningen uitgevoerd voor drie dwarsprofielen. De stabiliteit van het buitentalud neemt af voor DWP 11 maar blijft boven de norm, de stabiliteit verandert niet voor DWP 19 en voor DWP 25 neemt de stabiliteit toe. Dit laatste heeft ermee te maken dat de glijcirkels in de voorkeursvariant door het zand gaan in plaats van door de klei (ter plaatse van de ontsluitingsweg).

Tabel 10.3. Resultaten stabiliteitsberekeningen voorkeursvariant (STBU)

profiel	SF huidige situatie	Voorkeursvariant buitentalud	Voorkeursvariant talud van de haven	Voorkeursvariant talud van de poel
dwp 11	1,21	1,12	n.v.t.	n.v.t.
dwp 19	0,96	0,96	1,51	n.v.t.
dwp 25	1,04	1,38	1,14	1,13

De maatgevende glijcirkels zijn opgenomen in bijlage V.

10.1.4. Stabiliteit na lokale ontgronding

De steenbestorting op het talud van de havenkom is ontworpen op de maatgevende schroefstraalstroming. Enige schade kan daarbij niet worden voorkomen (zie paragraaf 10.4 en bijlage VI). De invloed van deze ontgrondingen op de stabiliteit van de waterkering is nader onderzocht.

Op basis van de Keur zijn ontgrondingen niet toegestaan binnen de beschermingszone. De beschermingszone ligt voor de huidige kering tot 30 m uit de buitenkruinlijn en tot 5 m uit de teen van de dijk. De mogelijke ontgrondingen moeten daarom in de toekomst in deze zone gemonitord worden (dus tot 5 m uit de toekomstige teen). Ontgrondingen buiten deze zone hebben geen negatieve invloed op dijkstabiliteit (zie bijlage VII). Terugschrijdende erosie vanuit ontgrondingen buiten de beschermingszone wordt beperkt door toepassing van een launching apron (zie bijlage VI).

Kleine ontgrondingen binnen die zone zijn niet gevaarlijk voor de dijkveiligheid. Dit is aangetoond door de stabiliteit en omvang te onderzoeken van glijcirkels die ontstaan bij lokale ontgrondingen van 2 m diep (zie bijlage VII).

De berekende ontgrondingen leiden tot zeer lokale instabiliteit. De overall veiligheid van de waterkering wordt niet beïnvloedt. Bij regelmatige monitoring (Beheer en onderhoudsplan AH660-1-320/15-015.066) zullen grotere ontgrondingen naar verwachting niet ontstaan.

10.2. Piping

Er is in de huidige situatie een filterconstructie aanwezig die piping tegengaat. Er is op het voorland over het algemeen een relatief dunne kleilaag (circa 0,5 à 2 m) aanwezig die lokaal dikker is (tot circa 4 meter aan de zuid-oostzijde) maar vaker nog afwezig (bron: Dibec, 2004). Een doorgaande kleilaag over het voorland is alleen aanwezig ter hoogte van de bocht in de Spijksedijk (tussen Spijk en Ameidsedam). De kleilaag is hier het dunst het dichtst bij de dijk.

In de voorkeursvariant wordt deze kleilaag vanaf circa 20 meter vanaf de teen van de dijk afgegraven. De kering heeft in de huidige situatie al onvoldoende kwelweg, en is daarom van een filterconstructie is voorzien.

In de praktijk kan de intredeweerstand echter wel (tijdelijk) afnemen als gevolg van het afgraven van deze kleilaag. Er wordt weerstand tegen piping weggenomen die nu van nature aanwezig is. Hierdoor zal de belasting op de grindkoffer toenemen. Waarschijnlijk zal de haven in de loop van de tijd - binnen enkele maanden tot maximaal een half jaar (na het optreden van een/enkele hoge waterstanden) - dichtslibben, waarbij er naar verwachting eenzelfde intredeweerstand zal ontstaan als er voorheen op het voorland aanwezig was. De mate waarin deze weerstand zal toenemen en op welke termijn is echter moeilijk aantoonbaar en nu niet meegenomen in de beoordeling.

In een eerder onderzoek naar een haven op deze locatie (Arcadis, 2007) en het onderzoek naar de grindkoffer in de derde toetsronde (Grontmij, 2004) is het functioneren van de grindkoffer beschouwd. In het onderzoek van Arcadis is de opbouw van het filter beschouwd en zijn PlaxFlow-berekeningen gemaakt om de toename van het verhang over het filter te beschouwen. Bij de PlaxFlow-berekening is er voor de situatie met haven van uitgegaan er geen weerstand is tussen de rivierwaterstand en de grondwaterstand in de zandlaag (dichtslibben van de haven is dus niet meegenomen). Ter plaatse van het voorland is uitgegaan van een de bodemsamenstelling conform het rapport Grondstromenplan (Dibec B.V., 2005).

Op basis van de PlaxFlow-berekeningen is geconcludeerd dat voor de maatgevende situatie (grote zandwinplas, veel klei aanwezig op het voorland) de toename in het potentiaal 0,07m bedraagt. Bij een stijging van de waterstand van NAP + 18 m naar NAP + 19 m (overeenkomend met een afvoer van de Bovenrijn van 18.000 m/s) neemt het potentiaalverschil toe met enkele centimeters.

Materiaal uit de onderliggende lagen mag niet door de bovenliggende lagen uitspoelen. Op basis van de filterregels is een toetsing uitgevoerd. Er kan geen oordeel ‘goed’ worden gegeven op basis van de aanwezige zandlagen. Daarom is de toetsing vervolgd met een controle op het verhang over het filter. Voor het aangetroffen materiaal wordt gesteld dat het verhang niet groter mag zijn dan 1. Uit de PlaxFlow-berekeningen volgt een maximaal verhang van 0,35 ter plaatse van de overgang van de zandondergrond naar het filter. Op basis van deze analyse kan worden geconcludeerd dat de grindkoffer ook voor de toekomstige situatie voldoet.

10.3. Golfoploop en golfoverslag

In de overnachtingshaven wordt de veiligheid tegen golfoploop en golfoverslag beïnvloed door twee mechanismen:
- door rivierkundige opstuwing neemt lokaal de waterstand toe;
- door het aanpassen van het buitentalud (helling 1:3 en een berm op NAP+16 m) neemt de golfoploop af.

Langs de OHL wordt voor de aanleg van het separaat fietspad de kruin verbreed, maar worden de taludhellingen niet aangepast. Het overslagdebiet wijzigt daardoor niet door de aanleg van het fietspad.

In de rivierkundige effectanalyse is de opstuwing ter plaatse van de waterkering bepaald. De maximale opstuwing ten gevolge van de aanleg van de voorkeursvariant bedraagt 0,03 m. Deze opstuwing vindt plaats langs de dijk tussen dwarsprofiel 23 en 26. Deze opstuwing op de as van de rivier moet gecompenseerd worden. De berekende opstuwing van 0,03 m langs de waterkering is daarom een overschatting. Wanneer bekend is welke compensatie-maatregelen op de rivier worden genomen, kan de exacte opstuwing bij de waterkering worden berekend.

Door de rivierkundige opstuwing neemt de veiligheid tegen golfoploop en golfoverslag af. Door aanpassing van het buitentalud neemt de veiligheid juist toe. Om de combinatie van de effecten te bepalen zijn met Hydra-R HR2006 golfoverslagberekeningen uitgevoerd. Hieruit blijkt dat het effect van het aangepaste buitentalud dominant is en het overslagdebiet afneemt van 0,7-0,8 l/m/s tot 0,4-0,7 l/m/s. De berekeningen zijn opgenomen in Bijlage III.

In de onderstaande tabel is voor het overzicht een opsomming gegeven van specifiek het effect op golfoploop en -overslag.

Tabel 3.4. Overzicht resultaten toets op golfoploop en -overslag

traject	huidig overslagdebiet [l/m/s]	overslagdebiet na uitvoering project [l/m/s]	oorzaak verschil	compensatie
OHL: DP26 - DP23	0,7 - 0,8	0,4 - 0,5	rivierkundige opstuwing gecompenseerd door kleinere golfoploop op nieuw buitentalud	geen
OHL: DP23 - DP16	0,7	0,7	geen wijzigingen	geen
OHL:DP16 - DP11	1,0	0,7	aanleg talud 1:3	geen

10.4. Stabiliteit bekleding

Bij aanpassingen aan het buitentalud wordt de huidige grasbekleding verwijderd en wordt het talud aangevuld met klei van erosieklasse 1 of 2. Op de kleiaanvulling wordt een de vergraven teelaardelaag teruggeplaatst en opnieuw ingezaaid.

De bekleding op het dijktalud wordt uitgevoerd in minimaal een erosiebestendige klei van erosieklasse 1 of 2. Bij grote aanvullingen is dit minimaal een dikte van 0,8 m, bij aanvullingen met een dikte kleiner dan 0,8 m wordt de gehele aanvulling uitgevoerd in klei van erosieklasse 1 of 2.

Voor de aanhechting van de klei wordt het huidige talud 0,2 m ingekast. De huidige leeflaag van 0,2 m (met de grasbekleding) wordt daarbij verwijderd en in depot gezet alvorens de nieuwe klei aan te brengen. Deze leeflaag wordt na aanbrengen van de klei aan de buitenzijde teruggeplaatst en ingezaaid voor de ontwikkeling van een erosiebestendige grasmat.

De golfbelasting op het talud is maximaal H_s=0,45 m. Een goede grasmat is conform het Addendum bij de Leidraad Rivieren voldoende om deze golfbelasting te weerstaan. Een kleibekleding is in het kader van golferosie niet noodzakelijk. Door de aanwezigheid van erosiebestendige klei op een kleidijk (kernmateriaal van de dijk is zandige klei) is onder de grasmat veel aanvullende sterkte aanwezig tegen erosie door golfklap en golfoploop.

In het Addendum I ten behoeve van het ontwerpen bij de Leidraad Rivieren (ENW 2008) wordt in de paragraaf 3.3 'Ontwerpmethode voor grasbekleding op buitentalud' een met de hoogte afnemend, wigvormig, dikteverloop van kleibekleding op het buitentalud van dijken in het rivierengebied als richtlijn en als ontwerpregel gegeven. De motivering daarvoor is drieërlei en wel dat (i) de lagere delen op het talud langer aan de belasting van bewegend water blootstaan dan hoger op het talud (ii) dat infiltratie in dat deel van het talud dat het langst onder water staat erdoor wordt gehinderd en dat (iii) de stabiliteit bij vallend buitenwater water hoger zou zijn.

Omdat de richtlijnen onvoldoende zijn toegesneden op het ontwerpen op erosie-bestendigheid van een gras-/kleibekleding op het buitentalud van een rivierdijk stelt het addendum in 2008: 'Om deze reden zal Deltares op korte termijn starten met een onderzoek dat moet leiden tot een op rivierdijken toegesneden ontwerpmethode. In afwachting van resultaten van dit onderzoek wordt in dit addendum een ontwerpmethode gegeven. Deze ontwerpmethode wordt geacht voor dit moment voldoende robuust te zijn. Het bedoelde onderzoek is inmiddels afgerond en gerapporteerd (Deltares 2010[1]). In dit onderzoek wordt geconcludeerd dat een laag van 0,8 m gerijpte, erosiebestendige klei voldoende stabiel is.

De verharding van het fietspad wordt uitgevoerd in asfalt. Asfalt is in staat op het maximale overslagdebiet van 1,0 l/m/s veilig te weerstaan. Voor de aansluiting op de kleibekleding wordt de fundering onder het fietspad ingesloten in een geotextiel en wordt de kleibekleding hier tegenaan geplaatst.

Lager op het talud (op het talud van de haven) is een harde bekleding voorzien van stortsteen. Deze bekleding dient bestand te zijn tegen windgolven, boeg- en hekgolven van schepen en tegen schroefstraalstroming. Een onderbouwing van de stabiliteit van de steenbekledingen is opgenomen in de separate notitie over de taludbescherming (AH660-1-310/15-012.962) en bijgevoegd in bijlage VI.

10.5. Uitbreidbaarheid en toekomstvastheid

De haven mag een toekomstige dijkversterking niet in de weg staan. Om deze reden is een profiel van vrije ruimte opgenomen in de legger. Het profiel van vrije ruimte voorziet in een kruinverhoging met 1 meter en de bijbehorende versterking *binnenwaarts*. De voorkeurs-variant staat een dijkversterking binnenwaarts niet in de weg, dus kan worden gesteld dat aan de eisen van uitbreidbaarheid wordt voldaan.

---

[1] Deltares (2010), Studie voor richtlijnen klei op dijktaluds in het rivierengebied, kenmerk 1202512-000-GEO-0002, 16 juli 2010.

Ook is een inschatting gemaakt van de consequenties vanuit de nieuwe normering, op basis van het Ontwerp Instrumentarium 2014[1]. De opgave op basis van de nieuwe normering en rekenregels voor de Spijkse Dijk is zowel verhogen als versterken. Het betreft een verwachte verhoging van de dijk met circa 80 cm, dit is dus *minder* dan in het profiel van vrije ruimte is opgenomen.

Er zijn door het waterschap Rijn en IJssel twee opties gedefinieerd voor de dijkverbetering:
1. verhoging van de dijk met 80 cm en verbreding binnendijks in combinatie met verplaatsing en mogelijk uitbreiding van de binnendijks gelegen grindkoffer. Deze oplossing valt binnen het profiel van vrije ruimte;
2. verhoging van de dijk met 80 cm en verbreding binnendijks in combinatie met een binnendijkse steunberm en een buitendijkse voorland verbetering van 100 m (kleidek). Deze oplossing wordt aan de buitenzijde beperkt door de voorkeursvariant. Dit betekent dat de hydraulische belasting op de grindkoffer mogelijk toeneemt in de toekomst.

10.6. Benodigde aanpassingen aan waterkering om aan normen en leidraden te voldoen

De conclusies ten aanzien van waterveiligheid voor de voorkeursvariant zijn als volgt:
- de kering blijft voldoen aan de eisen voor buitenwaartse stabiliteit: geen aanpassing;
- de grindkoffer blijft functioneren in de toekomstige situatie: geen aanpassing;
- de nieuwe bekleding is bestand tegen erosie door golfaanval, golfoploop en stroming. De stabiliteit van de bekleding op de kruin en op het buitentalud voldoet.

11. GEHONOREERDE MITIGATIE EN COMPENSATIE EN EFFECTEN VOORKEURSVARIANT SPIJK EN FIETSPAD

11.1. Gehonoreerde mitigatie en compensatie

In de voorkeursvariant zijn geen mitigerende of compenserende maatregelen meegenomen.

11.2. Effecten voorkeursvariant Overnachtingshaven Spijk

In deze paragraaf worden de effecten van de voorkeursvariant kwalitatief beschreven. Ter onderbouwing van het ontwerp is daarnaast ook een kwantitatieve beoordeling van de voorkeursvariant uitgevoerd. Deze veiligheidstoetsing is opgenomen in hoofdstuk 10.

11.2.1. Waterveiligheid

Om de haven te realiseren worden werkzaamheden aan de buitenzijde van de waterkering (binnen en buiten de kernzone) uitgevoerd. Het buitentalud wordt aangepast. Het aanwezige voorland wordt afgegraven en de waterbodem komt hier op een diepte van NAP +1,52 m te liggen (hoogte voorland op circa NAP +13,5 m). De grond wordt onder een talud van 1:3 afgegraven en hierop wordt een taludbescherming aangebracht.

De effecten op de kering ten aanzien van stabiliteit (buitenwaarts en piping) zijn klein. De stabiliteit buitenwaarts neemt niet af.

[1] Hierbij moet worden opgemerkt dat het OI2014 bedoeld is voor verkenningen, er zitten nog onzekerheden in.

De grindkoffer zorgt er zowel in de huidige als de toekomstige situatie voor dat piping niet kan optreden. De voorkeursvariant wijkt niet af van de inrichtingsvarianten.

Ten aanzien van de hoogte wijzigt het overslagdebiet niet.

Ter hoogte van Ameidsedam wordt de ontsluitingsweg iets verder van de kruin van de dijk aangelegd. Dit heeft een positieve werking omdat de kwelweglengte hier lokaal langer blijft (op dit stuk bevindt zich geen grindkoffer). De verbreding van het grondlichaam dient wel afgedekt te worden met een voldoende zware erosiebestendige kleibekleding (zie paragraaf 10.4).

