

Opdrachtgever: **Waterschap Rijn en IJssel**



Nadere veiligheidsanalyse HWBP project Grutbroek



Opdrachtgever: **Waterschap Rijn en IJssel**



Nadere veiligheidsanalyse HWBP project Grutbroek



Auteurs

G. Pleijter (HKV)
B. Maaskant (HKV)
R. Delhez (Greenrivers)
C. van 't Slot (Greenrivers)

Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding tot het project	3
1.2	Doelstelling	3
1.3	Leeswijzer	3
2	Hydraulische Randvoorwaarden	5
2.1	Uitgangspunten	5
2.2	Waterkerende hoogte.....	6
3	Waterstanden	8
3.1	Gevoeligheidsanalyse.....	9
4	Hoogte en bekledingen	11
4.1	Overloop en Overslag (HBN)	11
4.1.1	Aansluiting hoge gronden.....	12
4.1.2	Gevoeligheidsanalyse.....	12
4.2	Gras erosie buitentalud (GEBU)	14
4.3	Resumé en conclusies bekleding	16
5	Stabiliteit	17
5.1	Waterstand	17
5.2	Macro-instabiliteit buitenwaarts.....	17
5.2.1	Basiseisen conform OI2014	18
5.2.2	Analyse situatie Grutbroek	20
5.2.3	Instabiliteit kadeconstructies	20
5.3	Macro-instabiliteit binnenwaarts	21
5.4	Piping	21
5.5	Resumé en conclusies stabiliteit	21
6	Kunstwerken	22
6.1	Waterstand	22
6.2	Faalkanseisen	23
6.3	Analyse duiker IJsseltuin	24
6.3.1	Hoogte (HTKW).....	24
6.3.2	Betrouwbaarheid sluiting (BSKW).....	24
6.3.3	Piping (PKW)	25
6.3.4	Sterkte en stabiliteit (STKWp).....	26
6.4	Analyse Riooloverstort Grutbroek	26
6.4.1	Hoogte (HTKW).....	27
6.4.2	Betrouwbaarheid sluiting (BSKW).....	28
6.4.3	Piping (PKW)	28
6.4.4	Sterkte en stabiliteit (STKWp).....	28
6.5	Analyse Riooluitlaten industrieterrein	29
6.5.1	Hoogte (HTKW).....	29
6.5.2	Betrouwbaarheid sluiting (BSKW).....	29
6.5.3	Piping (PKW)	30
6.5.4	Sterkte en stabiliteit (STKWp).....	30

6.6	Analyse Riooloverstort Agruniek	30
6.6.1	Hoogte (HTKW)	31
6.6.2	Betrouwbaarheid sluiting (BSKW).....	31
6.6.3	Piping (PKW)	32
6.6.4	Sterkte en stabiliteit (STKWp)	32
6.7	Resumé en conclusies kunstwerken	32
7	Conclusies en aanbevelingen	34
7.1	Conclusies	34
7.2	Beschouwing resultaten	36
	Bijlage A: Bron werkelijke profielen waterkering	39
	Bijlage B: Overzicht deeltrajecten	40
	Bijlage C: Overschrijdingsfrequentielijnen	48
	Bijlage D: Gegevens hoogteligging	49

1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot het project

De primaire waterkering langs de noordkant van de Oude IJssel is gedeeltelijk afgekeurd in de derde toetsronde. De afgekeurde kering bevindt zich op het industrieterrein Grutbroek in Doetinchem (van dijkpaal 12 t/m 23). De bedrijven op het industrieterrein Grutbroek hebben de wens hun bedrijfsterrein opnieuw in te richten, inclusief het aanbrengen van laad- en losinstallaties op de huidige waterkering. Het waterschap heeft de wens om samen met deze bedrijven op te trekken. Een eerste stap naar de verbeteropgave is het uitvoeren van een nadere veiligheidsanalyse van de noordzijde van de Oude IJssel. Deze veiligheidsanalyse wordt uitgevoerd van dijkpaal 4 t/m 25. Dit tracé is ruimer dan het tracé dat in de derde toetsronde onvoldoende is beoordeeld. Dit om een eventuele opgave direct naast het huidige project ook in beeld te brengen.

De veiligheidsanalyse wordt uitgevoerd conform het OI2014 versie 4 voor de faalmechanismen overloop en overslag, piping, macro-instabiliteit (binnenwaarts en buitenwaarts) en de veiligheid van de kunstwerken is nader beschouwd. Op basis van de resultaten uit de derde toetsronde zijn de overige mechanismen als niet relevant verondersteld.



Figuur 1: Scope veiligheidsanalyse (rode traject, dijkpaal 4 t/m 25). Scope HWBP traject van dijkpaal 12 t/m 23

1.2 Doelstelling

Doel van deze studie is door middel van een nadere veiligheidsanalyse een gedragen scope van de veiligheidsopgave te krijgen.

1.3 Leeswijzer

De hydraulisch randvoorwaarden zijn beschreven in Hoofdstuk 2. De veiligheidsanalyse is weergegeven in de hoofdstukken 3 t/m 5. In hoofdstuk 3 is de bekleding van de waterkering beschouwd conform het OI2014, in hoofdstuk 4 de stabiliteit van de waterkering en in hoofdstuk 5 de kunstwerken. De conclusies en aanbevelingen zijn weergegeven in hoofdstuk 6.

2 Hydraulische Randvoorwaarden

2.1 Uitgangspunten

De hydraulische randvoorwaarden zijn (zo veel mogelijk) afgeleid op basis van de uitgangspunten in het rekenrecept bovenrivieren zoals is opgesteld door het KPR. Het rekenrecept is afgeleid voor de Gelderse IJssel. Niet alle uitgangspunten kunnen daarom direct worden gevolgd voor de nadere veiligheidsanalyse op de Oude IJssel. Wanneer van het rekenrecept is afgeweken is dit vermeld in onderstaande uitgangspunten.

- Afvoer bij Lobith op basis van de overschrijdingsfrequentielijnen uit GRADE. Voor de zichtjaren 2050 en 2100 is rekening gehouden met een toename van de afvoer conform het KNMI'06 W+ scenario.
- Database fysica conform het WBI2017.
 - o In de WBI2017 database wordt afgeweken van de beleidsmatige afvoerverdeling bij de splitsingspunten zoals is beschreven OI2014 versie 4. Dit betekent dat de Nederrijn - Lek niet (volledig) ontzien wordt bij afvoeren hoger dan 16.000 m³/s. Hierdoor neemt de waterstand op de Oude IJssel af.
 - o Om bovengenoemd punt goed mee te nemen dient de afvoerstatistiek aangepast te worden, maar omdat de maximaal toelaatbare overstromingskansen bij Grutbroek 1/100 per jaar is, liggen de relevante afvoeren voor de voorliggende nadere veiligheidsanalyse (grotendeels) buiten het bereik waar het ontzien van de Nederrijn - Lek van invloed is op de waterstand.
Gezien het feit dat de gecorrigeerde afvoerstatistiek niet tijdig beschikbaar is, is in voorliggende analyse geen rekening gehouden met het ontzien van de Nederrijn - Lek. De waterstanden en het hydraulisch belastingniveau (HBN) worden hierdoor mogelijk overschat.
- Aftoppen van de afvoer bij Lobith op 18.000 m³/s
- Onzekerheden worden meegenomen conform het WBI2017. Statistische onzekerheid in de afvoer en de windstatistiek wordt meegenomen via aangepaste statistiekbestanden. Modelonzekerheden worden als invoer parameter in de software ingevoerd.
- Uitgangspunt is dat de invloed van de maatregelen in de rivier, zoals bijvoorbeeld IJsselpoort, niet wordt meegenomen.
- Voor de windstatistiek wordt aangesloten bij de windstatistiek van het WBI2017 en dat is voor het bovenrivierengebied de statistiek bij Deelen (incl. uit-geïntegreerde onzekerheden).
- In het WBI2017 wordt een eenvoudigere methode gebruikt om de hydraulische randvoorwaarden te bepalen in vergelijking met de hydraulische randvoorwaarden op de Oude IJssel zoals zijn afgeleid in 2016 (HKV, 2016). Hierdoor vallen de hydraulische randvoorwaarden zonder onzekerheden o.b.v. het WBI2017 lager uit. Dit wordt gecorrigeerd middels een toeslag. Deze toeslag is gelijk aan het verschil tussen de waterstand (zonder onzekerheden) in beide studies, namelijk 20 cm.