De steigers worden op een later moment zo ingepast dat ze geen negatieve invloed hebben op de stabiliteit van de dijk. Ditzelfde geldt voor de trappen op het buitentalud. Aandachtspunten zijn met name de aansluiting van de ankerpalen respectievelijk de betonnen trapelementen op de bekleding. Deze dient zonder kieren of voegen aan te sluiten op de steen- of kleibekledingen en erosiebestendig te zijn. Deze objecten worden op een later moment uitgewerkt en vergund.

11.2.2. Uitbreidbaarheid

De haven mag een toekomstige dijkversterking niet in de weg staan. Om deze reden is een profiel van vrije ruimte opgenomen in de legger. Het profiel van vrije ruimte voorziet in een kruinverhoging met 1 meter en de bijbehorende versterking *binnenwaarts*. De voorkeursvariant staat een dijkversterking binnenwaarts niet in de weg, dus kan worden gesteld dat aan de wettelijke eisen van uitbreidbaarheid wordt voldaan. De voorkeurs-variant scoort hiermee, net als de inrichtingsvarianten, neutraal.

11.2.3. Toekomstvastheid

In deze variant is optie 1 voor een toekomstige dijkverbetering (zie paragraaf 9.1.3) uitvoerbaar. Optie 2 wordt door de voorkeursvariant onmogelijk gemaakt, omdat de haven daarvoor te dicht bij de dijk komt te liggen. Dit betekent dat de hydraulische belasting op de grindkoffer licht toeneemt in de toekomst. De voorkeursvariant scoort daarom net als de inrichtingsvarianten 1,2 en 4 negatief op dit punt.

11.2.4. Overzicht effectbeoordeling en conclusie

Om de haven te realiseren worden werkzaamheden aan de buitenzijde van de waterkering (binnen en buiten de kernzone) uitgevoerd. De effecten op de kering ten aanzien van stabiliteit (buitenwaarts en piping) zijn klein. De stabiliteit buitenwaarts neemt niet af, de grindkoffer zorgt er zowel in de huidige als de toekomstige situatie voor dat piping niet kan optreden. Ten aanzien van de hoogte leidt de opstuwing (maximaal 3 cm) niet tot een toename van het overslagdebiet, het golfremmend effect van het aangepaste buitentalud compenseert dit. De voorkeursvariant krijgt daarom een neutrale beoordeling op het aspect waterveiligheid.

De voorkeursvariant staat een dijkversterking binnenwaarts niet in de weg, dus kan worden gesteld dat aan de wettelijke eisen van uitbreidbaarheid wordt voldaan. De voorkeurs-variant scoort hiermee neutraal.

Er is een inschatting gemaakt van de consequenties vanuit de nieuwe normering, op basis van het Ontwerp Instrumentarium 2014. Er zijn varianten opgesteld om aan deze nieuwe normering te gaan voldoen. Een van de opties wordt door de voorkeursvariant onmogelijk

gemaakt, omdat de haven daarvoor te dicht bij de dijk komt te liggen, waardoor en buitenwaarts geen ruimte is voor een dijkverbetering. Dit betekent dat de hydraulische belasting op de grindkoffer licht toeneemt in de toekomst. Deze variant scoort daarom negatief voor toekomstvastheid.

Tabel 11.1. Effectbeoordeling voorkeursvariant Spijk

effect	VKV
waterveiligheid	0
uitbreidbaarheid	0
toekomstvastheid	-

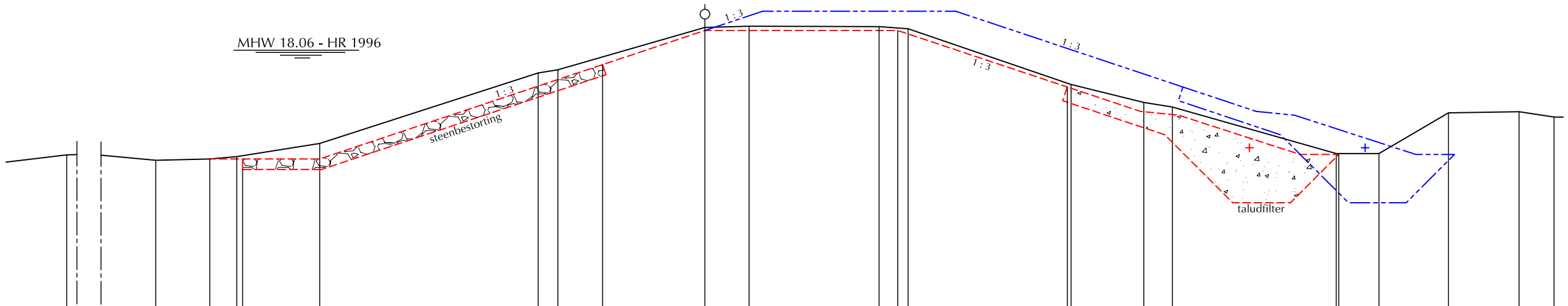
11.3. Compenserende maatregelen

In het kader van het project 'Overnachtingshaven Lobith' zijn geen compenserende maatregelen nodig.

12. LEEMTEN IN KENNIS

Er zijn geen leemten in kennis van belang voor de beoordeling van de voorkeursvariant vanuit het thema dijkstabiliteit.

BIJLAGE I LEGGERPROFIELEN PRIMAIRE WATERKERING (SPIJK)



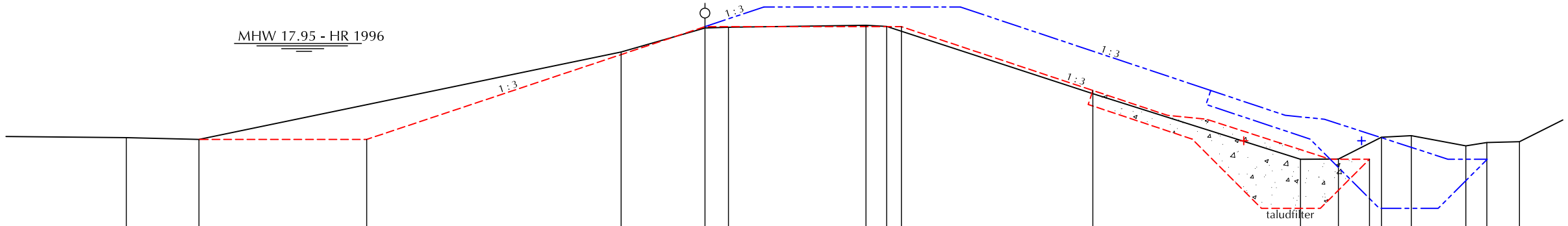
DIJKPAAL 11

4.00 m+NAP

Legger	Hoogte in m t.o.v. NAP					12.42	12.42	12.42				17.31	19.08			19.08		16.15			13.00	12.65													
	Afstand in m t.o.v. nulpunt	39.28				25.68	23.98	19.98				5.31	0.00			10.00		18.79			28.24	32.87	34.87									43.24			
	Zonering					BZ		KZ																								BZ			
Profiel van vrije ruimte	Hoogte in m t.o.v. NAP												19.08		20.08			20.08				16.15				13.00				12.65					
	Afstand in m t.o.v. nulpunt												0.00		3.00			13.00				24.79				34.24				38.87					
Beheerregister	Hoogte in m t.o.v. NAP		12.63		12.35	12.42	12.54	13.22			16.88	17.04	19.24	19.30		19.28	19.17		16.28	15.35	15.11			12.70		12.70	14.81		14.87	14.59				
	Afstand in m t.o.v. nulpunt		37.26		29.28 28.48	25.68	24.28	19.98			8.65	7.63	0.00	2.29		9.03	10.54		18.99	22.76	24.24			30.87	32.74	34.96	38.56		42.22	44.04				
	Invloedslijnen		PI		STU			BUT																BIT	EB	PU				STI					

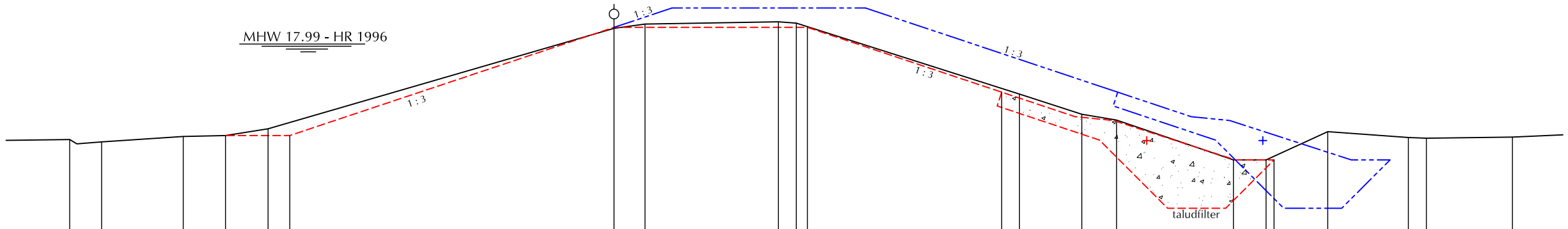
	Buitenkruin	KZ	Kernzone
	Leggerprofiel	BZ	Beschermingszone
	Profiel van vrije ruimte	MHW 13.54 - HR 1996	MHW: Maatgevend Hoogwater in meters +NAP
HR 1996	Hydraulische Randvoorwaarden 1996	MKH 14.11+	MKH: Maatgevend Kruinhoogte in meters +NAP

SCHAAL 1:250



DIJKPAAL 25 4.00 m+NAP

| | | |



DIJKPAAL 19

4.00 m+NAP

| | | |

BIJLAGE II EISEN UIT DE KEUR

BESCHRIJVING EISEN UIT DE KEUR

In de 'Keur watersysteem waterschap Rijn en IJssel 2009' zijn bepalingen met betrekking tot de beschermingzones vastgesteld (artikel 3.1). De keur is te raadplegen op internet[1]. In de 'Algemene regels, nadere regels en verplichtingen in verband met Keur Waterschap Rijn en IJssel 2009' zijn onder andere vrijstellingen op de verbodsbepalingen vastgelegd.

Definitie beschermingszones

De verschillende zones waarvoor de keurbepalingen gelden, zijn voor ieder traject gedetailleerd bepaald en vastgelegd in de legger (bescherming op maat):

- kernzone: de waterkering zelf;
- beschermingszone: De breedte is afhankelijk van de locatie, maar minimaal 5 meter, aansluitend aan de kernzone. Daarbuiten loopt de zone schuin weg in de ondergrond met een talud 1:5;
- buitenbeschermingszone. Dit is een zone van 100 meter langs de primaire waterkering;
- profiel van vrije ruimte. Het profiel van vrije ruimte is de ruimte langs en boven waterkeringen die nodig is voor toekomstige verbeteringen van de waterkeringen. Globaal wordt hier uitgegaan van de dijkverzwaring die nodig is bij een dijkverhoging van 1 meter. In deze zone is het verboden om bouwwerken en beplanting te plaatsen.

Kernzone

Kernzone waterstaatswerken

1. het is verboden zonder vergunning van het bestuur gebruik te maken van de kernzone van een waterstaatswerk door, anders dan in overeenstemming met de functie, daarin, daarop, daarboven, daarover of daaronder:
   a. werken aan te brengen, te hebben of te verwijderen;
   b. opgaande (hout)beplantingen aan te brengen of te behouden, dan wel aanwezige (hout)beplantingen te beschadigen of te verwijderen;
   c. werkzaamheden te verrichten;
   d. stoffen of voorwerpen te brengen of te hebben op andere dan de daarvoor bestemde plaatsen;
   e. activiteiten te houden op andere dan daarvoor aangewezen plaatsen;
   f. buiten verharde wegen met rij- en voertuigen, dan wel met een rij- of lastdier te rijden dan wel vee te drijven;
   g. zich anders dan als rechthebbende te bevinden indien dat vanwege het bestuur op een voor het publiek kenbare wijze is aangegeven.

Kernzone waterstaatswerk bestaande uit waterkering

1. het is verboden zonder vergunning van het bestuur in de kernzone van een waterkering:
   a. bemesting toe te passen;
   b. dijkbekledingen te beschadigen;
   c. dieren anders dan schapen te brengen en te hebben op andere dan daarvoor bestemde plaatsen.

---

1 Http://decentrale.regelgeving.overheid.nl/cvdr/XHTMLoutput/Historie/Waterschap%20Rijn%20en%20IJssel/272659/272659_1.html.

Beschermingszone

Beschermingszone waterstaatswerken

1. het is verboden zonder vergunning van het bestuur gebruik te maken van de beschermingszone van een waterstaatswerk door anders dan in overeenstemming met de functie daarin of daarop:
   a. werken aan te brengen, te hebben of te verwijderen;
   b. opgaande (hout)beplantingen aan te brengen of te behouden, dan wel aanwezige (hout)beplantingen te verwijderen;
   c. werkzaamheden te verrichten.

Buitenbeschermingszone

Buitenbeschermingszone waterstaatswerk bestaande uit waterkering

1. het is verboden zonder vergunning van het bestuur in, op, onder of boven de buitenbeschermingszone:
   a. afgravingen en seismische onderzoeken te verrichten;
   b. werken met een overdruk te plaatsen en te hebben;
   c. explosiegevaarlijk materiaal of explosiegevaarlijke inrichtingen te hebben.

Profiel van vrije ruimte

Profiel van vrije ruimte waterstaatswerk bestaande uit waterkering

1. het is verboden zonder vergunning van het bestuur in, op, boven of onder het profiel van vrije ruimte:
   a. werken aan te brengen of te behouden;
   b. (opgaande hout)beplantingen aan te brengen of te behouden.

Vrijstellingen vergunningsplicht (algemene regels

Agrarische werkzaamheden in kern- en beschermingszone van watergangen
Het bepaalde in artikel 3.1, eerste lid sub c en vierde lid sub c van de keur is niet van toepassing op agrarische werkzaamheden op gronden waarvan de eigendom niet bij het waterschap berust, vanaf de insteek in de kernzone en in de beschermingszone van watergangen, met dien verstande dat grondbewerking niet is toegestaan in kaden in de kernzone.

Handelingen in kern- en beschermingszone van waterkeringen

1. het bepaalde in artikel 3.1, vierde lid, sub c is niet van toepassing op agrarische werkzaamheden in de beschermingszone langs waterkeringen met dien verstande dat grondbewerking niet is toegestaan in de zone tot één meter uit de teen van de waterkering;
2. het bepaalde in artikel 3.1, eerste lid sub b, d, e, f en g en derde lid sub a en c van de keur is niet van toepassing in de kernzone van de regionale waterkeringen in de Rijnstrangen;
3. het bepaalde in artikel 3.1, vierde lid sub b van de keur is niet van toepassing in de beschermingszone van de regionale waterkeringen in de Rijnstrangen;
4. het bepaalde in artikel 3.1, eerste lid sub d, e, f en g en derde lid sub a en c van de keur is niet van toepassing in de kernzone van zomerkades.

Handelingen in buitenbeschermingszone van waterkeringen
Het bepaalde in artikel 3.1, vijfde lid sub b van de keur is niet van toepassing voor het plaatsen en hebben van werken met overdruk, als de berekende verstoring die optreedt bij een beschadiging of calamiteit:

a. buiten de beschermingszone blijft en;
b. buiten de zone blijft van 15 meter horizontaal gemeten vanuit de teen van de waterkering en vanaf hier met een helling van 1 op 5 dalend uit de richting van de waterkering.

Het verwijderen van kunstwerken, werken, objecten en/of beplanting uit de kern- en beschermingszone van watergangen
Vrijstelling wordt verleend van het verbod, bedoeld in artikel 3.1 lid 1 sub a, b en c en lid 4 sub a, b en c van de keur, voor het verwijderen van een of meerdere van kunstwerken, werken, objecten en/of beplanting, voor zover:

a. deze niet binnen de kern-, beschermings- en/of buitenbeschermingszone van een primaire waterkering, regionale waterkering, zomerkade of kade zijn gelegen;
b. de watergang tijdens de werkzaamheden niet wordt afgedamd;
c. deze worden verwijderd door of vanwege de (constructief) onderhoudsplichtige(n) of (kadastraal) eigenaar;
d. de (kunst)werken geen onderdeel zijn van de onderhoudsroute van het waterschap;
e. het geen peil regulerend (kunst)werk is.