- Het waterschap heeft in een hydrologische studie de waterstanden op de Oude IJssel bepaald met een neerslag-afvoer model van het stroomgebied van de Oude IJssel op basis van de KNMI klimaatscenario's 2014. Dit is van belang omdat het regionale systeem een grote invloed heeft op de Oude IJssel en zeker in het bereik van de norm van het traject Grutbroek. Het verschil tussen de waterstand uit de Oude IJssel studie uit 2016 en de hydrologische studie van het waterschap is 45 cm (beide zonder onzekerheden) als wordt gekeken naar de maximaal toelaatbare kans van 1/100 per jaar. In een gevoeligheidsanalyse wordt in beeld gebracht hoe het veiligheidsoordeel van de waterkering bij Grutbroek uitvalt als rekening wordt gehouden met deze hogere waterstanden. In de gevoeligheidsanalyse worden de waterstanden en het HBN daarom met 45 cm verhoogd.

2.2 Waterkerende hoogte

Het traject Grutboek kenmerkt zich door een relatief hoog achterland met daarop een industrieterrein. Vanuit het waterschap is in het beheerregister een leggerlijn vastgelegd die de hoogte van de waterkering beschrijft, zie de doorgetrokken zwarte lijn Figuur 2.

De aanwezige waterkerende hoogte in het achterland beschrijft tot welk niveau het maaiveld het buitenwater kan keren. Dit is een aaneengesloten lijn van hoogste punten in het gebied, zie de stippellijn in Figuur 2.

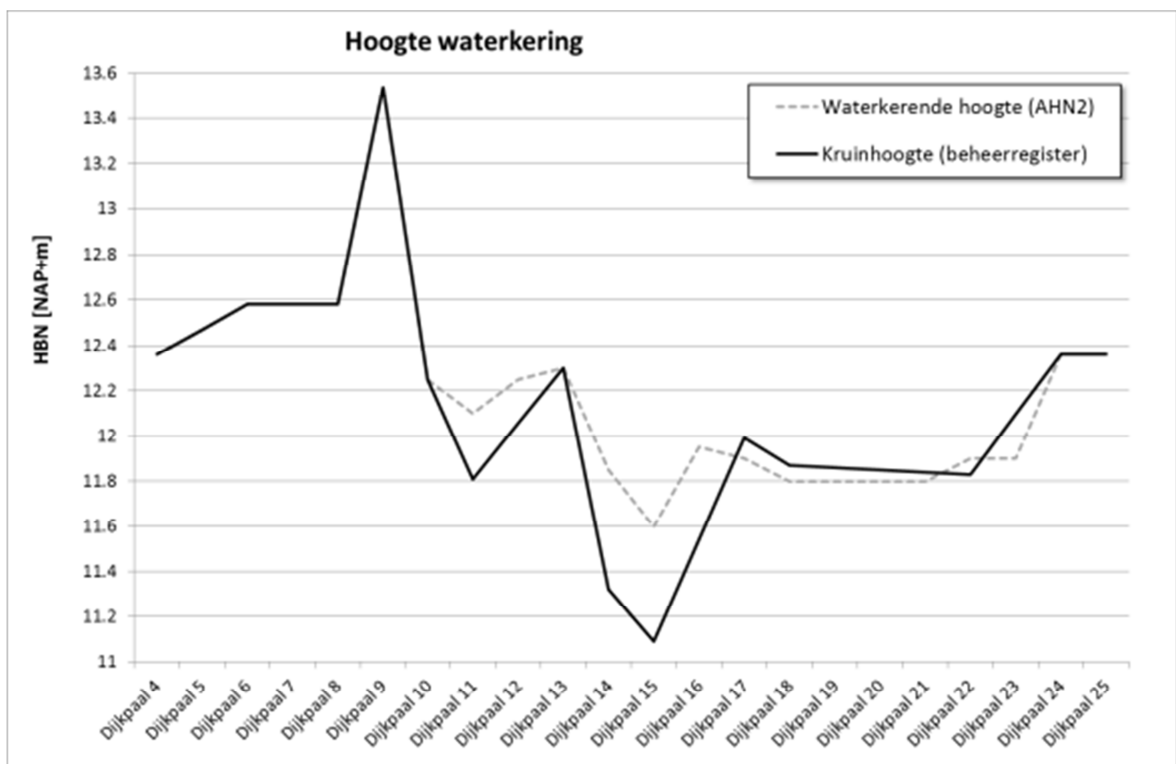
Het tracé dat de waterkerende hoogte beschrijft kan afwijken van de huidige ligging van de waterkering uit het beheerregister en is weergegeven in Figuur 2. De waterkerende hoogte is tussen dijkpaal 4 en 9 gelijk aan de hoogte in het beheerregister en tussen dijkpaal 9 en 17 is deze beheerregisterhoogte lager dan de waterkerende hoogte van de waterkering (Figuur 3). Hier ligt de lijn in het beheerregister namelijk niet over het hoogste punt in het landschap (Figuur 2).

Vanuit het waterschap is aangegeven dat het verplaatsen van de referentielijn naar de waterkerende hoogte in het achterland geen optie is omdat er dan meerdere bedrijven, die nu nog binnendijks liggen dan buitendijks komen te liggen. Daarnaast is de huidige referentielijn al een lastig te beheren situatie waarbij de lijn dwars door bedrijven loopt.

Daarom is het uitgangspunt van de nadere veiligheidsanalyse de referentielijn uit het beheerregister, dit is ook conform de situatie die in de 3^e toetsing is beoordeeld. Het waterschap heeft aangegeven dat de keuze rondom de ligging van de waterkering die de wettelijke bescherming biedt in het plan van aanpak voor de verkenningsfase nader wordt onderzocht.



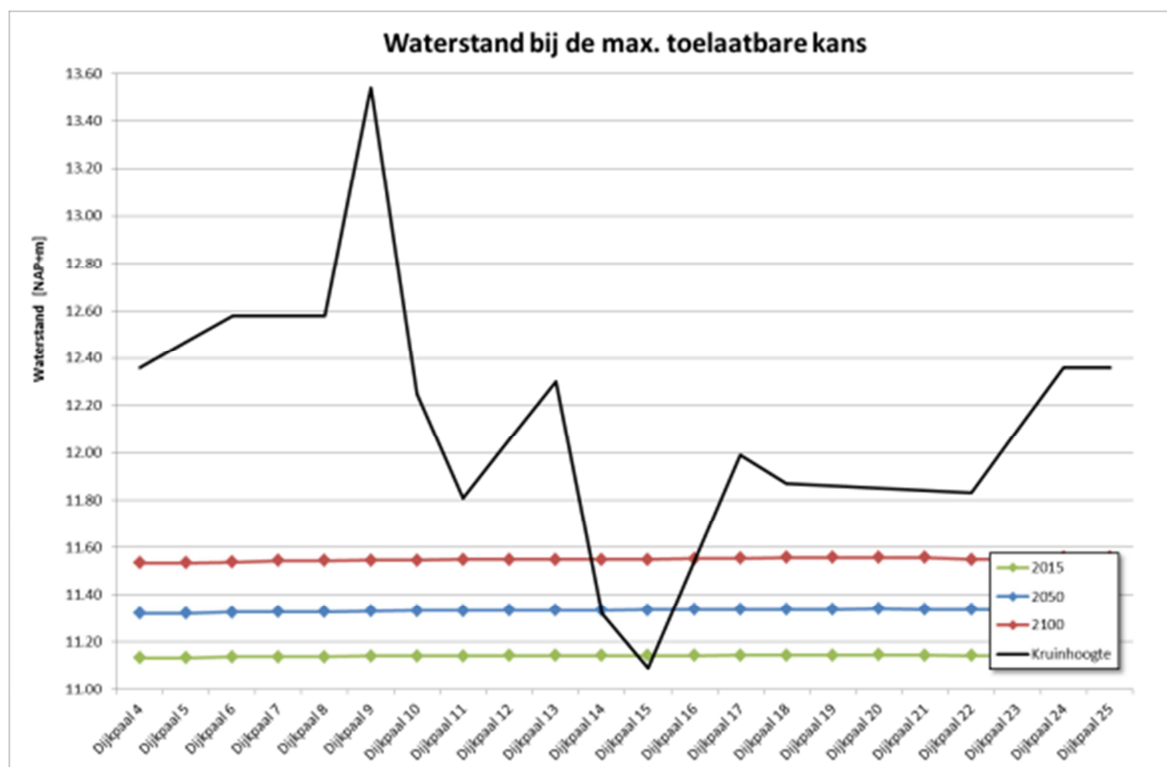
Figuur 2: Maaiveldhoogte conform het AHN2 bij de waterkering op industrieterrein Grutbroek. Het huidige ligging van de waterkering is weergegeven met de zwarte lijn. De grijs-zwart gestippelde lijn beschrijft het tracé van het maximaal waterkerend vermogen van het maaiveld



Figuur 3: Kruinhoogte langs de dijken conform lijnen uit Figuur 2

3 Waterstanden

De waterstanden bij de maximaal toelaatbare overstromingskans van 1/100 per jaar zijn weergegeven in Figuur 4. De gemiddelde waterstand langs het traject is weergegeven in Tabel 1. De waterstanden zijn ongeveer 15cm lager dan de waterstand zoals deze in 2016 is berekend. Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de omgang met onzekerheden. In de studie van 2016 is een onzekerheidstoeslag van 30 cm toegepast. In deze studie zijn onzekerheden conform het WBI2017 uit-geïntegreerd. Conform het WBI2017 is de uitgeïntegreerde toeslag door onzekerheden ongeveer 15 cm. Hierdoor neemt de waterstand netto met 15 cm af.