BIJLAGE III GOLFOVERSLAG BEREKENINGEN

Tolkamer - Overnachtingshaven Spijk

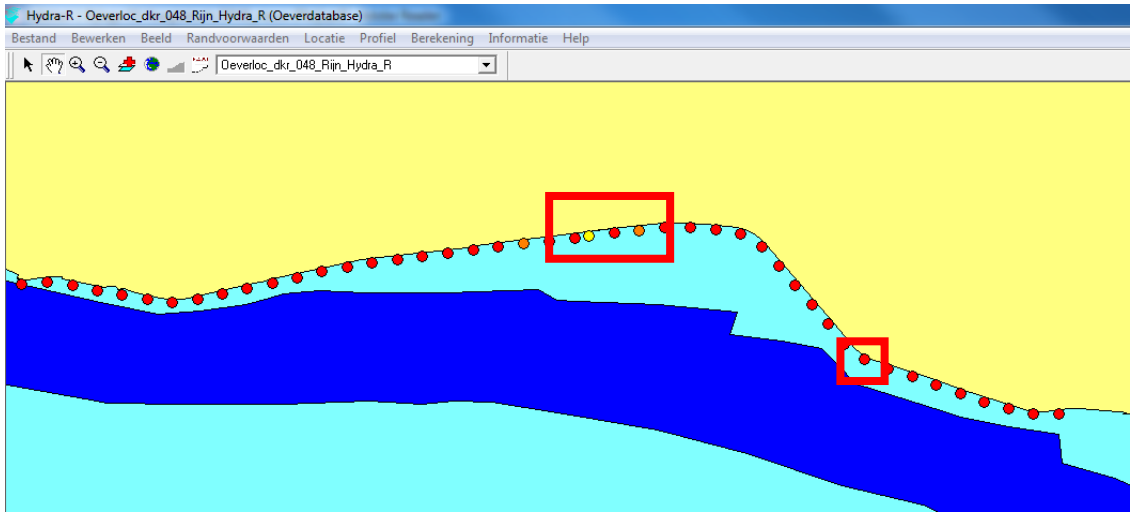
Locatienaam	Naam dijkprofiel	Bestaande dijkhoogte [m+NAP]	Waterstand [m+NAP]	Golfhoogte [m]	Golf(piek)periode [s]	Berekend overslagdebiet [l/s/m]
Dkr 48 Bovenrijn km 861-862 Locatie 1_205480_429390	DWP35	18,8	18,23	0,37	2,41	0,6
Dkr 48 Bovenrijn km 861-862 Locatie 6_204991_429282	DWP40	18,71	18,1	0,35	2,36	1,9

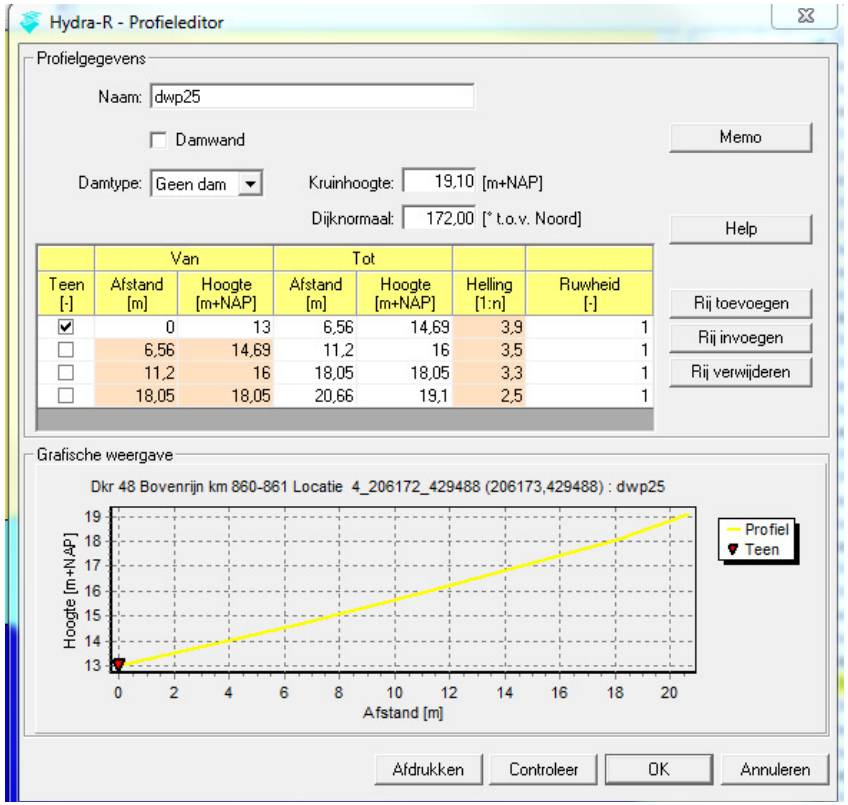
Locatienaam	Naam dijkprofiel	Bestaande dijkhoogte [m+NAP]	Waterstand [m+NAP]	Golfhoogte [m]	Golf(piek)periode [s]	Berekend overslagdebiet [l/s/m]
Dkr 48 Bovenrijn km 861-862 Locatie 1_205480_429390	DWP35_nieuw	18,8	18,23	0,37	2,41	2,8
Dkr 48 Bovenrijn km 861-862 Locatie 6_204991_429282	DWP40_nieuw	18,71	18,1	0,35	2,36	1,9

Overnachtingshaven Spijk

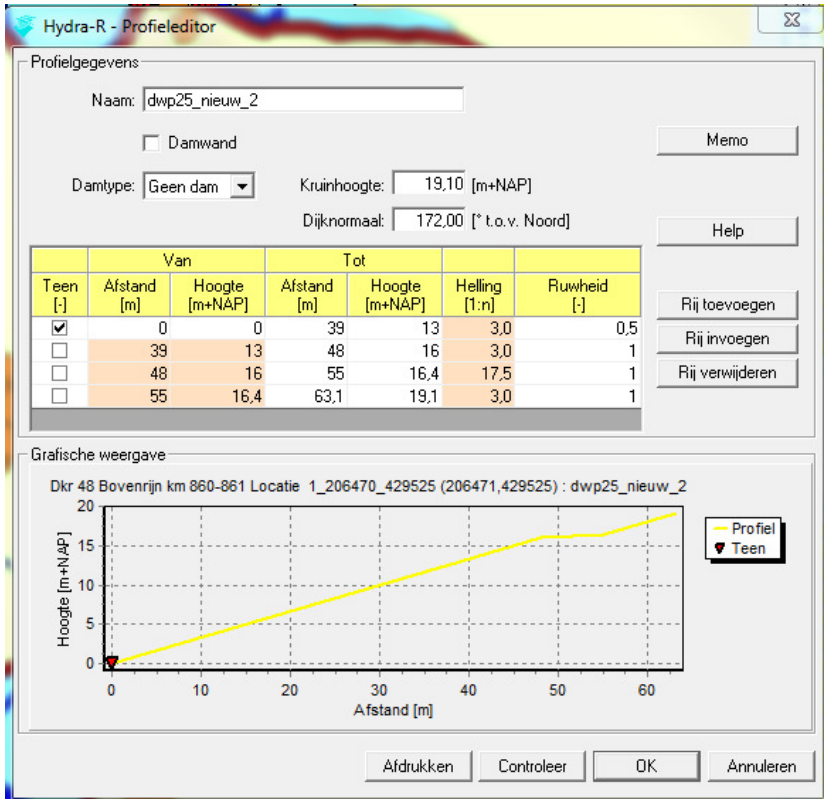
Locatienaam	Naam dijkprofiel	Bestaande dijkhoogte [m+NAP]	Waterstand [m+NAP]	Golfhoogte [m]	Golf(piek)periode [s]	Berekend overslagdebiet [l/s/m]
Dkr 48 Bovenrijn km 859-860 Loc 1_206725_429554	DWP25	19,1	18,34	0,384	2,447	0,8
Dkr 48 Bovenrijn km 859-860 Loc 12_206626_429543	DWP25	19,1	18,34	0,382	2,44	0,8
Dkr 48 Bovenrijn km 860-861 Loc 1_206527_429532	DWP25	19,1	18,341	0,381	2,435	0,7
Dkr 48 Bovenrijn km 860-861 Locatie 1_206470_429525	DWP25	19,1	18,341	0,381	2,435	0,7
Dkr 48 Bovenrijn km 860-861 Locatie 2_206371_429512	DWP25	19,1	18,341	0,382	2,462	0,7
Dkr 48 Bovenrijn km 858-859 Locatie 9_207608_429047	DWP11	19,2	18,40	0,45	2,62	1,0

Locatienaam	Naam dijkprofiel	Bestaande dijkhoogte [m+NAP]	Waterstand [m+NAP]	Golfhoogte [m]	Golf(piek)periode [s]	Berekend overslagdebiet [l/s/m]
Dkr 48 Bovenrijn km 859-860 Loc 1_206725_429554	DWP25_nieuw	19,1	18,37	0,384	2,447	0,5
Dkr 48 Bovenrijn km 859-860 Loc 12_206626_429543	DWP25_nieuw	19,1	18,37	0,382	2,44	0,5
Dkr 48 Bovenrijn km 860-861 Loc 1_206527_429532	DWP25_nieuw	19,1	18,371	0,381	2,435	0,4
Dkr 48 Bovenrijn km 860-861 Locatie 1_206470_429525	DWP25_nieuw	19,1	18,371	0,381	2,435	0,5
Dkr 48 Bovenrijn km 860-861 Locatie 2_206371_429512	DWP25_nieuw	19,1	18,371	0,382	2,462	0,5
Dkr 48 Bovenrijn km 858-859 Locatie 9_207608_429047	DWP11_nieuw	19,2	18,40	0,45	2,62	0,7


Hydra-R - Oeverloc_dkr_048_Rijn_Hydra_R (Oeverdatabase)
Bestand Bewerken Beeld Randvoorwaarden Locatie Profiel Berekening Informatie Help
Oeverloc_dkr_048_Rijn_Hydra_R



	Van		Tot			
Teen [-]	Afstand [m]	Hoogte [m+NAP]	Afstand [m]	Hoogte [m+NAP]	Helling [1:n]	Ruwheid [-]
☑	0	13	6,56	14,69	3,9	1
☐	6,56	14,69	11,2	16	3,5	1
☐	11,2	16	18,05	18,05	3,3	1
☐	18,05	18,05	20,66	19,1	2,5	1



	Van		Tot			
Teen [-]	Afstand [m]	Hoogte [m+NAP]	Afstand [m]	Hoogte [m+NAP]	Helling [1:n]	Ruwheid [-]
☑	0	0	39	13	3,0	0,5
☐	39	13	48	16	3,0	1
☐	48	16	55	16,4	17,5	1
☐	55	16,4	63,1	19,1	3,0	1

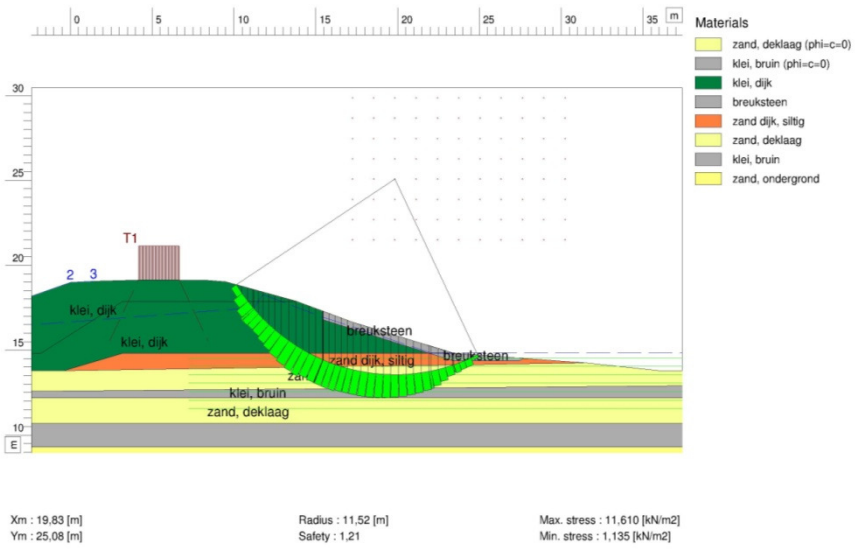
Overnachtingshaven Spijk - Duitse grens

Locatienaam	Naam dijkprofiel	Bestaande dijkhoogte [m+NAP]	Waterstand [m+NAP]	Golfhoogte [m]	Golf(piek)periode [s]	Berekend overslagdebiet [l/s/m]
Dkr 48 Bovenrijn km 858-859 Locatie 8_208373_428833	DWP3	19,00	18,48	0,45	2,63	0,2
Dkr 48 Bovenrijn km 858-859 Locatie 5_208078_428879	DWP5	19,10	18,46	0,45	2,63	1,3

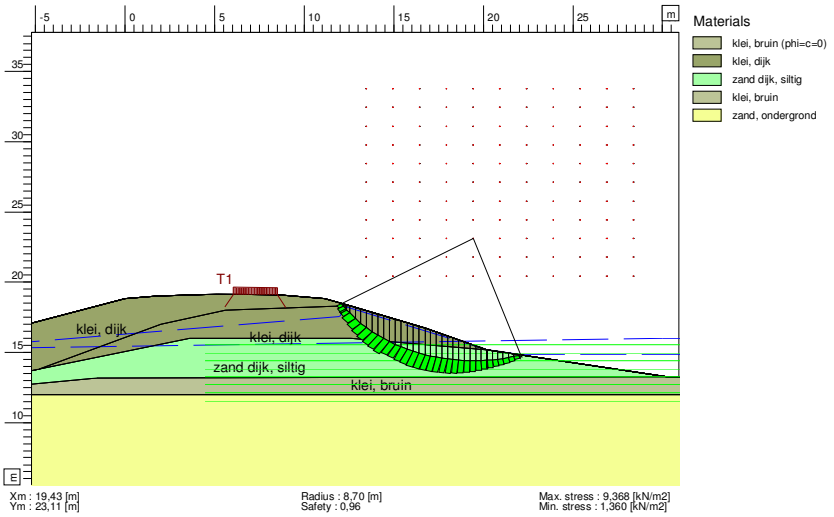
Locatienaam	Naam dijkprofiel	Bestaande dijkhoogte [m+NAP]	Waterstand [m+NAP]	Golfhoogte [m]	Golf(piek)periode [s]	Berekend overslagdebiet [l/s/m]
Dkr 48 Bovenrijn km 858-859 Locatie 8_208373_428833	DWP3_nieuw	19,00	18,48	0,45	2,63	5,9
Dkr 48 Bovenrijn km 858-859 Locatie 5_208078_428879	DWP5_nieuw	19,10	18,46	0,45	2,63	2,6

BIJLAGE IV MAATGEVENDE GLIJCRIKELS STABILITEIT HUIDIGE SITUATIE

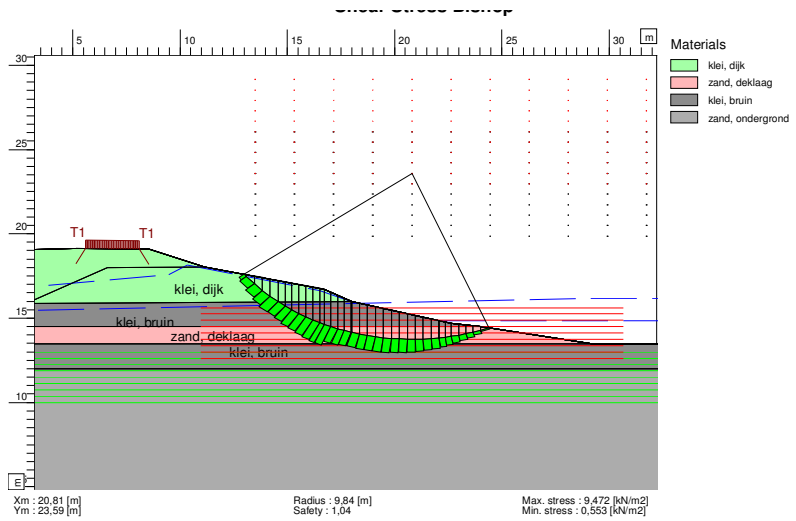
Afbeelding IV.1.Maatgevende glijcirkel STBU dwp 11, huidige situatie



Afbeelding IV.2.Maatgevende glijcirkel STBU dwp 19, huidige situatie

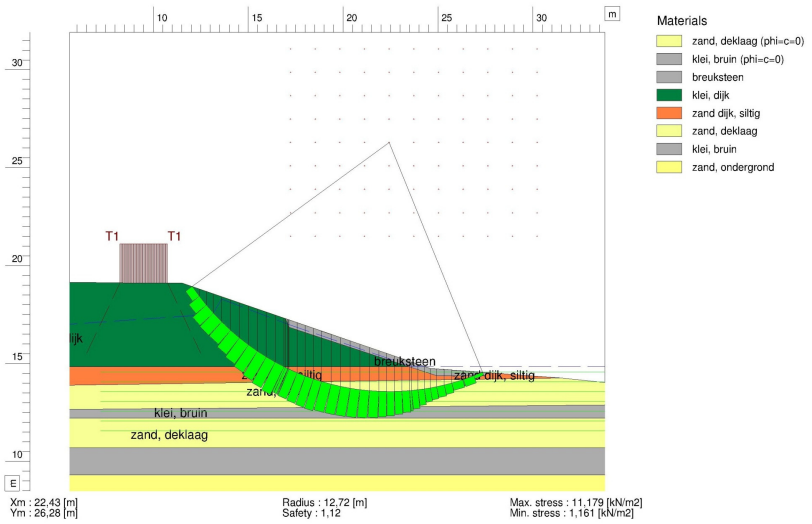


Afbeelding IV.3. Maatgevende glijcirkel STBU dwp 25, huidige situatie

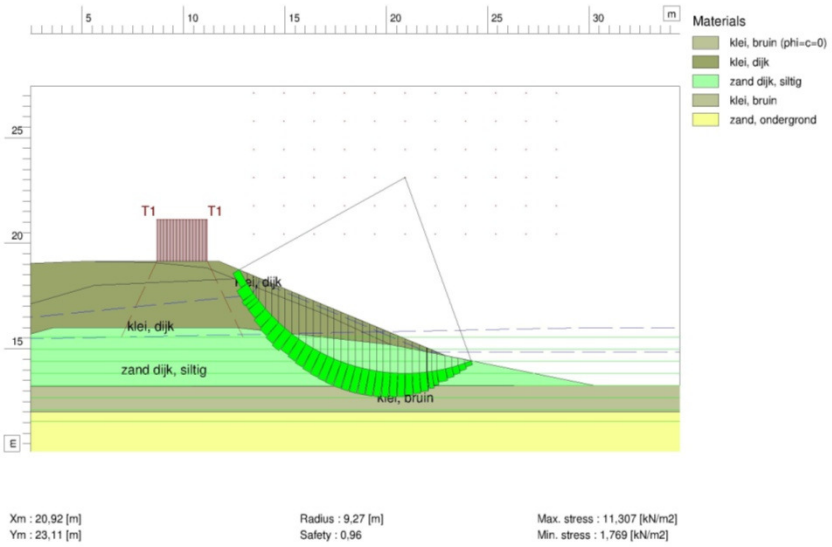


BIJLAGE V MAATGEVENDE GLIJCRIKELS STABILITEIT VOORKEURSVARIANT

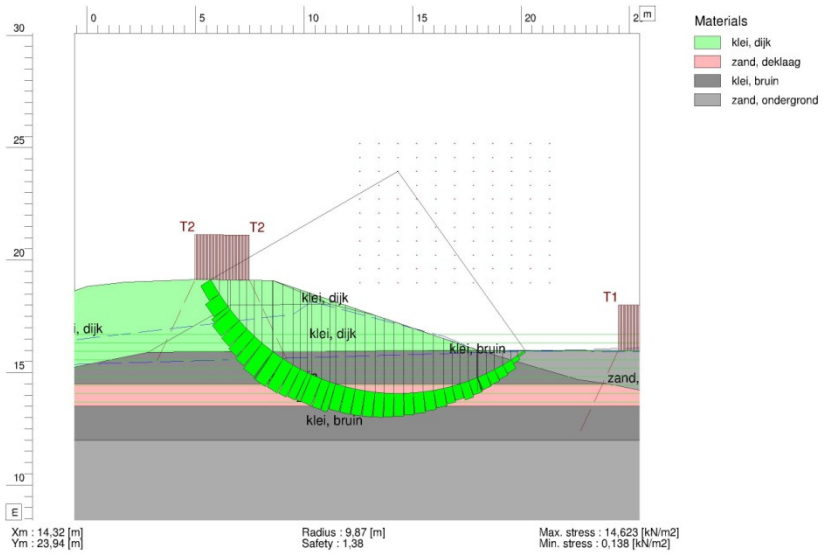
Afbeelding V.1.Maatgevende glijcirkel STBU dwp 11, VKV

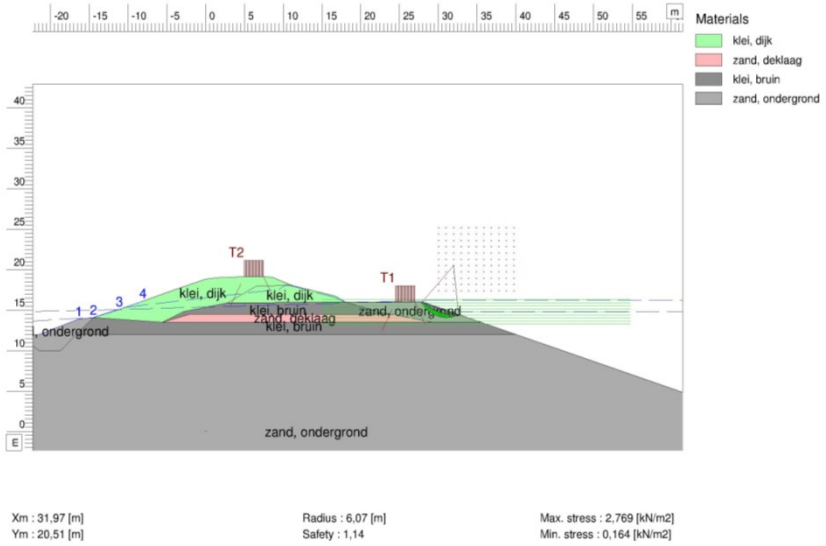


Afbeelding V.2.Maatgevende glijcirkel STBU dwp 19, VKV

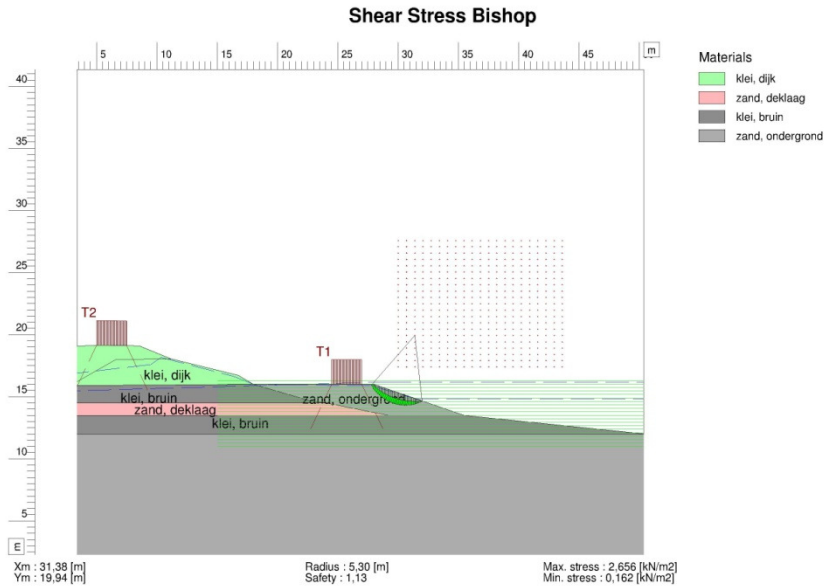


Afbeelding V.3. Maatgevende glijcirkel STBU dwp 25, VKV





Afbeelding V.4.Maatgevende glijcirkel STBU dwp 25 (Poel), VKV



BIJLAGE VI NOTITIE TALUDBESCHERMING

Witteveen+Bos

notitie

Witteveen+Bos
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
0570 69 79 11
www.witteveenbos.nl

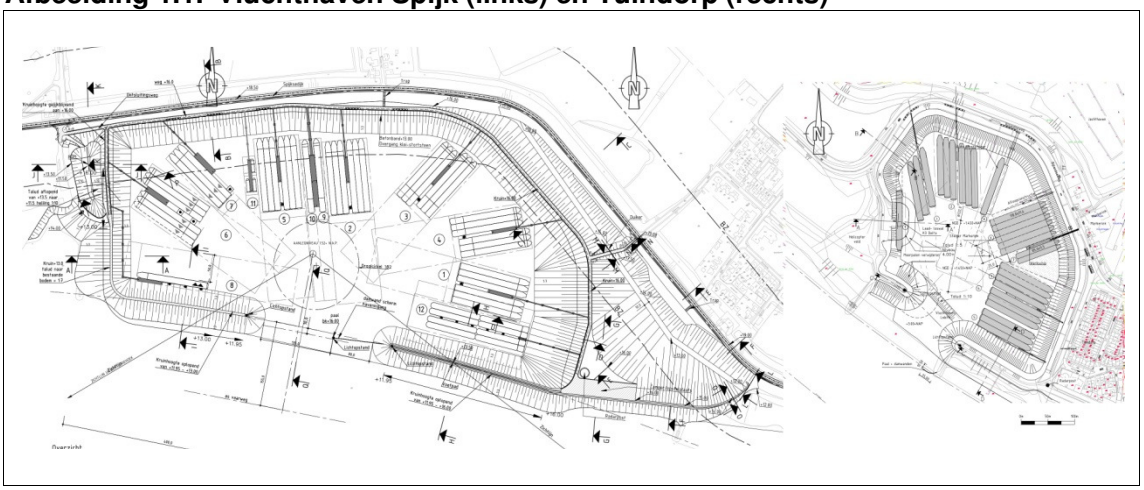
onderwerp	taludbescherming
project	Overnachtingshaven Lobith
opdrachtgever	Projectteam Overnachtingshaven Lobith
projectcode	AH660-1-310
referentie	AH660-1-310/15-017.727
opgemaakt door	J. de Boer
gecontroleerd door	L. de Boom
goedgekeurd door	drs. J.M. van Nieuwpoort paraaf
status	definitief
datum opmaak	28 oktober 2015
bijlagen	I berekening stabiliteit taludbescherming; II berekening stroomsnelheid ten gevolge van boegschroeven.

aan	Projectteam Overnachtingshaven Lobith
kopie	-

1. INLEIDING

Deze notitie beschrijft het ontwerp voor de taludbescherming binnen het project vluchthavens bij Tuindorp en Spijk. Deze notitie beperkt zich tot het deel dat door schroefstralen belast kan worden. Er is een wens om de havens een groene uitstraling te geven. Het realiseren van deze wens heeft geen raakvlak met de schroefstralen aangezien eventuele andere constructies zoals een kleibekleding of een zetsteenconstructie vanaf de 13 m + lijn aangebracht zouden worden. Deze taluddelen bevinden zich dermate hoog op het talud (en ver van de teenlijn) dat ze niet belast worden door schroefstralen. Binnenvaartschepen gaan hier afmeren aan een combinatie van drijvende steigers en meerpalen, zie afbeelding 1.1.

Afbeelding 1.1. Vluchthaven Spijk (links) en Tuindorp (rechts)



De af- en ontmerende schepen zorgen met de (boeg)schroeven voor schroefstraalbelastingen op het talud en op de bodem. Het talud dient beschermd te worden tegen erosie. Dit betreft alle taluds waar schepen afmeren.

2. UITGANGSPUNTEN

Uitgangspunt is dat de oevers met een steenbestorting worden beschermd. Dit is in lijn met de constructies die toegepast worden voor de kribben (en langsdammen) langs de rivier.
In deze notitie is onderzocht of het mogelijk is om een steenbestorting zonder penetratie met colloïdaal beton toe te passen. Hierdoor wordt het eenvoudiger om de taludbescherming te onderhouden, in de toekomst te verwijderen of te wijzigen.

De granulair taludbescherming zonder colloïdaal beton is tevens flexibeler waardoor eventuele zettingen beter gevolgd kunnen worden door de taludbescherming.

Beperkte erosie van de bodem ten gevolge van schroefstralen wordt toegestaan. Het is gebruikelijk dat de bodem in havens in ieder geval niet in zijn geheel beschermd wordt tegen erosie.

In vluchthavens liggen schepen doorgaans anders afgemeerd dan in overslaghavens. Vooral in een situatie waar afgemeerd wordt langs een kade is de bodem gevoeliger voor schade, dat is in de overnachtingshaven niet het geval.

Het talud kan plaatselijk enige schade oplopen ten gevolge van schroefstralen of ten gevolge van andere oorzaken zoals aanvaring. Het is van belang dat de constructie minimaal één maal per jaar gemonitord wordt, en eventuele schade voor het hoogwaterseizoen, 15 oktober, hersteld wordt. In het beheer en onderhoudsplan [ref. 5.] is vastgelegd wat de randvoorwaarden zijn voor de monitoring.

2.1. Oevers

Voor de beoordeling van de stabiliteit van de oeverconstructies is de toegepaste constructie van belang in relatie met de belasting van deze constructie ten gevolge van schroefstralen. Het is van belang om een goed te onderhouden oplossing te kiezen. De stroomsnelheden die theoretisch op kunnen treden zijn doorgaans dermate hoog dat een zeer zware en dure constructie nodig zou zijn om alle schade te voorkomen. In de praktijk is het aan-

vaardbaar om enige schade te accepteren. Monitoring is nodig om schades tijdig te signaleren en te herstellen.

Er wordt uitgegaan van een constructie bestaande uit stortsteen zonder een bindmiddel (bijvoorbeeld colloïdaal beton). Een gepentreerde granulaire taludbekleding garandeert niet dat er absoluut geen schade zal optreden terwijl het signaleren, maar ook het herstellen van locale schade veel moeilijker wordt. Wel is de kans op schade bij een gepenetreerde breuksteen kleiner onder dezelfde omstandigheden dan bij een losse breuksteen met dezelfde gradering.

Voor het berekenen van de schroefstraalbelasting op het talud en de minimaal benodigde steenbestorting is gebruik gemaakt van de rekenmethodes zoals omschreven in de Rock Manual [ref. 1.].

De stroomsnelheid in de haven wordt verwaarloosd voor het ontwerp van de taludbescherming.

2.2. Belasting van het talud ten gevolge van schroefstralen

Binnenvaartschepen kunnen worden uitgerust met een aantal types boegschroeven, namelijk een tunnelboegschroef, kanalensysteem en een stuurroostersysteem. De laatste twee systemen leveren besturing in 360 graden. Deze systemen kunnen dan ook gebruikt worden voor voortstuwing. De boegschroeven worden bij het afmeren en wegvaren in principe niet gebruikt als voorstuwing maar om te manoeuvreren. Hierbij zullen de schroefstralen hoofdzakelijk dwars op het schip gebruikt worden, dus voor deze projectlocaties voornamelijk evenwijdig aan de talud- constructie, aangezien de schepen vrijwel haaks op de wal worden afgemeerd. Incidenteel kan de schroef ook in de richting van het talud en bodem worden gebruikt, en hierbij zal schade kunnen ontstaan.

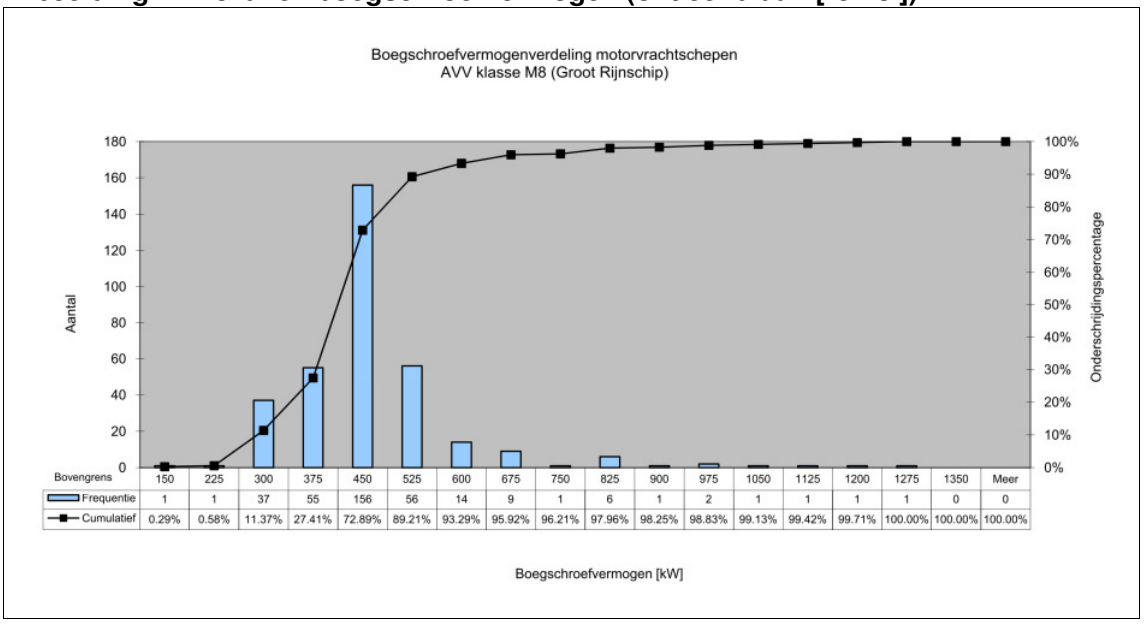
De hoofdschroeven hebben (doorgaans) een groter vermogen dan de boegschroeven, maar bij de waterkering zullen de hoofdschroeven niet gebruikt worden omdat de schepen met de boeg naar de wal moeten afmeren. Bij de havendammen kan de hoofdschroef wel gebruikt worden, maar de afstand tot de dammen zal dan naar verwachting groter zijn. Die analyse zal in het DO van de havendammen meegenomen moeten worden.