Figuur 4: Waterstand bij de maximaal toelaatbare overstromingskans

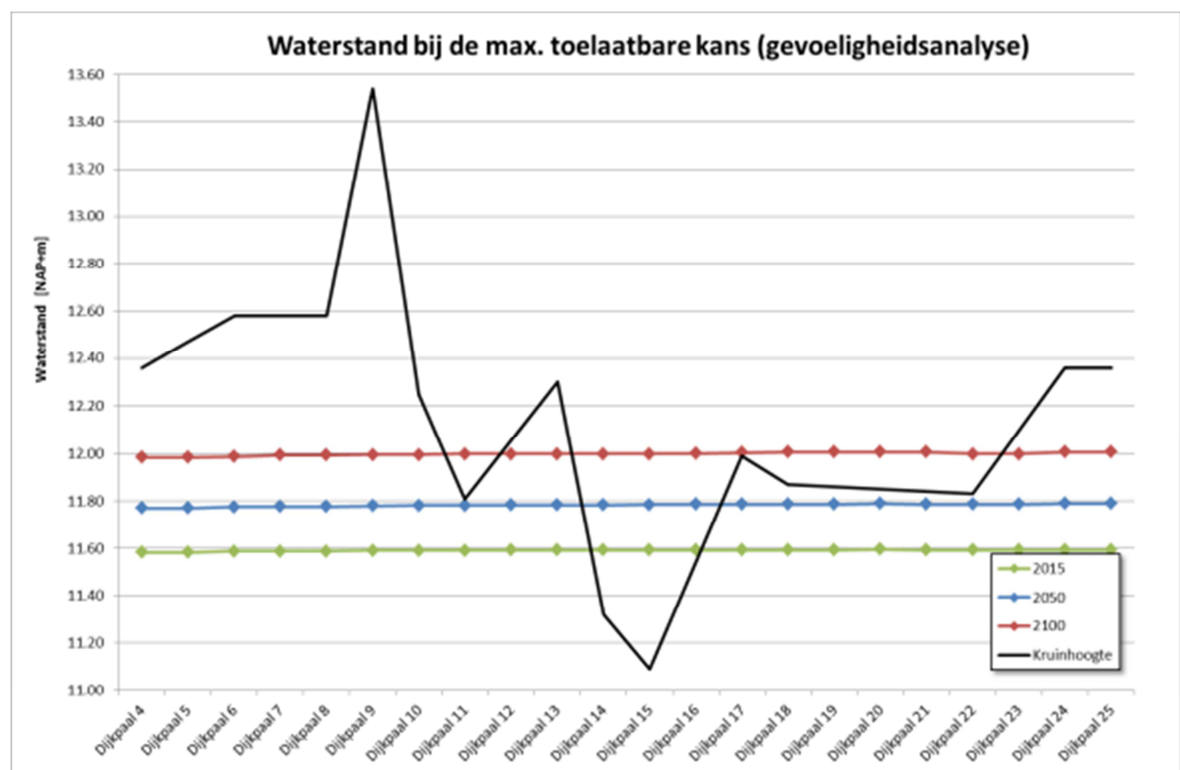
Zichtjaar	Gemiddelde waterstand t.h.v. Grutbroek
2015	NAP +11,14 m
2050	NAP +11,34 m
2100	NAP +11,55 m

Tabel 1: Waterstand bij de maximaal toelaatbare kans

Als wordt gekeken naar de hoogte van de waterkering uit het beheerregister dan is te zien dat voor het huidige zichtjaar de hoogte bij dijkpaal 15 te laag is. Voor de overige dijkpalen ligt de hoogte vanuit het beheerregister hoog genoeg.

3.1 Gevoeligheidsanalyse

Het waterschap heeft in een hydrologische studie de waterstanden op de Oude IJssel bepaald met een neerslag-afvoer model van de Oude IJssel. De hydraulische randvoorwaarden zoals in die studie berekent, vallen hoger uit dan de hydraulische randvoorwaarden in voorliggende studie. In deze gevoeligheidsanalyse wordt in beeld gebracht hoe de waterstanden veranderen als rekening wordt gehouden met deze correctie van 45 centimeter. De resulterende waterstanden zijn weergegeven in Figuur 5 en Tabel 2.



Figuur 5: Waterstand bij de maximaal toelaatbare overstromingskans in de gevoeligheidsanalyse

Zichtjaar	Gemiddelde waterstand t.h.v. Grutbroek
2015	NAP +11,6 m
2050	NAP +11,8 m
2100	NAP +12,0 m

Tabel 2: Waterstand bij de maximaal toelaatbare kans in de gevoeligheidsanalyse

4 Hoogte en bekledingen

In dit hoofdstuk wordt de hoogte en (gras)bekleding van de waterkering beoordeeld. Dit betreft twee faalmechanismen: Overloop en Overslag (par. 3.1) en gras erosie buitentalud (par. 3.2).

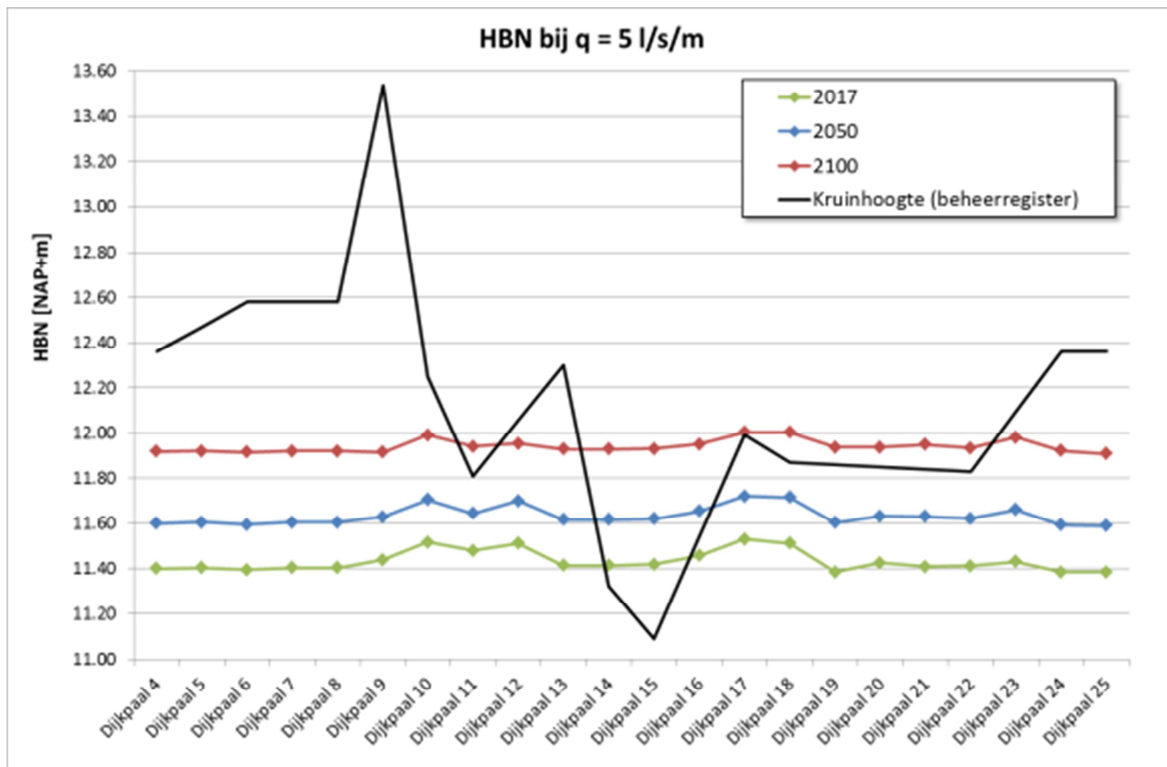
4.1 Overloop en Overslag (HBN)

In Hoofdstuk 3.1 is in beeld gebracht of de waterkering bij Grutbroek hoog genoeg is. Hiervoor is het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij verschillende overslagdebieten vergeleken met de aanwezige hoogte. Het kritisch overslag is conform het OI2014 versie 4 aangenomen op 5 l/s/m. Daarnaast is ook de benodigde hoogte bij een kritisch overslagdebiet van 1 en 10 l/s/m beschouwd.