Afbeelding 2.1. Tabel boegschroefvermogen (ontleend aan [ref. 3.])

Tabel 11 Statistisch overzicht van de boegschroefvermogenverdeling

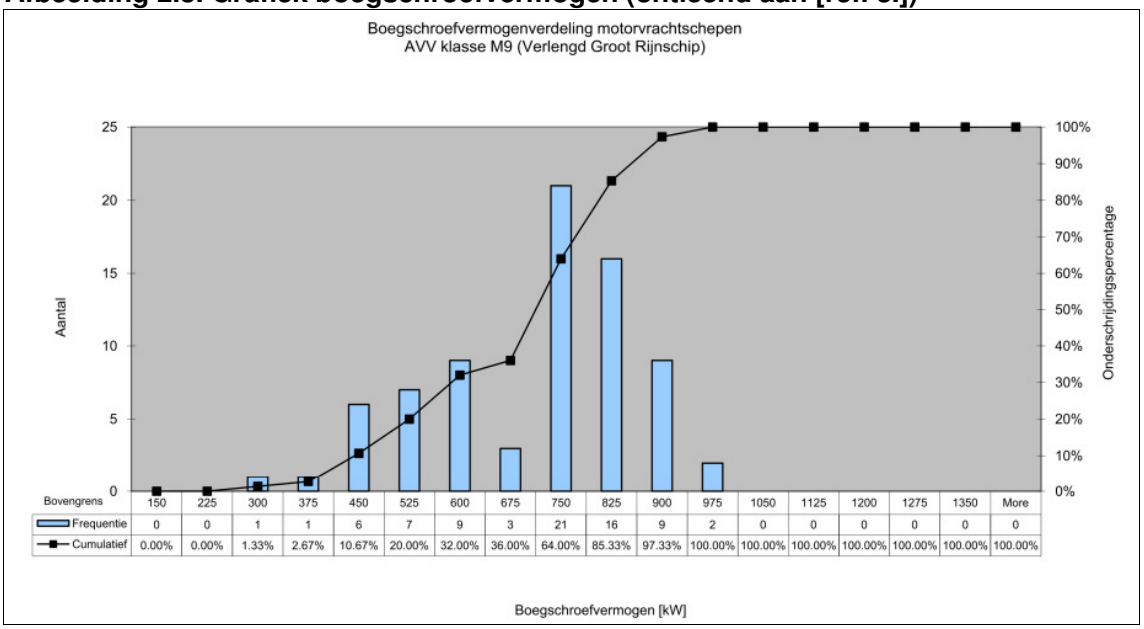
Klasse kenmerken grote motorvrachtschepen			Boegschroefvermogenverdeling							
				Onderschrijdingspercentage						
CEMT-klasse	AVV-klasse	type schip	aantal [#]	10% [kW]	50% [kW]	90% [kW]	gem. [kW]	min. [kW]	max. [kW]	SD [kW]
Va	M8	Groot Rijnschip	400	294	408	544	432	147	1236	131
	M9	Verlengd Groot Rijnschip	84	458	707	840	675	300	957	155

Afbeelding 2.2. Grafiek boegschroefvermogen (ontleend aan [ref. 3.])



Bovengrens	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825	900	975	1050	1125	1200	1275	1350	Meer
Frequentie	1	1	37	55	156	56	14	9	1	6	1	2	1	1	1	1	0	0
Cumulatief	0.29%	0.58%	11.37%	27.41%	72.89%	89.21%	93.29%	95.92%	96.21%	97.96%	98.25%	98.83%	99.13%	99.42%	99.71%	100.00%	100.00%	100.00%

Afbeelding 2.3. Grafiek boegschroefvermogen (ontleend aan [ref. 3.])



Bovengrens	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825	900	975	1050	1125	1200	1275	1350	More
Frequentie	0	0	1	1	6	7	9	3	21	16	9	2	0	0	0	0	0	0
Cumulatief	0.00%	0.00%	1.33%	2.67%	10.67%	20.00%	32.00%	36.00%	64.00%	85.33%	97.33%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Voor het boegschroefvermogen wordt uitgegaan van 900 kW. Dit vermogen wordt door circa 3 % van de klasse M9 schepen overschreden.
In tabel 2 van de Richtlijn Vaarwegen [ref. 4.] wordt aangegeven dat het boegschroefvermogen van klasse Va schepen tussen de 435 en 705 kW ligt. Dit komt redelijk overeen met de gemiddelde waarde zoals die in [ref. 3.] is gevonden (zie afbeelding 2.1).

Voor de berekening van de maximale stroomsnelheid op het talud is gebruik gemaakt van de gegevens conform tabel 2.1.

Tabel 2.1. Uitgangspunten boegschroefstraal CEMT-klasse Va loodrecht op talud

CEMT-klasse Va		
boegschroef		
P	900000	boegschroefvermogen [W]
a	50 %	percentage gebruik motorvermogen [%]
b	1,0	factor effectieve schroefdiameter [-] (=1.0 voor tunnels)
ρ_w	1000	dichtheid water [kg/m^3]
D_s	1,24	boegschroefdiameter [m]
h_s	5,0	kielspeling [m] (optredend bij mediaan waterstand)
x_s	4,5	horizontale afstand taludteen tot boegschroeftunnelopening [m]
tan α	0,333	helling oevertalud
talud 1:	3,00	helling oevertalud
f	1,25	factor voor toename stroomsnelheid als gevolg van samendrukking bij talud [-]
tan β	0,00	helling straal (dit is een niet conservatieve aanname)
r	1,2	afstand parallel onder straal-as [m]

* De parameter 'tan α' is dezelfde als bij 'talud 1:'. De invoer bij de berekening is tan α, maar voor de duidelijkheid is ook de taludhelling in verhouding weergegeven. De parameter tan β aangehouden als 0 (helling straal horizontaal). Dit is een aanname

Met deze waarden is een gevoeligheidsanalyse gemaakt. De gebruikte variatie is in tabel 2.2.

Tabel 2.2. Gevoeligheidsanalyse boegschroefstraal loodrecht op talud

CEMT-klasse Va	variatie		
boegschroef	**van**	**tot**	
P	900.000		boegschroefvermogen [W] (variatie wordt door percentage toegepast motorvermogen al meegenomen)
a	20 %	100 %	percentage gebruik motorvermogen [%]
b	1,0		factor effectieve schroefdiameter[-] (=1.0 voor tunnels)
ρ_w	1000		dichtheid water [kg/m^3]
D_s	1,00	1,30	boegschroefdiameter [m]
h_s	3,0	9,0	Kielspeling [m] (horende bij waterstand ca OLR tot MARKE I)
x_s	3,0	6,0	horizontale afstand taludteen tot boegschroeftunnelopening [m]
tan α	zie onder talud 1		taludhelling
talud 1:	2,5	3,1	taludhelling
f	1,25		factor voor toename stroomsnelheid als gevolg van samen-drukking bij talud [-]
tan β	0,00	0,60	helling straal

De uitkomsten zijn opgenomen in bijlage II.

2.3. Resultaten

De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in bijlage II. Op pagina 2 van deze bijlage zijn grafieken opgenomen die de invloed van de diverse parameters op de stroomsnelheid op het talud weergeven. In tabel 2.3 zijn de resultaten weergegeven van de berekeningen. De stroomsnelheid is bepaald waarbij alleen voor de betreffende parameter de waarde gevarieerd is.

Tabel 2.3. Resultaten berekening maximale stroomsnelheid op talud

CEMT-klasse	Va		variatie		stroom snelheid [m/s]	
Schroef	**boeg**		**van**	**tot**	**van**	**tot**
P	900.000	boegschroefvermogen [W] (De richtlijn vaarwegen, tabel 2, geeft aan 435-705kW voor boegschroeven klasse V, dit lijkt wat laag zeker met het oog op de toekomst)	vaste waarde			
a	50 %	percentage gebruik motorvermogen [%]	20 %	100 %	1,4	2,4
b	1,0	factor effectieve schroefdiameter [-] (=1.0 voor tunnels)	vaste waarde			
ρ_w	1.000	dichtheid water [kg/m^3]	vaste waarde			
D_s	1,24	boegschroefdiameter [m]	1,00	1,30	1,8	1,9
h_s	5,0	kielspeling [m]	4,0	10,0	2,7	1,21
x_s	4,5	horizontale afstand taludteen tot boeg-schroeftunnelopening [m]	3,0	6,0	2,1	1,8
tan α	0,333	helling oevertalud	zie onder talud 1:			
talud 1:	3,00	helling oevertalud	2,5	3,1	1,9	1,9
f	1,25	factor voor toename stroomsnelheid als ge-volg van samendrukking bij talud	vaste waarde			
tan β	0,00	helling straal	0,00	0,60	1,9	4,1

Belangrijkste factoren zijn:
- boegschroefvermogen (en percentage gebruikt vermogen);
- kielspeling;
- helling vd straal.

3. TALUD CONSTRUCTIE

3.1. Algemeen

Taludbescherming kan op veel manieren worden ontworpen. Er zijn zeer veel constructies mogelijk, en de veelheid aan toegepaste constructies wijst er al op dat er geen perfecte oplossing is.

In de detailfase kan de aannemer de vrijheid worden gegeven om met andere voorstellen te komen. Het meest toegepast in het rivierengebied is een filterconstructie afgedekt met stortsteen.

Deze constructie wordt doorgaans alleen belast door stromend water, en door golven van voorbijvarende schepen. In de overnachtingshaven is de maatgevende belasting de schroefstraal van schepen.

Voor de overnachtingshaven Lobith wordt uitgegaan van stortsteen omdat dit een kost efficiënte methode is die veel wordt toegepast. Een stortsteen constructie kan eventueel worden vastgelegd door de lagen te penetreren met een bindmiddel, vaak wordt hiervoor colloïdaal beton gebruikt.

Een gepenetreerde stortsteen bekleding is in zijn algemeenheid beter bestand tegen stroming dan een losse stortsteen bekleding die niet wordt gepenetreerd. Nadeel is echter dat door de penetratie een stijve 'betonplaat' ontstaat die eventuele zakkingen of ontgrondingen niet kan volgen zonder te breken. Ook kan er onder de bekleding ontgronding optreden die aanvankelijk niet gesignaleerd wordt, en pas zichtbaar wordt na bezwijken van de bekleding.

Schade aan een niet gebonden stortsteen constructie zal eerder op treden, maar is niet alleen eenvoudiger te constateren maar ook eenvoudiger te repareren door steen bij te storten.

In dit hoofdstuk is afgewogen of een niet gepenetreerde constructie verantwoord kan worden toegepast.

3.2. Taludbescherming met ongebonden stortsteen.

De stabiliteit van een taludbekleding met stortsteen is geanalyseerd in bijlage Ia. Voor verschillende stroomsnelheden is de benodigde gradering bepaald voor een talud van 1:3 (=18 graden).

Tabel 3.1. Taludbescherming bij kritische stroomsnelheid [m/s]

	1,4	**1,6**	**2,0**	**2,1**	**2,7**
gekozen standaard gradering in kg. RM table 3.6	5-40	10-60	40-200	60-300	300-1000
minimum laagdikte toplaag [m] (=2*D n50)	0,4	0,5	0,7	0,8	1,3

* Breuksteen met Izbash op talud 1:3 en met elementdichtheid 2.650 kg/m^3.

Voor de taludbescherming wordt uitgegaan van een bestorting die bestand is tegen een stroomsnelheid van 2,0 m/s. Zoals uit de berekeningen blijkt is 2 m/s een stroomsnelheid die normaliter niet overschreden zal worden. Extreme waarden kunnen vooral optreden als de schroefstraal niet horizontaal wordt ingezet, in combinatie met een groot motorvermogen en een kleine kielspeling.

De gekozen standaard steengradering die toegepast wordt is volgens tabel 3-1 40-200 kg.

Zoals eerder opgemerkt, zal het talud niet bestand zijn tegen een worst-case scenario waarbij het talud belast wordt met een hoog boegschroef vermogen in combinatie met een kleine kielspeling en een ongunstige helling van de schroefstraal. Deze combinatie kan optreden bij onverantwoord motor gebruik bij laag water. Het wordt niet aannemelijk geacht dat er grote vermogens gebruikt worden loodrecht op de oever. De boegschroeven zullen gebruikt worden om 'los' te komen van de steiger of het naastgelegen schip. Daarbij beweegt het schip zich normaliter al van de wal af, waardoor de afstand groter wordt. Hierbij is ook het tijdseffect van belang, een grote belasting zal kortstondig zijn. De rekenformules hebben betrekking op een stationaire situatie waarbij de individuele stenen in beweging komen bij overschrijding van een bepaalde stroomsnelheid. Bij een kortstondige overschrijding zullen er stenen bewegen, maar zal er geen 'krater' in de taludbekleding ontstaan.

Zoals in het vorige hoofdstuk aangegeven, kan er een belasting optreden op het talud die schade veroorzaakt. De constructie dient daarom zodanig ontworpen te worden dat deze bestand is tegen de meest ongunstige belastingsituatie, of dat de gevolgen van optredende schade beperkt blijft en reparabel is.

Voorgesteld wordt om toe te passen, een constructie bestaande uit een kraagstuk met geotextiel, afgedekt met een granulaire tussenlaag (filterlaag 5/40) en een toplaag van 70 cm bestaande uit een breuksteengradering 40-200 kg.

Het geotextiel moet voldoende gronddicht zijn. Dit is afhankelijk van de lagen onder het geotextiel, maar als aan de volgende eisen voldaan wordt is het geotextiel in principe geschikt:

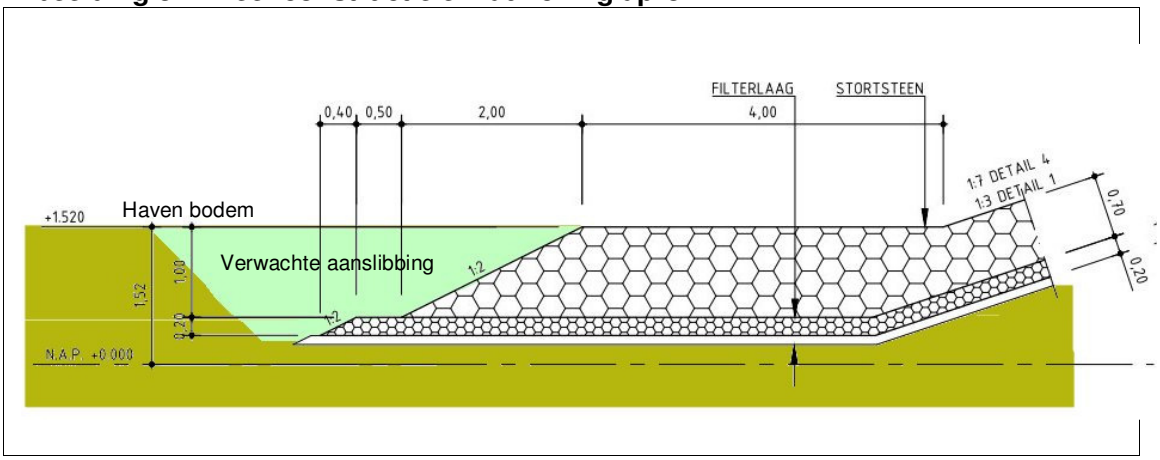
a. de karakteristieke poriegrootte O90 (bij natte zeeftest) bedraagt maximaal 230 µm;
b. de water permeabiliteit index VIH50 bedraagt minimaal 10 mm/s;
c. de treksterkte bedraagt in beide richtingen minimaal 60 kN/m;
d. de rek bij breuk bedraagt in beide richtingen maximaal 15 %;
e. de treksterkte van de naainaad in de richting dwars op de naad is minimaal gelijk aan 50 % van de treksterkte van het weefsel;
f. de duurzaamheid van het polypropeengaren (thermo-oxidatieve bestandheid) wordt gekarakteriseerd als type B;
g. de statische doordrukkracht bedraagt minimaal 7 kN;
h. de gatwijdte bij dynamische perforatie bedraagt maximaal 10 mm;
i. de filmgarens zijn vervaardigd van polypropeen (PP);
j. de areïeke massa bedraagt minimaal 300 g/m2, volgens NEN-EN-ISO 9864;
k. de U.V.-bestendigheid wordt gekarakteriseerd door een reststerkte van minimaal 80 % na een U.V.belasting van 50 MJ/m2, volgens NEN-EN 12224.