Het HBN is bepaald o.b.v. het aanwezige profiel van de waterkering voor drie zichtjaren (2017, 2050 en 2100). Het profiel is overgenomen uit de legger van het waterschap of uit het AHN2. Op basis van welke bron het profiel is opgesteld is weergegeven in Bijlage A: Bron werkelijke profielen waterkering. Het HBN (de minimaal benodigde hoogte) is vergeleken met de aanwezig kruinhoogte. Deze is afkomstig uit de leggerprofielen van het Waterschap. Het HBN is conform het OI2014 versie 4 in beeld gebracht bij de faalkanseis op doorsnedeniveau:

$$P_{eis;drsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} = \frac{1/100 \cdot 0,24}{1} = 1/417 \text{ per jaar} \quad \text{Formule 4-1}$$

Figuur 6 geeft het HBN en de kruinhoogte weer bij een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m voor de zichtjaren 2017, 2050 en 2100. De hoogte in het beheerregister beschrijft de kruinhoogte nabij de dijkpalen – dit is de aanwezig hoogte op de referentielijn van de waterkering. Figuur 6 laat zien dat de aanwezig kruinhoogte van dijkpaal 4 t/m 13 hoger is dan de minimaal benodigde hoogte voor alle zichtjaren (het HBN o.b.v. $q = 5$ l/s/m). De aanwezig kruinhoogte van dijkpaal 17 t/m 23 is tot 2075 voldoende hoog, daarna ontstaat er daar mogelijk een opgave. Tussen dijkpaal 14 en 16 is sprake van een lager maaiveld, vanuit de hoogte uit het beheerregister lijkt er een opgave te zijn voor alle zichtjaren.



Figuur 6: HBN bij een overslagdebiet van 5 l/s/m voor de faalkanseis die volgt uit de maximaal toelaatbare overstromingskans ($T = 417$ jaar).

4.1.1 Aansluiting hoge gronden

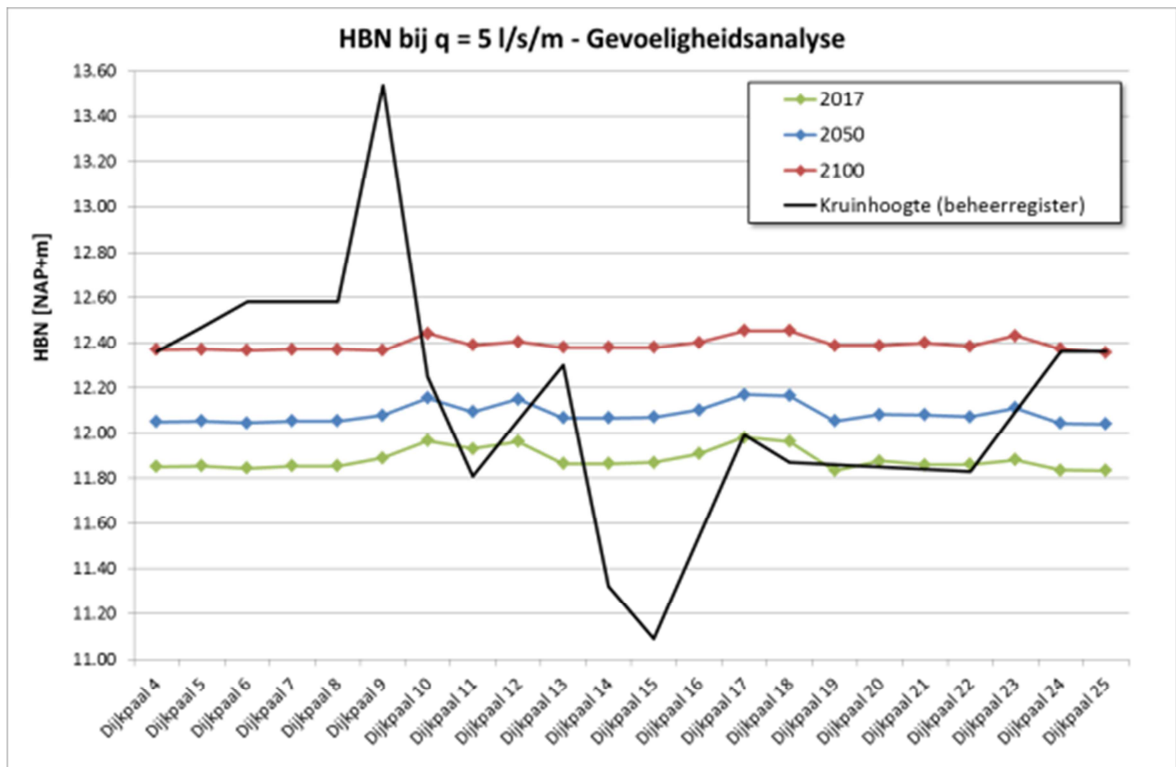
De aansluiting van de primaire keringen met de hoge gronden ligt bij dijkpaal 4, gezien het feit dat hier tot 2100 geen sprake is van een veiligheidsopgave sluit de primaire waterkering nog steeds correct aan op de hoge gronden.

4.1.2 Gevoeligheidsanalyse

Het waterschap heeft in een hydrologische studie de waterstanden op de Oude IJssel bepaald met een neerslag-afvoer model van de Oude IJssel. In deze gevoeligheidsanalyse wordt in beeld gebracht hoe het veiligheidsoordeel van de waterkering bij Grutbroek uitvalt als rekening wordt gehouden met een waterstand die 45 centimeter hoger is.

Het HBN bij deze hogere waterstanden zijn voor een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m en de zichtjaren 2017, 2050 en 2100 weergegeven in Figuur 7. Hierin is te zien dat de hoogte uit het beheerregister van dijkpaal 10 t/m dijkpaal 22 ongeveer gelijk of lager is dan de benodigde kruinhoogte o.b.v. een overslagdebiet van 5 l/s/m. Daarnaast is de 1/100 per jaar waterstand in 2015 gelijk aan NAP +11,59 m (Tabel 2). Dit betekent dat in de huidige situatie of de nabije toekomst sprake is van een waterdiepte groter dan 20 cm in geval van een overstroming. Op basis van de waterstanden uit de hydrologische studie van het waterschap is daarom van dijkpaal 10 t/m dijkpaal 22 sprake van een waterveiligheidsopgave.

Bij de dijken 4 t/m 9, 24 en 25 is benodigde hoogte tot 2100 lager dan de hoogte uit het beheerregister, hier is dus geen sprake van een waterveiligheidsopgave.



Figuur 7: Verhoogd HBN in de gevoeligheidsanalyse bij een overslagdebiet van 5 l/s/m voor de faalkanseis die volgt uit de maximaal toelaatbare overstromingskans ($T = 417 \text{ jaar}$).

4.2 Gras erosie buitentalud (GEBU)

In paragraaf 3.2 is de veiligheid van de grasbekleding op het buitentalud (GEBU) van de waterkering in kaart gebracht. De erosiebestendigheid van het buitentalud wordt alleen bij dijkpaal 17 en 18 in beeld gebracht:

- Bij de dijken 6 t/m 8 en 13 t/m 16 is sprake van een damwand;
- De golfaanval bij de dijken 17 en 18 is groter dan bij de dijken 4, 5 en 9 t/m 12 vanwege langere strijklengtes. Laatstgenoemde locaties zijn daarom niet maatgevend;
- Het voorland bij de dijken 19 t/m 25 ligt dusdanig hoog dat significantie golfaanval bij voorbaat kan worden uitgesloten (het voorland ligt hoger dan NAP +11,0 m);

De faalkanseis op doorsnedeniveau voor GEBU kan worden bepaald met de volgende formule uit het OI2014v4:

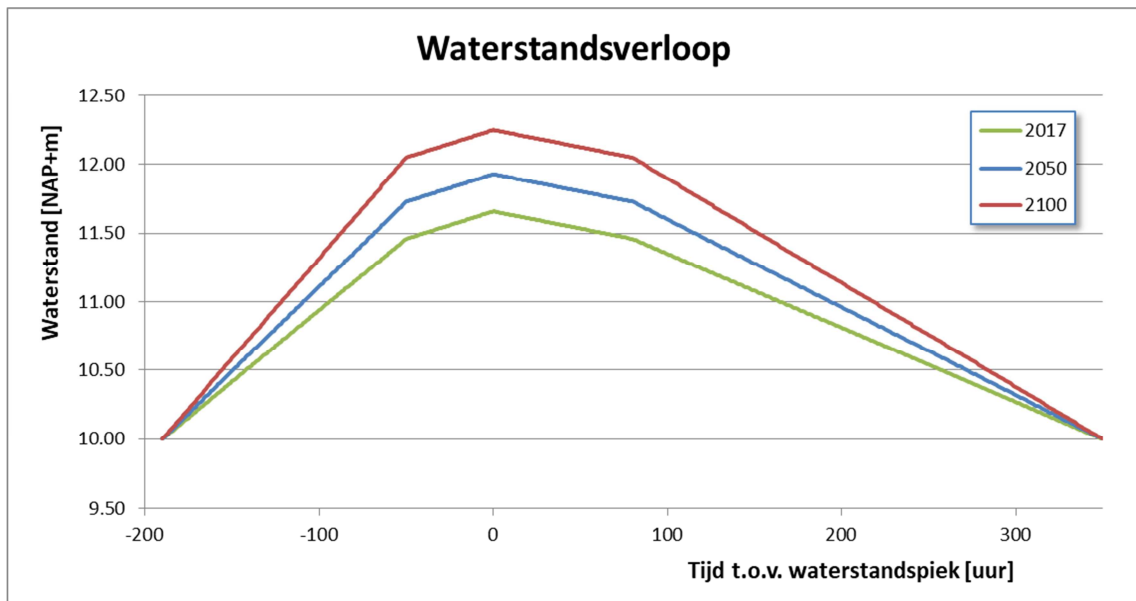
$$P_{eis;drsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} = \frac{1/100 \cdot 0,05}{1} = 1/2.000 \text{ per jaar} \quad \text{Formule 4-2}$$

De golfrandvoorwaarden zijn met Hydra-NL bepaald, vanwege de hoge ligging van de uiterwaarden van de Oude IJssel zijn de golfrandvoorwaarden o.b.v. de standaard methode in Hydra-NL minder betrouwbaar. Daarom is de golfhoogte op basis van een nadere analyse in kaart gebracht. In de veiligheidsanalyse is daarom rekening gehouden met een golfhoogte van maximaal 0,50 m. Dit is een (zeer) conservatieve inschatting van de golfhoogte.

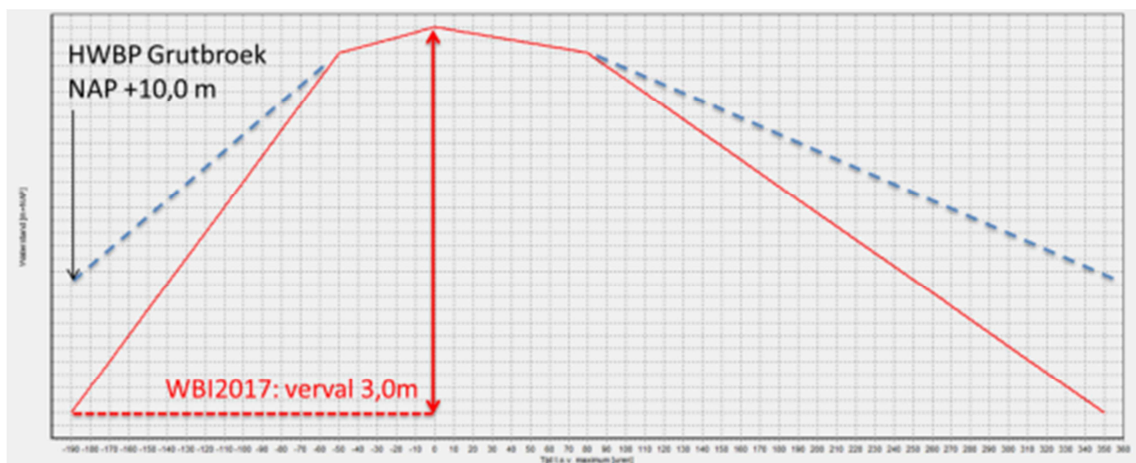
De waterstand is afgeleid bij de faalkanseis op doorsnedeniveau, 1/2.000 per jaar. Deze is weergegeven in Tabel 3. Het verloop van de waterstand gedurende een hoogwatersituatie (het waterstandsverloop) is weergegeven in Figuur 8. Deze is afgeleid conform het WBI2017. Uitzondering hierop is de definitie van de laagste waterstand in het verloop. Het WBI2017 schrijft voor dat de laagste waterstand in het verloop 3,0 m lager is dan de piek van het verloop. Het verval op de Oude IJssel is dusdanig klein dat een waterstand die 3,0 m lager is dan de maximale waterstand onder de dagelijkse waterstanden uitkomt. De laagste waterstand in het waterstandsverloop is daarom aangenomen op NAP +10,0 m (zie ook Figuur 9). Hierdoor stijgt de waterstand minder snel in de tijd en duurt golfaanval op eenzelfde niveau langer in vergelijking met de standaard aanpak. Dit past enerzijds beter bij de gebiedskarakteristieken van de Oude IJssel en is anderzijds een veilige benadering (het veiligheidsoordeel valt hierdoor ongunstiger uit).

Zichtjaar	Waterstand t.h.v. dijkpaal 16
2015	NAP +11,66 m
2050	NAP +11,93 m
2100	NAP +12,25 m

Tabel 3: Waterstand bij een kans van voorkomen van 1/2.000 per jaar.



Figuur 8: Waterstandsverloop van een waterstand met een kans van voorkomen van 1/2.000 per jaar.



Figuur 9: Afwijking waterstandsverloop t.o.v. het WBI2017.

Het veiligheidsoordeel voor GEBU is bepaald met de basis module van het WBI2017 (BM Gras Buitentalud). De basisgegevens over de kwaliteit van de grasmatt zijn zo mogelijk overgenomen uit de derde toetsronde. De dikte van de grasmatt en de kleilaag is aanvullend aangenomen op 0,3 m:

- Graskwaliteit: open zode (conform de graskwaliteit in de derde toetsronde);
- Zandgehalte in de kleilaag: 50% (conform de graskwaliteit in de derde toetsronde);
- Dikte kleilaag + gras: 0,30 m;

De veiligheidsfactoren voor het faalmechanisme Gras Erosie Buitentalud zijn weergegeven in Tabel 4. Uit de analyse blijkt dat veiligheidsfactor voor de zichtjaren 2017, 2050 en 2100 in alle drie de gevallen groter is dan 1,0. Dit betekent dat geen sprake is van een veiligheidsopgave.

Zichtjaar	Veiligheidsfactor GEBU
2015	6,8
2050	8,0
2100	9,5

Tabel 4: Veiligheidsfactor GEBU.

In geval de waterstand toeneemt neemt de veiligheidsfactor ook toe. Dit omdat de waterstanden in het waterstandsverloop sneller stijgen en het grastalud op eenzelfde niveau minder lang belast wordt. Dit is ook te zien in Tabel 4, de veiligheidsfactor voor het zichtjaar 2100 is hoger dan in 2017. Dit betekent dat wanneer uit wordt gegaan van hogere waterstanden uit de hydrologische studie van het waterschap, de veiligheidsfactoren gunstiger zijn dan uit Tabel 4.

4.3 Resumé en conclusies bekleding

In deze paragraaf is gekeken naar falen van de waterkering van Grutbroek. Hierbij zijn de faalmechanismen Overloop en Overslag en Gras erosie buitentalud onderzocht.

De analyse laat zien dat de opgave ten opzichte van de 3e toetsronde kleiner wordt, maar bij dijkpaal 15 is er ten opzichte van de hoogte uit het beheerregister nog steeds een opgave aanwezig. De kleinere opgave wordt voornamelijk ingegeven door een verlaging van de norm van 1/1250 per jaar (overschrijdingskans o.b.v. de HR2006) naar 1/100 per jaar (overstromingskans zoals nu vastgelegd in de waterwet).

In het geval dat er wordt uitgegaan van de hogere waterstanden zoals zijn bepaald in de hydrologische studie van het waterschap dan ontstaat er bij dijkpaal 14 en 15 voor het zichtjaar 2015 een opgave. In de toekomst zal deze opgave zich uitbreiden richting de dijken 16 tot en met 22.

5 Stabiliteit

In dit hoofdstuk worden de waterkeringen bij Grutbroek geanalyseerd in het kader van de nadere veiligheidsanalyse. Het mechanisme dat hierbij wordt geanalyseerd is macro-instabiliteit (zowel binnen als buitenwaarts) en piping.

In onderstaande tabel worden de deeltrajecten met kades weergegeven. In Bijlage B: Overzicht deeltrajecten is een nader overzicht van deze deeltrajecten gegeven.