Het kraagstuk uitvoeren in overeenstemming met de Standaard RAW Bepalingen hfst 52.12. De functie van het kraagstuk is slechts om het geotextiel op zijn plaats te kunnen brengen, en af te kunnen storten. De opbouw van het kraagstuk hangt dus af van de werkwijze bij het aanbrengen. In de aangebrachte taludbescherming heeft het kraagstuk (behalve het geotextiel) geen functie meer.

De teenconstructie wordt uitgevoerd met een zogenaamde ‘launching apron’, zie Afbeelding 3.1. Deze launching apron volgt eventuele erosie aan de teen van het talud en zorgt voor een robuust ontwerp. De laagdikte van de teenconstructie inclusief ‘launching apron’ bedraagt ongeveer 1 m (3 maal D_{n50}). Als breedte van de ‘launching apron’ wordt (exclusief een helling van 1:2) 4 m aangehouden. De breedte van 4 m geeft een redelijke reserve bij een eventuele erosiekuil.

Bij het detailontwerp van de taludbescherming kan eventueel overwogen worden een grotere andere laagdikte of opbouw toe te passen.

Afbeelding 3.1. Teenconstructie en launching apron



3.3. Taludbescherming met gepenetreerde stortsteenconstructie

Bij toepassing van een bekleding bestaande uit een gebonden stortsteenconstructie , wordt de stortsteen gebonden met een bindmiddel, doorgaans colloïdaalbeton. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen vol en zat penetreren en deel penetratie. Bij deelpenetratie kan dan weer onderscheid gemaakt worden tussen deelpenetratie in een laag, of deelpenetratie in patroon. Bij deelpenetratie zullen er op het talud stenen voorkomen die niet vastgelegd zijn. In de beoordeling wordt hier uitgegaan van een volledig gepenetreerde constructie.

In bijlage Ib is een berekening gemaakt van de benodigde laagdikte bij een optredende stroomsnelheid (zie tabel 3.1).

Tabel 3.1. Taludbescherming bij kritische stroomsnelheid [m/s]

	3,5	4,0	4,5	5,0
theoretische dikte benodigd tegen opdrijven [m]	0,24	0,31	0,40	0,49

3.4. Afwegingen

Er wordt niet uitgegaan van het zodanig beschermen van het gehele talud dat er geen schade zal ontstaan. Uitgangspunt is dat er schade mag (en zal) ontstaan, maar dat dit dmv monitoring en bijstorten van steen in de hand te houden is. Het alternatief zou zijn een ontwerp proberen te maken waarbij geen schade optreedt. Dit blijkt in de praktijk echter nauwelijks mogelijk. Als een schip een noodstop maakt met zijn boegschroef en misschien zelfs tot op het talud doorvaart zou alleen een plaat (geïmpregneerde stortsteen, prefab platen et cetera) hiertegen bestand zijn.

Een dichte constructie heeft als nadeel dat er nooit garantie is dat er toch geen ontgronding onder de constructie zal optreden. Ontgronding onder een dichte constructie wordt veelal pas opgemerkt als de (beton?) plaat bezwijkt. Dit is voor een waterkering een absoluut ongewenste situatie. Advies is derhalve om een steenbestorting toe te passen die uitdrukkelijk regelmatig gemonitord wordt.

Hierbij kan er natuurlijk gediscussieerd worden of de toegepaste steengradatie voldoende groot is.

De gekozen steengradatie 40-200 is in lijn met de aanwezige steenbestorting in Tuindorp en is een bestorting die zoals hierboven aangetoond, bestand is tegen de 'normaal' optredende belastingen.

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Deze notitie beschrijft het ontwerp van de taludbescherming van de vluchthavens bij Tuindorp en Spijk. Het doel is om een praktische oplossing te kiezen voor taludbescherming. In deze notitie is onderzocht of het mogelijk is om het talud met een granulaire breuksteen te beschermen of dat bijvoorbeeld een colloïdaal beton penetratie noodzakelijk is.

Aanbevolen wordt om een losse breuksteen constructie toe te passen vanwege de nadelen van een starreconstructie met colloïdaal beton: mogelijk plotseling bezwijken na ontgronding onder de constructie, en lastig te repareren bij schade. Losse breuksteen zal eerder schade ondervinden, maar dit is eenvoudigere te constateren en eenvoudiger te repareren door bijstorten van breuksteen. Goede monitoring is noodzakelijk.

Volgens de berekeningen zal schade ontstaan, indien een boegschroef met vol vermogen loodrecht richting een losse granulaire taludbescherming wordt ingezet waarbij het talud beschermd is met een breuksteengradering 40-200 kg.

Deze bestorting is bestand tegen een stroomsnelheid van 2,0 m/s. Zoals uit de berekeningen blijkt is 2 m/s een stroomsnelheid die normaliter niet overschreden zal worden. Extreme waarden kunnen vooral optreden als de schroefstraal niet horizontaal wordt ingezet, in combinatie met een groot motorvermogen en een kleine kielspeling.

In de praktijk blijkt echter op veel plaatsen een taludbekleding van ongebonden stortsteen te zijn aangebracht. De taluds met ongebonden bekleding tonen vaak schade, maat ook taluds met een gebonden bekleding (betonplaten) vertonen eveneens vaak schade, maar de schade aan de harde constructies zijn vaak groot omdat die zich pas manifesteert als er een behoorlijk grote ontgronding onder de bekleding heeft plaats gevonden. Vooral bij een waterkering is het plotseling optreden van een grote schade een risico.

Bodembescherming wordt in de praktijk zelden aangebracht langs oevers waarbij enige ontgronding geaccepteerd wordt.

De losse breuksteen (sortering 40-200 kg) wordt aangebracht op een kraagstuk met een geotextiel. Tussen het geotextiel en de losse breuksteen dient een granulaire tussenlaag te worden aangebracht om het geotextiel te beschermen wanneer dit wordt afgestort met de zwaardere sortering. Hierbij is het advies om een 'Falling Apron' toe te passen en de teen te bestroten met een extra laag stenen.

Het advies is om de ligplaatsen zodanig vorm te geven dat de afstand tussen het talud en de afmeerlijn zo groot mogelijk is. Deze afstand kan in de praktijk moeilijk gegarandeerd worden aangezien de schippers zo ver kunnen doorvaren als ze willen.

5. REFERENTIES

1. CIRA, CUR, CETMET, The Rock Manual, second edition, 2007.
2. PIANC scour berthing structures draft Working Group 48 d.d. 3 februari 2014;
3. Marin Rapport scheepskarakteristieken van nieuwe grote schepen Nr 24032 600/2.
4. Richtlijn vaarwegen 2011 RWS.

5. Beheer-, exploitatie- en onderhoudsplan (planuitwerkingsfase) AH660-1-320-15-015.066

BIJLAGE I BEREKENING STABILITEIT TALUDBESCHERMING

Stabiliteit breuksteen met Izbash helling op

$$D_{50} = \frac{k_t^2}{2k_{sl}\Delta}\frac{u_p^2}{2g}$$

Bron: RM 5.226

$$k_r = \cos\alpha\left(1 - \tan^2\alpha\right)$$

Bron: RM 5.117

invoer:

ρ_{water}	1000	1000	1000	1000	1000	kg/m^3	soortelijke dichtheid water	aanname
$\rho_{breuksteen}$	2650	2650	2650	2650	2650	kg/m^3	soortelijke dichtheid steen	aanname
g	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	m/s^2	gravitatiesnelheid	
k_t^2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	-	turbulentie factor (=5,2 voor schroefstralen)	Rock Manual
u_p	**1,4**	**1,6**	**2,0**	**2,1**	**2,7**	m/s	kritische stroomsnelheid bij bodembescherming	variabel
cotβ	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-	taludhelling	tekening

hulpparameters

Δ	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	-	relatieve dichtheid element in water	
α	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	°	taludhelling	
k_r	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84		reductiefactor voor stroming helling op	RM 5.117

uitvoer:

D_{50}	0,19	0,24	0,38	0,42	0,69	m	zeefdiameter mediaan	RM 5.226
D_{n50}	0,16	0,20	0,32	0,35	0,58	m	benodigde nominale steendiameter	RM 3.10
gradering	5-40	10-60	40-200	60-300	300-1000	kg	gekozen standaard gradering	RM table 3.6
$D_{n50,min}$	0,17	0,21	0,33	0,38	0,61	m	minimum nominale steendiameter gekozen gradering	
D_{n50}	0,19	0,24	0,35	0,41	0,63	m	nominale steendiameter gekozen gradering	
laagdikte	0,4	0,5	0,7	0,8	1,3	m	laagdikte toplaag (=2*D_{n50})	

Stabiliteit beton gepenetreerde breuksteen of betonmatras Bron:

Bron: PIANC 2015

$$D \geq \frac{C_L}{2\Delta g} V_{max,bed}^2$$

PIANC 2015, 10-33

invoer:

$V_{max,bed}$	3,5	4,0	4,5	5,0	m/s	maximale straalsnelheid bij bescherming	andere rekensheet
C_L	0,5	0,5	0,5	0,5	-	lift factor (=0.5 voor doorgaande bescherming)	PIANC 2015
ρ_w	1000	1000	1000	1000	kg/m^3	dichtheid water (zoet)	aanname
ρ_s	2300	2300	2300	2300	kg/m^3	dichtheid bescherming	aanname

hulpparameter:

Δ	1,30	1,30	1,30	1,30	-	relatieve dichtheid bescherming onder water	

uitvoer:

D	0,24	0,31	0,40	0,49	m	theoretisch minimale dikte bescherming tegen opdrijven	PIANC 2015, 10-33

BIJLAGE II BEREKENING STROOMSNELHEID TEN GEVOLGE VAN BOEG-SCHROEVEN

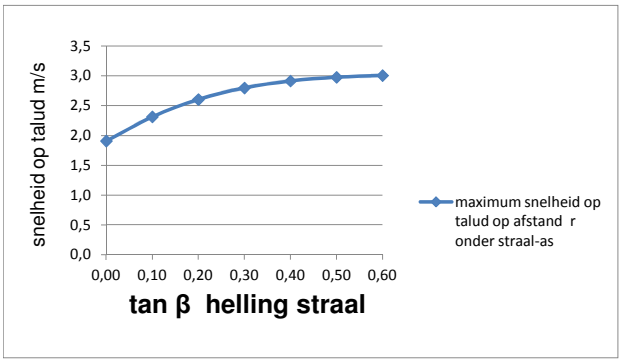
CEMT-klasse	Va		variatie		stroomsnelheid	
Schroef	**boeg**		**van**	**tot**	**van**	**tot**
P	900000	boegschroefvermogen	vaste waarde			
a	50%	percentage gebruik motorvermogen	20%	90%	1,4	2,3
b	1,0	factor effectieve schroefdiameter (=1.0 voor tunnels)	vaste waarde			
ρ_w	1000	dichtheid water	vaste waarde			
D_s	1,24	boegschroefdiameter	1,00	1,30	1,8	1,9
h_s	5,0	kielspeling	4,0	10,0	2,2	1,0
x_s	4,5	horizontale afstand taludteen tot boegschroeftunnelopening	3,0	6,0	2,1	1,8
tan α	0,333	helling oevertalud	zie onder talud 1:			
f	1,25	factor voor toename stroomsnelheid als gevolg van samendrukking bij talud	vaste waarde			
tan β	0,00	helling straal	0,00	0,60	1,9	3,0
r	1,2	afstand parallel onder straal-as	0,2	1,4	1,8	1,9
talud 1:	3,00		2,5	3,1	2,1	1,9

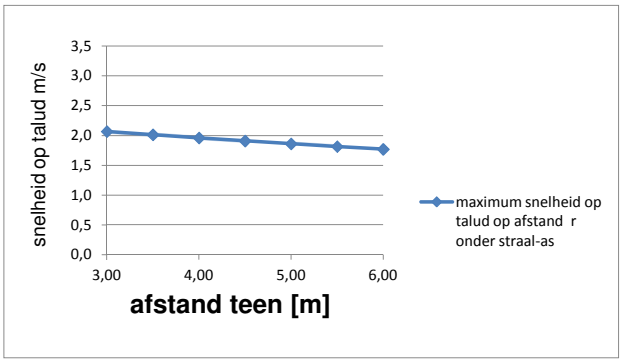
hulpparameter:

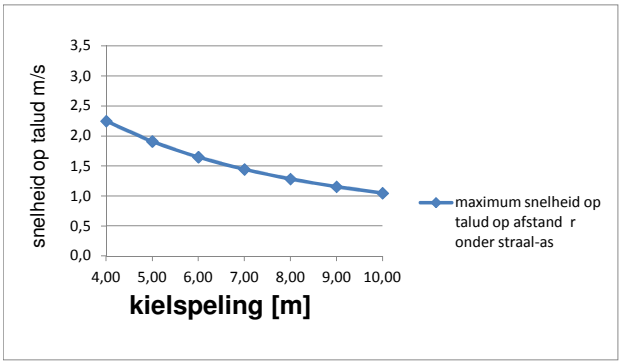
P_d	450000
D_0	1,24
α	18,4
β	0,0
x_{bt}	19,5
x_j	19,5
y_j	0,0
	goed
l_j	19,5
l_{jr}	15,9

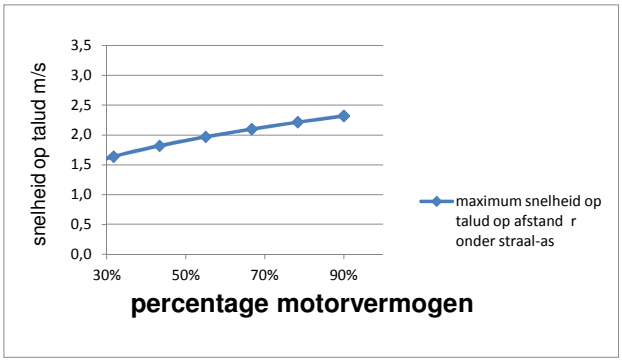
uitvoer:

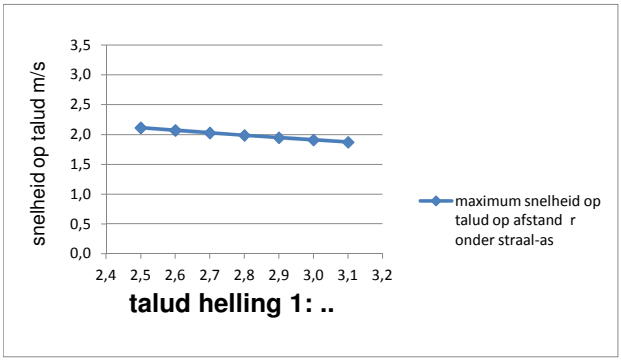
$u_{p,0}$	7,6	stroomsnelheid direct achter boegschroef	RM 4.187
$u_p(l_j)$	1,7	maximum snelheid op talud in straal-as	RM 4.188
$u_p(l_{jr},r)$	1,9	maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as	RM 4.189

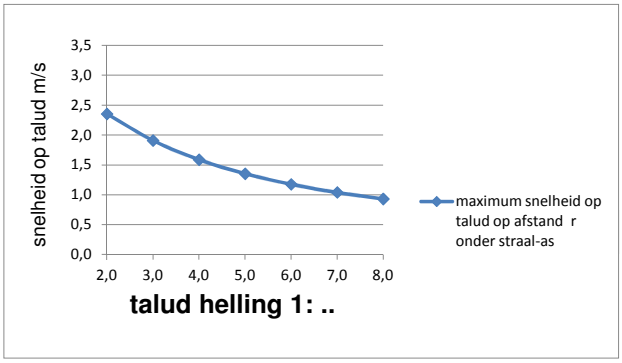

snelheid op talud m/s
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0,00 0,10 0,20 0,30 0,40 0,50 0,60
tan β helling straal
maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as