Deeltraject	Locatie begin	Locatie einde	Omschrijving
IJsseltuinen	6+00	8+40	Damwandconstructie tpv appartementsgebouwen.
Groene kade	8+40	12+20	Groene kade
Industrieterrein betoncentrale	12+20	14+70	Groene kade/langsconstructies
Industrieterrein (Agruniek)	14+70	16+70	Groene kade in combinatie met langsconstructies
Opslag Agruniek	16+70	18	Groene kade
Noordwestzijde Industrieterrein	18	25	Groene kade

Tabel 5: Overzicht deeltrajecten waterkeringen Grutbroek

5.1 Waterstand

De hydraulische belastingen verlopen langs het te beschouwen traject nauwelijks. Daarom is er hier voor gekozen om uit te gaan van de hoogste waterstanden bij de norm (uitvoerpunt OIJ_1_49-1_dk_00019) die langs de kaden voorkomt. Zowel de waterstanden voor de nadere veiligheidsanalyse als de waterstanden behorende bij de gevoeligheidsanalyse zijn meegenomen in de analyses. Dat leidt tot onderstaande tabel.

	Nadere veiligheidsanalyse			Gevoeligheidsanalyse		
	2017	2050	2100	2017	2050	2100
Ondergrenswaarde (1/100)	+11,14	+11,34	+11,55	+11,59	+11,79	+12,00
Signaleringswaarde (1/300)	+11,35	+11,55	+11,83	+11,80	+12,00	+12,28

Tabel 6: Overzicht waterstanden bij de norm (afkomstig uit Tabel 1 en Tabel 2)

Golfbelastingen zijn niet van belang voor het beschouwde faalmechanisme. In Bijlage C: Overschrijdingsfrequentielijnen zijn de overschrijdingsfrequentielijnen voor de verschillende zichtjaren gegeven en tevens is onderscheid gemaakt in de lijnen voor de nadere veiligheidsanalyse en de lijnen voor de gevoeligheidsanalyse.

5.2 Macro-instabiliteit buitenwaarts

Dit faalmechanisme kan optreden wanneer na een hoog water een kering bezwijkt als gevolg van een extra belasting buitenwaarts door vallend water. In de derde toetsronde is de waterkering hierop afgekeurd. In de nadere toelichting in deze paragraaf blijkt dat ten tijde van een hoogwater het falen als gevolg van macro-instabiliteit van de keringen, zoals bij Grutbroek worden aangetroffen, niet van belang is.

De faalkanseisen met betrekking tot macro-instabiliteit buitenwaarts worden eerst in basis besproken, waarna een nadere nuancering met betrekking tot de situatie bij Grutbroek wordt ingevuld.

5.2.1 Basiseisen conform OI2014

Ten aanzien van de faalkanseisen en de beschouwingen die gemaakt worden omtrent macrostabiliteit buitenwaarts, wordt in eerste instantie gebruik gemaakt van de factsheet van het Kennisplatform Risicobenadering (KPR) dat hierover gaat¹.

De faaldefinitie voor macrostabiliteit buitenwaarts luidt conform bovenstaand document:

Er is sprake van falen (=overstroming) als gevolg van macrostabiliteit buitenwaarts indien een afschuiving optreedt aan de buitenwaartse zijde van een grondlichaam én er vervolgens binnen de hersteltijd een hoogwater optreedt dat tot een overstroming leidt.

Bovenstaande betekent dat er eerst een dusdanig hoge buitenwaterstand moet optreden waardoor de freatische waterstand in en achter de waterkering toeneemt. Vervolgens zal bij een val van de buitenwaterstand de grondwaterstand dusdanig achterblijven zodat door de aanvullende buitenwaarts gerichte belasting de waterkering bezwijkt. Vervolgens moet na het bezwijken van de waterkering er binnen een redelijke hersteltijd weer een dusdanig hoogwater optreden dat de dan onbeschermd kade overstroomt waarbij grote gevolgen (aanzienlijke schade en slachtoffers) optreden.

In formulevorm leidt dat tot het volgende:

$$P_{f, stbu} = P_{stbu} \cdot P_{f|stbu} \quad \text{Formule 5-1}$$

Waarin:

- $P_{f, stbu}$ Kans op falen als gevolg van macro-instabiliteit buitenwaarts (per jaar)
- P_{stbu} Kans op het optreden van macro-instabiliteit buitenwaarts (per jaar)
- $P_{f|stbu}$ Kans op falen (een overstroming) gegeven de nog niet herstelde situatie na het optreden van een eerder opgetreden buitenwaartse macro-instabiliteit (-).

De faalkanseis op vakniveau voor macro-instabiliteit buitenwaarts kan worden bepaald met de volgende formule uit het OI2014v4:

$$P_{eis, drsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{1 + \frac{a \cdot L_{traject}}{b}} = \frac{\frac{1}{100} \cdot 0,04}{1 + \frac{0,033 \cdot 12234,8}{50}} = 1/22.700 \text{ per jaar} \quad \text{Formule 5-2}$$

Voor de signaleringswaarde van de norm leidt bovenstaande formule tot een faalkanseis op doorsnedeniveau van 1/68.000 per jaar.

Uiteindelijk moet het volgende gelden²:

$$P_{f, stbu} \leq P_{eis, drsn} \Rightarrow P_{stbu} \cdot P_{f|stbu} \leq P_{eis, drsn} \quad \text{Formule 5-3}$$

¹ Factsheet KPR. Omgang met buitenwaartse macrostabiliteit. versie D1. 19-01-2017

² Bij het ontwerp wordt als eerste benadering een kans op een overstroming gegeven buitenwaarts macrostabiliteitsverlies $P_{f|stbu}$ van 0,1 aangehouden conform het Addendum Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies. In het WBI2017 is deze factor van 0,1 ook verwerkt in de faalkanseis.

Om een eerste inschatting te maken van de kans op falen gegeven het optreden buitenwaartse instabiliteit kan worden gekeken naar de kans van voorkomen van een buitenwaterstand boven maaiveld na een het optreden van macro instabiliteit overstromingsgevolgen.

Zolang de kans op een waterstand boven maaiveld maal de kans op falen macrostabiliteit buitenwaarts kleiner is dan de doorsnede-eis voor buitenwaartse stabiliteit dan is er geen veiligheidsopgave.

Voorbeeld:

Doorsnede-eis macrostabiliteit buitenwaarts (formule 4-2): 1/22.700 per jaar

Kans op waterstand boven achterliggend maaiveld is 1/1.000 per jaar

Minimale kans macrostabiliteit buitenwaarts: $\frac{1/22.700}{1/1.000} = 1/23$ per jaar

Zolang de kans op falen door macrostabiliteit buitenwaarts kleiner is dan 1/23 per jaar dan is er geen veiligheidsopgave.

Uit het AHN2 van het gebied in Bijlage D: Gegevens hoogteligging blijkt dat de minimale hoogte van het maaiveld op het industrieterrein gelijk is aan circa NAP +11,50 m en voor de woonwijk geldt dat dit circa NAP +12,25 m is.

Kijkende naar de waterstandsgegevens voor het zichtjaar 2100 (overschrijdingsfrequentielijnen) kunnen globaal de minimale kansen voor macrostabiliteit buitenwaarts worden ingeschat.

	Maaiveld [mNAP]	Kans waterstand hoger dan maaiveld		Doorsnede eis	Minimale eis macrostabiliteit buitenwaarts	
		NVA	GA		NVA	GA
Industrieterrein	+11,50	1/75	1/10	1/22.700	1/300	1/2.270
				1/68.000	1/900	1/6.800
Woonwijk	+12,25	1/2000	1/250	1/22.700	1/10	1/90
				1/68.000	1/35	1/270

Tabel 7: Eis ten aanzien van het optreden van macro-instabiliteit (GA: gevoeligheidsanalyse).

Uit bovenstaande tabel blijkt dat voor het zichtjaar 2100 het industriegebied globaal een maximale waarde voor P_{stbu} van 1/6.800 per jaar (signaleringswaarde) geldt en voor de woonwijk is dit 1/270 per jaar. Voor de ondergrens is dit 1/2.270 per jaar respectievelijk 1/90 per jaar. Hierbij is uitgegaan van de hogere waterstanden uit de gevoeligheidsanalyse.

Wanneer nu naar de maximale waarde bij de ondergrens gekeken wordt (1/2.270 per jaar) is dit omgerekend een betrouwbaarheidsindex (β) van 3,33 per jaar. Kijkende naar eisen vanuit het bouwbesluit kan nu globaal de volgende analyse worden gemaakt:

Wanneer naar de restlevensduur van de damwandconstructie wordt gekeken en er wordt uitgegaan van 15 jaar, dan betekent het bovenstaande een faalkans voor 15 jaar van de damwand als gevolg van macro-instabiliteit van $15 \times 1/2.270 = 1/150$ ($\beta = 2,48$). Vanuit de NEN 8700³ wordt voor bestaande constructies voor afkeur een betrouwbaarheidsindex van 2,5 voor de restlevensduur geëist bij gevolgklasse CC2, waartoe kadeconstructies vaak worden gerekend.

³ NEN 8700: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren

Deze eis is strenger dan de eis die vanuit de waterwet zou gelden ($\beta = 2,48$), waarbij nog geldt dat hierbij is uitgegaan van het zichtjaar 2100 en niet van $2017+15=2032$ (15 jaar restlevensduur). Daarmee is dit nog een veilige benadering.

Bovenstaande globale beschouwing toont al aan dat de waterwet in dit geval niet leidend is, maar dat de eisen vanuit het bouwbesluit leidend zijn. Op basis van de hierboven uitgevoerde beschouwing zoals toegelicht in de KPR-factsheet "Omgang met buitenwaartse macrostabiliteit" en daarmee in overeenstemming met het WBI2017 en het OI2014v4, kan hiermee worden geconstateerd dat STBU niet leidt tot afkeuring op het gebied van macrostabiliteit.

5.2.2 Analyse situatie Grutbroek

De eisen die in paragraaf 5.2.1 in overeenstemming met het WBI2017/OI2014v4 zijn afgeleid gaan uit van de situatie waarbij het bezwijken als gevolg van macro-instabiliteit leidt tot een dusdanige verz(w)akking van de (kruin van de) waterkering, dat als gevolg daarvan bij een volgende hoogwaterperiode een overstroming plaatsvindt. Immers, wanneer een verlaging optreedt is er sprake van een daadwerkelijke aantasting van het waterkerende vermogen van de waterkering. Wanneer macro-instabiliteit niet leidt tot een aantasting van het waterkerende vermogen, is dit faalmechanisme feitelijk niet van toepassing.

Wanneer de situatie bij Grutbroek wordt bekeken, blijkt uit de diverse dwarsprofielen dat er sprake is van een hoog achterland, waarbij dit hoger of even hoog is als de kerende hoogte van de kade. Dit is ook zichtbaar in de figuur van Bijlage D: Gegevens hoogteligging, waarin de hoogtegegevens uit het AHN zijn toegevoegd. In het licht van het bovenstaande betekent dit dat wanneer aantasting van het voorland/kade als gevolg van macro-instabiliteit optreedt, dit niet tot aantasting van het waterkerende vermogen leidt. Het optreden van een overstroming (=falen) als gevolg van macro-instabiliteit buitenwaarts van de keringen en/of kades is hiermee een mechanisme dat niet relevant is in de huidige situatie. Daarom is ook niet verder gerekend aan de sterkte van de damwanden. Overstromingsgevolgen na het optreden van macro-instabiliteit buitenwaarts zijn in deze situatie gekoppeld aan overslag/overloop en deze kennen eenzelfde kans van voorkomen als in de situatie waarin geen macro-instabiliteit buitenwaarts is opgetreden.

5.2.3 Instabiliteit kadeconstructies

In voorgaande is gekeken naar de eisen vanuit de waterwet met betrekking tot overstromingskansen. Wanneer alleen naar de sterkte van de kadeconstructies wordt gekeken, is er een gerede kans dat bij enige val van een hoogwater meerdere strekkingen zullen vervormen, dan wel bezwijken. Dit is afhankelijk van het daadwerkelijk optredende verval. Ook kijkende naar de ouderdom van de diverse constructies is de verwachting dat meerdere constructies op het einde van hun levensduur zitten. Zoals in voorgaande subparagrafen aangegeven betekent dit nog niet dat er sprake is van overstromingsgevolgen. Wel is het duidelijk dat de stabiliteit van de kadeconstructies zelf niet altijd meer te garanderen is en het vanuit de functie als kadeconstructie wellicht niet meer voldoet.

5.3 Macro-instabiliteit binnenwaarts

Dit faalmechanisme kan optreden bij de aanwezigheid van een verval tussen de buitenwaterstand en het binnenwaartse polderpeil, dan wel het binnenwaartse maaiveldniveau. Voor een aantal situaties langs het beschouwde traject is weliswaar sprake van een (zeer beperkte) waterkering, waarbij het verschil tussen de 'kruin' en het achterland orde grootte 0,5 m bedraagt. Dit is echter zeer beperkt en de kans op macro-instabiliteit binnenwaarts is hiermee verwaarloosbaar klein. Daarnaast geldt dat wanneer een instabiliteit zou optreden, de kerende hoogte van voor de instabiliteit nog nagenoeg of geheel aanwezig is. Op basis van deze gronden speelt macro-instabiliteit binnenwaarts geen rol.

5.4 Piping

Voor piping geldt dat dezelfde redenering als bij macro-instabiliteit binnenwaarts kan worden aangevoerd. Er is door het hoge achterland nauwelijks of geen sprake van een verval over de waterkering. De kans op piping en vervolgens het verlies van waterkerend vermogen is daarmee verwaarloosbaar klein.

5.5 Resumé en conclusies stabiliteit

In deze paragraaf is gekeken naar falen van de waterkering van Grutbroek als gevolg van stabiliteitsverlies van de waterkering. Hierbij zijn de faalmechanismen macro-instabiliteit buitenwaarts en binnenwaarts en piping beschouwd.

Uitkomst van de beschouwingen is dat in de huidige situatie deze faalmechanismen een verwaarloosbare faalkansbijdrage hebben. Hieraan is het hoge maaiveld in het achterland debet. Voor macro-instabiliteit binnenwaarts en piping geldt dat hierdoor het optreden van deze faalmechanismen niet mogelijk is. Daarnaast geldt voor alle drie de faalmechanismen dat zelfs wanneer ze optreden, de waterkering niet of nauwelijks wordt aangetast en deze faalmechanismen daarmee geen invloed hebben op het maximaal waterpeil dat kan worden gekeerd. Omdat deze constatering niet gerelateerd is aan buitenwaterstanden, geldt de conclusie dat de mechanismen een verwaarloosbare faalkansbijdrage hebben voor alle zichtjaren en alle scenario's betreffende de buitenwaterstand.

Opgemerkt wordt dat wanneer in de toekomst wijzigingen plaats gaan vinden aan de kering, zoals het ophogen van de kerende hoogte, dit ertoe kan leiden dat de beschouwde faalmechanismen wel relevant gaan worden. Op dat moment is immers de kerende hoogte van de kering hoger dan het achterland zodat bij bezwijken van de kering, een andere kerende hoogte ontstaat.

6 Kunstwerken

In dit hoofdstuk worden de kunstwerken in de kades bij Grutbroek geanalyseerd in het kader van de nadere veiligheidsanalyse. Daarbij worden meteen ook de hydraulische gegevens behorende bij de gevoeligheidsanalyse meegenomen.

Het gaat in de beschouwde dijkstrekking om een zestal objecten bestaande uit een duiker, een tweetal riooloverstorten en een drietal riooluitlaten. In onderstaande tabel zijn de kunstwerken opgenomen en zijn ook enkele kenmerkende eigenschappen weergegeven.

Kunstwerk	Locatie	Afmeting doorsnede	Keermiddelen en bijzonderheden
Duiker IJsseltuin	8+55	1,5×1,5 m	Terugslagklep en spindelschuif (Beide KWT)
Riooloverstort Grutbroek	13+65	Ø 800 ¹ mm	Terugslagklep in betonnen uitstroomwerk.
Riooluitlaat Industrierrein 1	15+00	Ø 200 mm	Terugslagklep in put (TBS)
Riooluitlaat Industrierrein 2	15+50	Ø 250 mm	Terugslagklep in put (TBS)
Riooluitlaat Industrierrein 3	16+15	Ø 250 mm	Terugslagklep in put (TBS). Dit object bevindt zich ter plaatse van kade met een stuk bezweken damwand.
Riooloverstort Agruniek	17+55	Ø 700 mm	Spindelschuif en terugslagklep (Beide TBS)

Tabel 8: Overzicht kunstwerken Grutbroek (¹ dit is een schatting van de diameter)

In de derde toetsronde zijn deze kunstwerken met uitzondering van de duiker IJsseltuin allemaal als onvoldoende bestempeld op het toetsspoor sterkte (sterkte constructieonderdelen en stabiliteit constructie en grondlichaam). Debet hieraan is dat de langsconstructie waarin de uitlaten zijn opgenomen op sterkte als onvoldoende zijn beoordeeld (situatie van snelle val na hoogwater). Voor het toetsspoor *betrouwbaarheid sluiting* is zonder verdere toetsing ook een onvoldoende aan de kunstwerken toegekend, wederom met uitzondering van de duiker IJsseltuin.

In de volgende paragrafen wordt per object een analyse uitgevoerd conform het OI2014v4, waarbij ook de beoordelingssystematiek uit het WBI2017 wordt meegenomen.

6.1 Waterstand

De hydraulische belastingen verlopen langs het te beschouwen traject nauwelijks. Daarom is er hier voor gekozen om uit te gaan van de hoogste waterstanden bij de norm (uitvoerpunt OIJ_1_49-1_dk_00019) die langs de kaden voorkomt. Zowel de waterstanden voor de nadere veiligheidsanalyse als de waterstanden behorende bij de gevoeligheidsanalyse zijn meegenomen in de analyses. Dat leidt tot onderstaande tabel.