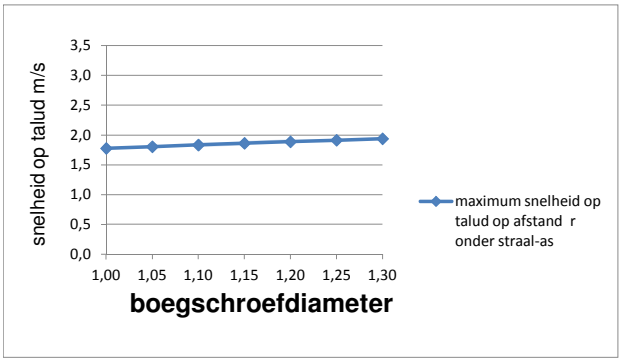

snelheid op talud m/s
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
3,00 4,00 5,00 6,00
afstand teen [m]
maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as

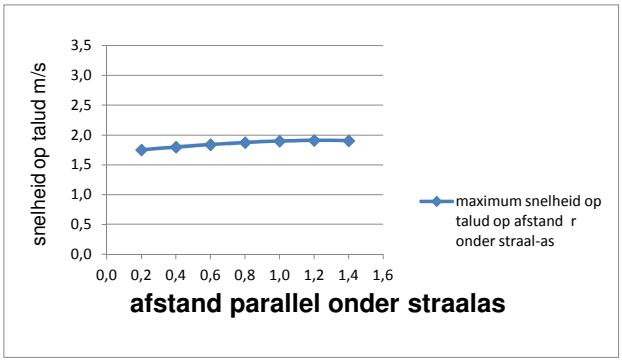

snelheid op talud m/s
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
4,00 5,00 6,00 7,00 8,00 9,00 10,00
kielspeling [m]
maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as


snelheid op talud m/s
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
30% 50% 70% 90%
percentage motorvermogen
maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as


snelheid op talud m/s
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
2,4 2,5 2,6 2,7 2,8 2,9 3,0 3,1 3,2
talud helling 1: ..
maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as


snelheid op talud m/s
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
2,0 3,0 4,0 5,0 6,0 7,0 8,0
talud helling 1: ..
maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as


snelheid op talud m/s
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
1,00 1,05 1,10 1,15 1,20 1,25 1,30
boegschroefdiameter
maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as


snelheid op talud m/s
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6
afstand parallel onder straalas
maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as

Boegschroefstralen op talud

Bron:

$$u_{p,0} = 1{,}15\left(\frac{P_d}{\rho_w D_0^2}\right)^{1/3}$$ RM 4.187

Bron:

$$u_p(x) = 2{,}8 u_{p,0}\frac{D_0}{x}$$ RM 4.188

$$u_p(x,r) = u_p(x) e^{\frac{-15{,}4 r^2}{x^2}}$$ RM 4.189

invoer:

CEMT-klasse	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**			
Schroef	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**			
P	900000	900000	900000	900000	900000	900000	900000	W	boegschroefvermogen	Marin 2010
a	20%	32%	43%	55%	67%	78%	90%	-	percentage gebruik motorvermogen	aanname
b	1	1	1	1	1	1	1	-	factor effectieve schroefdiameter (=1.0 voor tunnels)	
ρ_w	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	kg/m^3	dichtheid water	-
D_s	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	boegschroefdiameter	www.veth.net
h_s	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	m	kielspeling	variabel
x_s	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	m	horizontale afstand taludteen tot boegschroeftunnelopening	variabel
tan α	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	-	helling oevertalud	ontwerptekening
f	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	-	factor voor toename stroomsnelheid als gevolg van samendrukking bij talud	PIANC 2015
tan β	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	helling straal	aanname
r	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	m	afstand parallel onder straal-as	iteratief tot maximale waarde voor $u_p(l_{jr},r)$

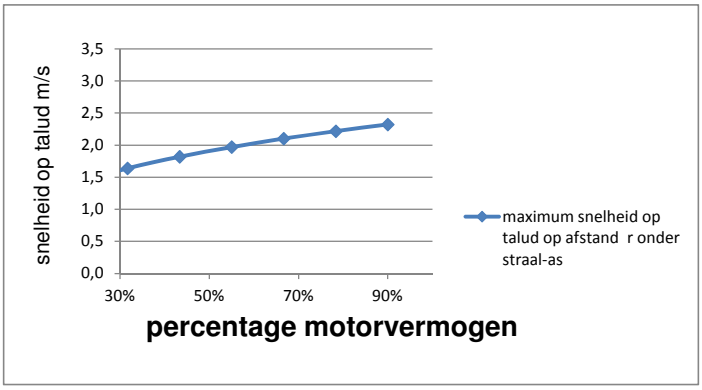
hulpparameter:

P_d	180000	285000	390000	495000	600000	705000	810000	W	aangewend boegschroefvermogen
D_0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	effectieve schroefdiameter
α	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	graden	helling oevertalud
β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	graden	helling oevertalud
x_{bt}	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud
x_j	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as
y_j	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	m	verticale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as
	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed		Check of yj < hs
l_j	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as
l_{jr}	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as op afstand r van straal-as

uitvoer:

$u_{p,0}$	5,6	6,6	7,3	7,9	8,4	8,9	9,3	m/s	stroomsnelheid direct achter boegschroef	RM 4.187
$u_p(l_j)$	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1	m/s	maximum snelheid op talud in straal-as	RM 4.188
$u_p(l_{jr},r)$	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	m/s	maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as	RM 4.189

http://www.veth.net/producten/boegschroeven/kanalenboegschroef_veth_jet.html



Boegschroefstralen op talud

Bron:

$$u_{p,0} = 1{,}15\left(\frac{P_d}{\rho_w D_0^2}\right)^{1/3}$$ RM 4.187

Bron:

$$u_p(x) = 2{,}8 u_{p,0}\frac{D_0}{x}$$ RM 4.188

$$u_p(x,r) = u_p(x)e^{\frac{-15{,}4r^2}{x^2}}$$ RM 4.189

invoer:

CEMT-klasse	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**			
Schroef	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**			
P	900000	900000	900000	900000	900000	900000	900000	W	boegschroefvermogen	Marin 2010
a	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	-	percentage gebruik motorvermogen	aanname
b	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	factor effectieve schroefdiameter (=1.0 voor tunnels)	
ρ_w	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	kg/m^3	dichtheid water	-
D_s	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	m	boegschroefdiameter	www.veth.net
h_s	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	m	kielspeling	variabel
x_s	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	m	horizontale afstand taludteen tot boegschroeftunnelopening	variabel
tan α	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	-	helling oevertalud	ontwerptekening
f	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	-	factor voor toename stroomsnelheid als gevolg van samendrukking bij talud	PIANC 2015
tan β	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	helling straal	aanname
r	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	m	afstand parallel onder straal-as	iteratief tot maximale waarde voor $u_p(l_{jr},r)$
	3	3	3	3	3	3	3			

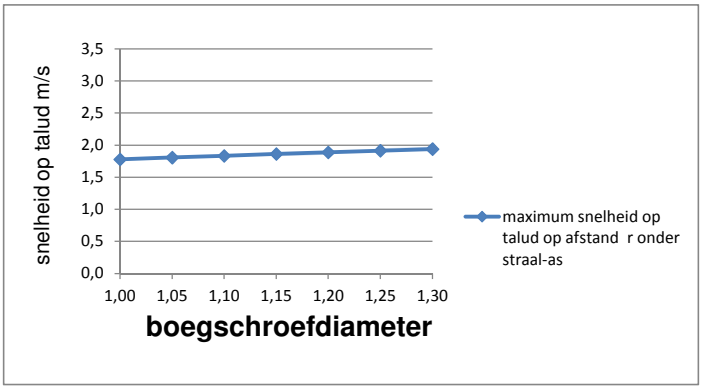
hulpparameter:

P_d	450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000	W	aangewend boegschroefvermogen	
D_0	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	m	effectieve schroefdiameter	
α	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	graden	helling oevertalud	
β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	graden	helling oevertalud	
x_{bt}	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud	
x_j	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as	
y_j	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	m	verticale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as	
	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed		Check of yj < hs	
l_j	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as	
l_{jr}	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as op afstand r van straal-as	

uitvoer:

$u_{p,0}$	8,8	8,5	8,3	8,0	7,8	7,6	7,4	m/s	stroomsnelheid direct achter boegschroef	RM 4.187
$u_p(l_j)$	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	m/s	maximum snelheid op talud in straal-as	RM 4.188
$u_p(l_{jr},r)$	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	m/s	maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as	RM 4.189

http://www.veth.net/producten/boegschroeven/kanalenboegschroef_veth_jet.html



Boegschroefstralen op talud

Bron:

$$u_{p,0} = 1{,}15\left(\frac{P_d}{\rho_w D_0^2}\right)^{1/3}$$ RM 4.187

Bron:

$$u_p(x) = 2{,}8 u_{p,0}\frac{D_0}{x}$$ RM 4.188

$$u_p(x,r) = u_p(x)e^{\frac{-15{,}4r^2}{x^2}}$$ RM 4.189

invoer:

CEMT-klasse	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**			
Schroef	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**			
P	900000	900000	900000	900000	900000	900000	900000	W	boegschroefvermogen	Marin 2010
a	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	-	percentage gebruik motorvermogen	aanname
b	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	factor effectieve schroefdiameter (=1.0 voor tunnels)	
ρ_w	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	kg/m^3	dichtheid water	-
D_s	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	boegschroefdiameter	www.veth.net
h_s	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	m	kielspeling	variabel
x_s	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	m	horizontale afstand taludteen tot boegschroeftunnelopening	variabel
tan α	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	-	helling oevertalud	ontwerptekening
f	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	-	factor voor toename stroomsnelheid als gevolg van samendrukking bij talud	PIANC 2015
tan β	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	helling straal	aanname
r	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	m	afstand parallel onder straal-as	iteratief tot maximale waarde voor $u_p(l_{jr},r)$

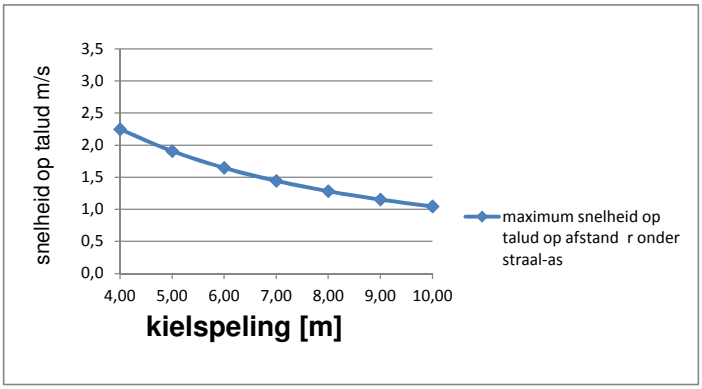
hulpparameter:

P_d	450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000	W	aangewend boegschroefvermogen
D_0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	effectieve schroefdiameter
α	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	graden	helling oevertalud
β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	graden	helling oevertalud
x_{bt}	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5	31,5	34,5	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud
x_j	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5	31,5	34,5	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as
y_j	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	m	verticale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as
	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed		Check of yj < hs
l_j	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5	31,5	34,5	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as
l_{jr}	12,9	15,9	18,9	21,9	24,9	27,9	30,9	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as op afstand r van straal-as

uitvoer:

$u_{p,0}$	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	m/s	stroomsnelheid direct achter boegschroef	RM 4.187
$u_p(l_j)$	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	m/s	maximum snelheid op talud in straal-as	RM 4.188
$u_p(l_{jr},r)$	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0	m/s	maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as	RM 4.189

http://www.veth.net/producten/boegschroeven/kanalenboegschroef_veth_jet.html



Boegschroefstralen op talud

Bron:

$$u_{p,0} = 1{,}15\left(\frac{P_d}{\rho_w D_0^2}\right)^{1/3}$$ RM 4.187

Bron:

$$u_p(x) = 2{,}8 u_{p,0}\frac{D_0}{x}$$ RM 4.188

$$u_p(x,r) = u_p(x)e^{\frac{-15{,}4r^2}{x^2}}$$ RM 4.189

invoer:

CEMT-klasse	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**			
Schroef	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**			
P	900000	900000	900000	900000	900000	900000	900000	W	boegschroefvermogen	Marin 2010
a	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	-	percentage gebruik motorvermogen	aanname
b	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	factor effectieve schroefdiameter (=1.0 voor tunnels)	
ρ_w	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	kg/m^3	dichtheid water	-
D_s	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	boegschroefdiameter	www.veth.net
h_s	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	m	kielspeling	variabel
x_s	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	m	horizontale afstand taludteen tot boegschroeftunnelopening	variabel
tan α	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	-	helling oevertalud	ontwerptekening
f	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	-	factor voor toename stroomsnelheid als gevolg van samendrukking bij talud	PIANC 2015
tan β	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	helling straal	aanname
r	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	m	afstand parallel onder straal-as	iteratief tot maximale waarde voor $u_p(l_{jr},r)$

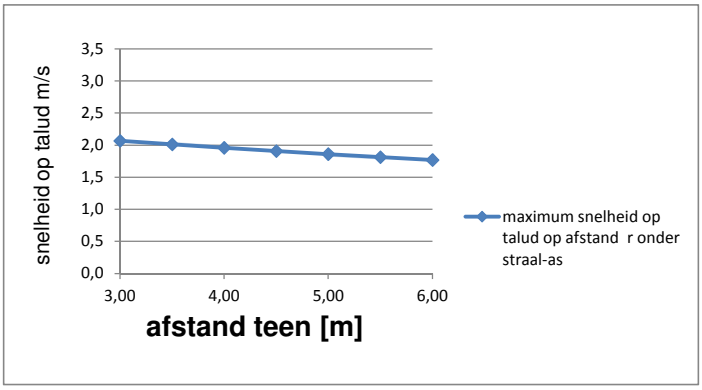
hulpparameter:

P_d	450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000	W	aangewend boegschroefvermogen
D_0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	effectieve schroefdiameter
α	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	graden	helling oevertalud
β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	graden	helling oevertalud
x_{bt}	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud
x_j	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as
y_j	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	m	verticale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as
	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed		Check of yj < hs
l_j	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as
l_{jr}	14,4	14,9	15,4	15,9	16,4	16,9	17,4	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as op afstand r van straal-as

uitvoer:

$u_{p,0}$	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	m/s	stroomsnelheid direct achter boegschroef	RM 4.187
$u_p(l_j)$	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	m/s	maximum snelheid op talud in straal-as	RM 4.188
$u_p(l_{jr},r)$	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	m/s	maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as	RM 4.189

http://www.veth.net/producten/boegschroeven/kanalenboegschroef_veth_jet.html



Boegschroefstralen op talud

Bron:

$$u_{p,0} = 1{,}15\left(\frac{P_d}{\rho_w D_0^2}\right)^{1/3}$$ RM 4.187

Bron:

$$u_p(x) = 2{,}8 u_{p,0}\frac{D_0}{x}$$ RM 4.188

$$u_p(x,r) = u_p(x)e^{\frac{-15{,}4r^2}{x^2}}$$ RM 4.189

invoer:

CEMT-klasse	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**			
Schroef	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**			
P	900000	900000	900000	900000	900000	900000	900000	W	boegschroefvermogen	Marin 2010
a	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	-	percentage gebruik motorvermogen	aanname
b	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	factor effectieve schroefdiameter (=1.0 voor tunnels)	
ρ_w	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	kg/m^3	dichtheid water	-
D_s	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	boegschroefdiameter	www.veth.net
h_s	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	m	kielspeling	variabel
x_s	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	m	horizontale afstand taludteen tot boegschroeftunnelopening	variabel
tan α	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	-	helling oevertalud	ontwerptekening
f	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	-	factor voor toename stroomsnelheid als gevolg van samendrukking bij talud	PIANC 2015
tan β	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	-	helling straal	aanname
r	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	m	afstand parallel onder straal-as	iteratief tot maximale waarde voor $u_p(l_{jr},r)$

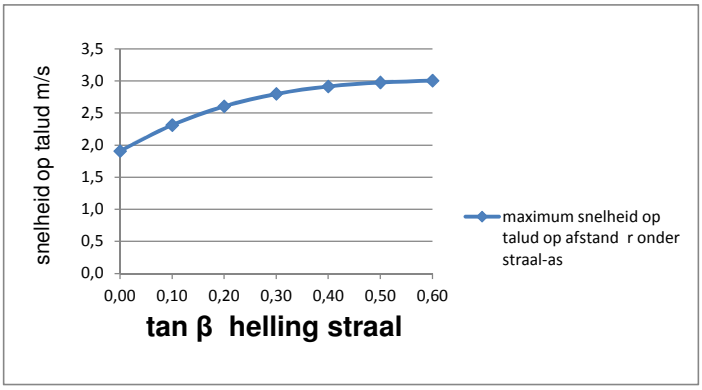
hulpparameter:

P_d	450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000	W	aangewend boegschroefvermogen	
D_0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	effectieve schroefdiameter	
α	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	graden	helling oevertalud	
β	0,0	5,7	11,3	16,7	21,8	26,6	31,0	graden	helling oevertalud	
x_{bt}	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud	
x_j	19,5	15,0	12,2	10,3	8,9	7,8	7,0	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as	
y_j	0,0	1,5	2,4	3,1	3,5	3,9	4,2	m	verticale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as	
	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed		Check of yj < hs	
l_j	19,5	15,1	12,4	10,7	9,5	8,7	8,1	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as	
l_{jr}	15,9	12,4	10,3	9,0	8,1	7,5	7,1	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as op afstand r van straal-as	

uitvoer:

$u_{p,0}$	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	m/s	stroomsnelheid direct achter boegschroef	RM 4.187
$u_p(l_j)$	1,7	2,2	2,7	3,1	3,5	3,8	4,1	m/s	maximum snelheid op talud in straal-as	RM 4.188
$u_p(l_{jr},r)$	1,9	2,3	2,6	2,8	2,9	3,0	3,0	m/s	maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as	RM 4.189

http://www.veth.net/producten/boegschroeven/kanalenboegschroef_veth_jet.html



Boegschroefstralen op talud

Bron:

$$u_{p,0} = 1{,}15\left(\frac{P_d}{\rho_w D_0^2}\right)^{1/3}$$ RM 4.187

Bron:

$$u_p(x) = 2{,}8 u_{p,0}\frac{D_0}{x}$$ RM 4.188

$$u_p(x,r) = u_p(x) e^{\frac{-15{,}4 r^2}{x^2}}$$ RM 4.189

invoer:

CEMT-klasse	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**			
Schroef	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**			
P	900000	900000	900000	900000	900000	900000	900000	W	boegschroefvermogen	Marin 2010
a	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	-	percentage gebruik motorvermogen	aanname
b	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	factor effectieve schroefdiameter (=1.0 voor tunnels)	
ρ_w	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	kg/m^3	dichtheid water	-
D_s	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	boegschroefdiameter	www.veth.net
h_s	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	m	kielspeling	variabel
x_s	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	m	horizontale afstand taludteen tot boegschroeftunnelopening	variabel
tan α	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	-	helling oevertalud	ontwerptekening
f	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	-	factor voor toename stroomsnelheid als gevolg van samendrukking bij talud	PIANC 2015
tan β	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	helling straal	aanname
r	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	m	afstand parallel onder straal-as	iteratief tot maximale waarde voor $u_p(l_{jr},r)$

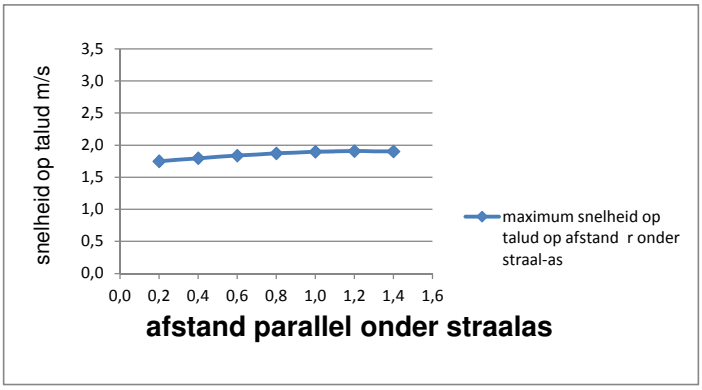
hulpparameter:

P_d	450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000	W	aangewend boegschroefvermogen	
D_0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	effectieve schroefdiameter	
α	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	graden	helling oevertalud	
β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	graden	helling oevertalud	
x_{bt}	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud	
x_j	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as	
y_j	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	m	verticale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as	
	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed		Check of yj < hs	
l_j	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as	
l_{jr}	18,9	18,3	17,7	17,1	16,5	15,9	15,3	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as op afstand r van straal-as	

uitvoer:

$u_{p,0}$	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	m/s	stroomsnelheid direct achter boegschroef	RM 4.187
$u_p(l_j)$	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	m/s	maximum snelheid op talud in straal-as	RM 4.188
$u_p(l_{jr},r)$	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	m/s	maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as	RM 4.189

http://www.veth.net/producten/boegschroeven/kanalenboegschroef_veth_jet.html



Boegschroefstralen op talud

Bron:

$$u_{p,0} = 1{,}15\left(\frac{P_d}{\rho_w D_0^2}\right)^{1/3}$$ RM 4.187

Bron:

$$u_p(x) = 2{,}8 u_{p,0}\frac{D_0}{x}$$ RM 4.188

$$u_p(x,r) = u_p(x)e^{\frac{-15{,}4r^2}{x^2}}$$ RM 4.189

invoer:

CEMT-klasse	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**			
Schroef	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**			
P	900000	900000	900000	900000	900000	900000	900000	W	boegschroefvermogen	Marin 2010
a	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	-	percentage gebruik motorvermogen	aanname
b	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	factor effectieve schroefdiameter (=1.0 voor tunnels)	
ρ_w	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	kg/m^3	dichtheid water	-
D_s	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	boegschroefdiameter	www.veth.net
h_s	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	m	kielspeling	variabel
x_s	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	m	horizontale afstand taludteen tot boegschroeftunnelopening	variabel
tan α	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	-	helling oevertalud	ontwerptekening
f	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	-	factor voor toename stroomsnelheid als gevolg van samendrukking bij talud	PIANC 2015
tan β	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	helling straal	aanname
r	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	m	afstand parallel onder straal-as	iteratief tot maximale waarde voor $u_p(l_{jr},r)$
	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1			

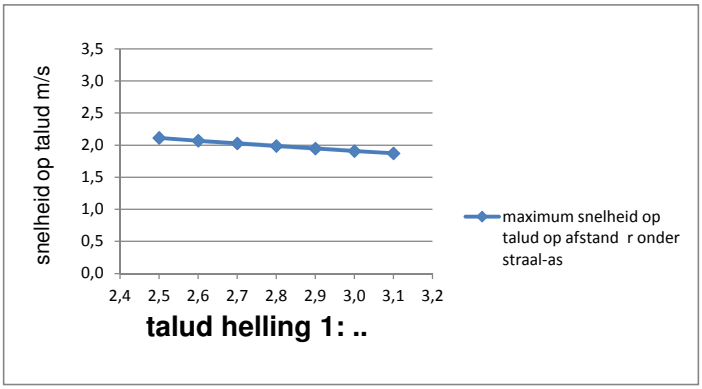
hulpparameter:

P_d	450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000	W	aangewend boegschroefvermogen
D_0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	effectieve schroefdiameter
α	21,8	21,0	20,3	19,7	19,0	18,4	17,9	graden	helling oevertalud
β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	graden	helling oevertalud
x_{bt}	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud
x_j	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	m	horizontale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as
y_j	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	m	verticale afstand boegschroefopening tot talud in richting straal-as
	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed		Check of yj < hs
l_j	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as
l_{jr}	14,0	14,4	14,8	15,1	15,5	15,9	16,3	m	afstand schroefopening tot talud in richting van straal-as op afstand r van straal-as

uitvoer:

$u_{p,0}$	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	m/s	stroomsnelheid direct achter boegschroef	RM 4.187
$u_p(l_j)$	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	m/s	maximum snelheid op talud in straal-as	RM 4.188
$u_p(l_{jr},r)$	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	m/s	maximum snelheid op talud op afstand r onder straal-as	RM 4.189

http://www.veth.net/producten/boegschroeven/kanalenboegschroef_veth_jet.html



Boegschroefstralen op talud Bron:

$$u_{p,0} = 1{,}15\left(\frac{P_d}{\rho_w D_0^2}\right)^{1/3}$$ RM 4.187 $$u_p(x) = 2$$

$$u_p(x,r) = u_p(x)e^{\frac{-15{,}4r^2}{x^2}}$$ RM 4.189

invoer:

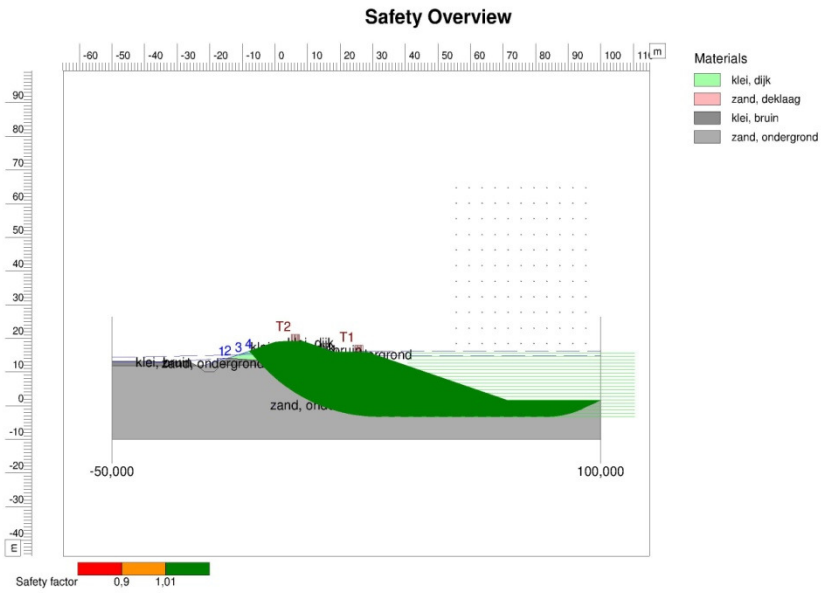
CEMT-klasse	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**	**Va**		
Schroef	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**	**boeg**		
P	900000	900000	900000	900000	900000	900000	900000	W	boegschroefvermogen
a	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	-	percentage gebruik motorverr
b	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	factor effectieve schroefdiame (=1.0 voor tunnels)
ρ_w	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	kg/m^3	dichtheid water
D_s	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	boegschroefdiameter
h_s	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	m	kielspeling
x_s	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	m	horizontale afstand taludteen boegschroeftunnelopening
tan α	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	-	helling oevertalud
f	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	-	factor voor toename stroomsr gevolg van samendrukking bi
tan β	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	helling straal
r	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	m	afstand parallel onder straal-a
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0		

hulpparameter:

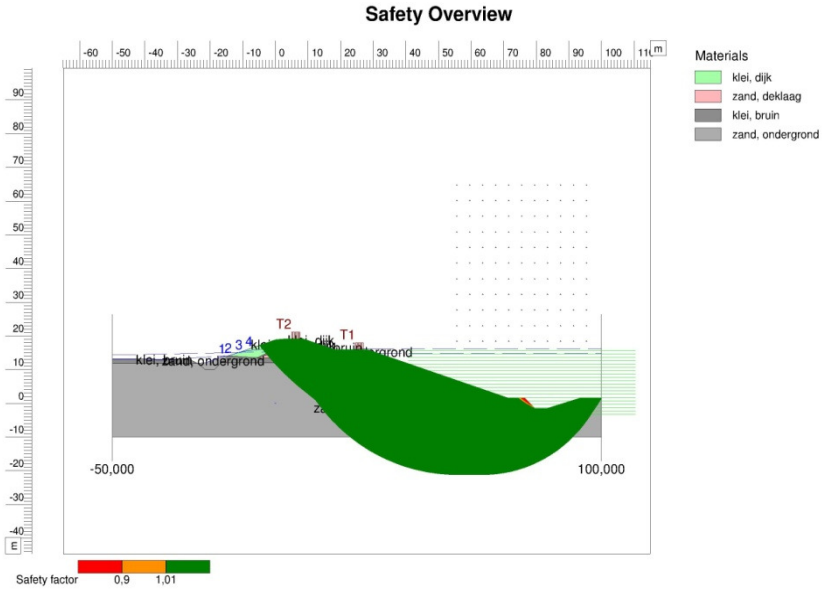
P_d	450000	450000	450000	450000	450000	450000	450000	W	aangewend boegschroefverm
D_0	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	m	effectieve schroefdiameter
α	26,6	18,4	14,0	11,3	9,5	8,1	7,1	graden	helling oevertalud
β	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	graden	helling oevertalud
x_{bt}	14,5	19,5	24,5	29,5	34,5	39,5	44,5	m	horizontale afstand boegschro tot talud
x_j	14,5	19,5	24,5	29,5	34,5	39,5	44,5	m	horizontale afstand boegschro tot talud in richting straal-as
y_j	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	m	verticale afstand boegschroef talud in richting straal-as
	goed	goed	goed	goed	goed	goed	goed		Check of yj < hs
l_j	14,5	19,5	24,5	29,5	34,5	39,5	44,5	m	afstand schroefopening tot tal richting van straal-as
l_{jr}	12,1	15,9	19,7	23,5	27,3	31,1	34,9	m	afstand schroefopening tot tal richting van straal-as op afsta straal-as

BIJLAGE VII MAATGEVENDE GLIJCIRKELS BIJ ONTGRONDINGEN

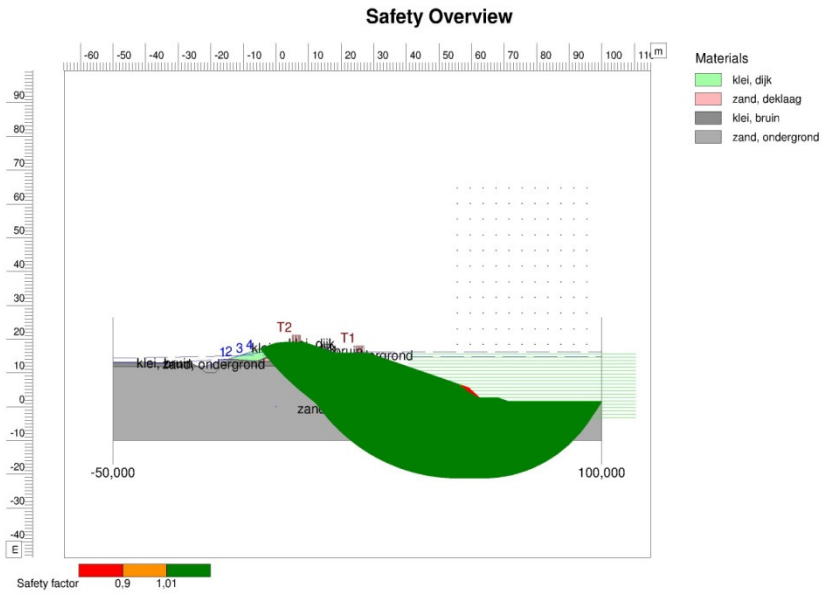
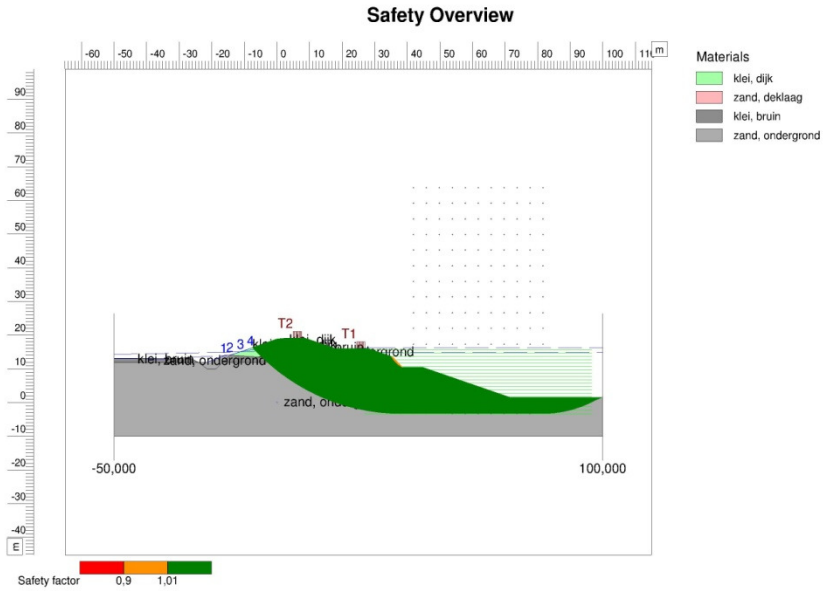
Afbeelding VII.1. Maatgevende glijcirkels OHL zonder ontgrondingen



Afbeelding VII.2. Maatgevende glijcirkels OHL ontgronding (3m diep) buiten beschermingszone



Afbeelding VII.3. Maatgevende glijcirkels OHL ontgronding (2m diep) laag op talud



Afbeelding VII.4. Maatgevende glijcirkels OHL ontgronding (2m diep) hoog op talud