	Nadere veiligheidsanalyse			Gevoeligheidsanalyse		
	2017	2050	2100	2017	2050	2100
Ondergrenswaarde (1/100)	+11,14	+11,34	+11,55	+11,59	+11,79	+12,00
Signaleringswaarde (1/300)	+11,35	+11,55	+11,83	+11,80	+12,00	+12,28

Tabel 9: Overzicht waterstanden bij de norm

Golfbelastingen zijn in de gegeven situatie dusdanig beperkt en de configuratie van de kunstwerken is dusdanig dat golfbelastingen geen invloed op de diverse faalmechanismen hebben. In Bijlage C: Overschrijdingsfrequentielijnen zijn de overschrijdingsfrequentielijnen voor de verschillende zichtjaren gegeven en tevens is onderscheid gemaakt in de lijnen voor de nadere veiligheidsanalyse en de lijnen voor de gevoeligheidsanalyse.

6.2 Faalkanseisen

Voor kunstwerken kunnen de faalkanseisen worden afgeleid aan de hand van de standaard faalkansverdeling (WBI2017, OI2014). Hieronder is dat voor het traject 49-1, waarin de te beschouwen objecten liggen, uitgevoerd.

	Oude normering (per jaar)	Ondergrenswaarde (per jaar)	Signaleringswaarde (per jaar)
Norm	1/1.250	1/100	1/300
Hoogte (HTKW)	$1 \times 1/1.250 = 1/1.250$	$0,24 \times (1/100)/1 = 1/417$	$0,24 \times (1/300)/1 = 1/1.250$
Betrouwbaarheid sluiting (BSKW)	$0,1 \times 1/1.250 = 1/12.500$	$0,04 \times (1/100)/10 = 1/25.000$	$0,04 \times (1/300)/10 = 1/75.000$
Piping en heave (PKW)	$0,01 \times 1/1.250 = 1/125.000$	$0,02 \times (1/100) = 1/5.000$	$0,02 \times (1/300) = 1/15.000$
Sterkte en stabiliteit (STKWp)	$0,01 \times 1/1.250 = 1/125.000$	$0,02 \times (1/100)/3 = 1/15.000$	$0,02 \times (1/300)/3 = 1/45.000$

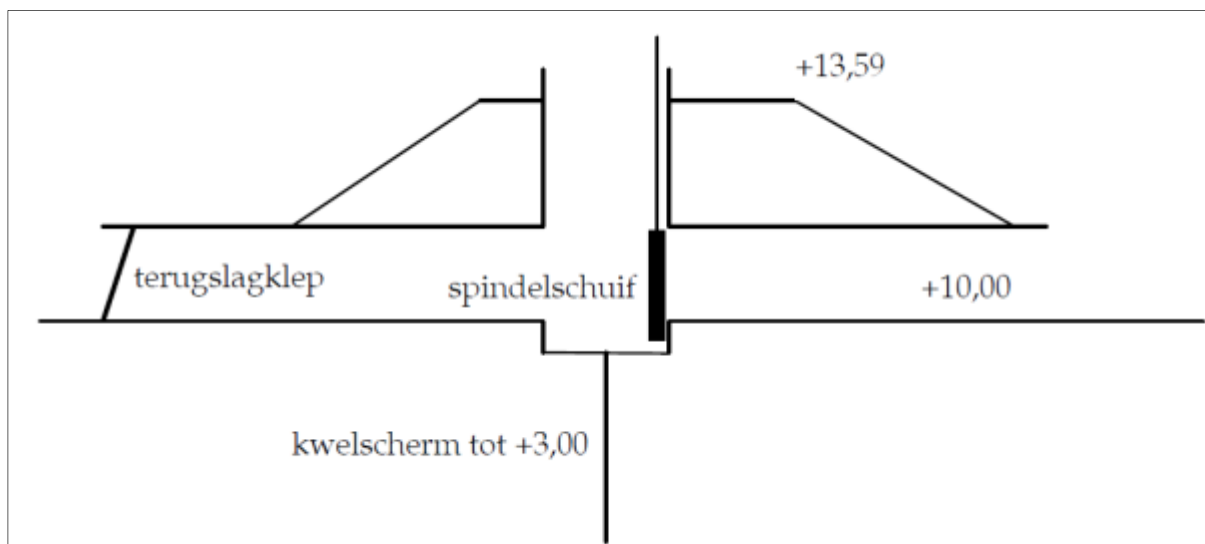
Tabel 10: Faalkanseisen voor de kunstwerken per beoordelingsspoor

De diverse lengte-effectfactoren kunnen als volgt worden onderbouwd:

- Hoogte (HTKW): N=1. Bron: WBI2017.
- Betrouwbaarheid sluiting (BSKW): N=10. In het dijktraject bevinden zich conform de derde toetsronde 11 kunstwerken. Kijkende naar de eis vanuit het OI dienen alle kunstwerken in rekening te worden gebracht die een significante bijdrage aan de faalkans voor *betrouwbaarheid sluiting* hebben met een maximum van 10. Conservatief wordt hier de waarde van 10 aangehouden. Zeer waarschijnlijk zullen een aantal kunstwerken namelijk geen significante bijdrage aan de faalkans hebben en daarmee niet meegenomen behoeven te worden.
Conform het WBI2017 dient voor N de helft van het aantal significant bijdragende kunstwerken te worden aangehouden. Dat zou hier leiden tot een factor N=5 en zorgt daarmee voor een reductie van de faalkanseis met een factor van 2.
- Piping (PKW): N=1: Bron: OI2014V4
- Sterkte en stabiliteit (STKW): N=3. Bron WBI2017. De waarde van 3 dient standaard te worden toegepast. Het heeft betrekking op de drie hoofdonderdelen die per kunstwerk worden onderscheiden (keerconstructie, fundatie en aansluitconstructie). Het heeft dus geen relatie met het aantal kunstwerken in het dijktraject.

6.3 Analyse duiker IJsseltuin

Dit object (bouwjaar circa 2007) bestaat uit een betonnen gelede voorgespannen duiker van circa 30 m lengte met een doorstromend oppervlak van $1,5 \times 1,5$ m en een binnen onderkant bodem van NAP +10,00 m. Het betreft een uitwateringsduiker. In de kruin van de kering is nog een inspectieput opgenomen, waarin zich een spindelschuiф bevindt. Aan de zijde van de Oude IJssel is nog een terugslagklep aanwezig. In onderstaande figuur is een dwarsdoorsnede gegeven (afkomstig uit rapportage van de derde toetsronde).



Figuur 10: Dwarsdoorsnede duiker IJsseltuin

Het kwelscherm loopt ook aan de zijkanten door als achterloopsheidscherm, waarbij de bovenkant zich bevindt op NAP +12,10 m.

6.3.1 Hoogte (HTKW)

De kerende hoogte wordt in gesloten toestand verzorgd door het dijklichaam. Daarmee is dit faalmechanisme niet van toepassing voor het kunstwerk ongeacht de hoogte van de buitenwaterstand.

6.3.2 Betrouwbaarheid sluiting (BSKW)

Achter de duiker is sprake van een sloot. De groene kaden van deze sloot lopen op tot het maaiveld dat op het laagste niveau circa NAP +11,5 m bedraagt (conservatieve inschatting). Dit betekent dat voordat er sprake kan zijn van enige overlast in de situatie van een geopend kunstwerk er een buitenwaterstand van NAP +11,5 m aanwezig moet zijn. De sloot achter het kunstwerk is zeer beperkt van afmetingen, waardoor grote stroomsnelheden niet zullen optreden bij het instromen van water.

De keermiddelen bestaan uit een terugslagklep en een spindelschuiф. Deze laatste staat altijd open en wordt alleen in geval van hoogwater gesloten. De terugslagklep staat alleen open als de binnenwaterstand hoger is dan de buitenwaterstand en er dus onder vrij verval geloosd wordt.

De faalkans met betrekking tot *betrouwbaarheid sluiting* kan globaal en conservatief worden bepaald door de kans op het mislukken van de sluiting te vermenigvuldigen met de overschrijdingskans van de maximaal toelaatbare buitenwaterstand. In formulevorm:

$$P_{f;bs} = P(h_{buiten} > h_{toelaatbaar}) \times P_{ns}$$

Formule 6-1

$P_{f;bs}$: Faalkans van faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* [-/jaar]

$h_{buiten} > h_{toelaatbaar}$: De kans dat de buitenwaterstand hoger wordt dan toelaatbaar uitgaande van een niet gesloten situatie. Deze kans kan gevonden worden met behulp van de overschrijdingsfrequentielijn. Uit Bijlage C: Overschrijdingsfrequentielijnen blijkt dat voor het jaar 2100 voor de waterstanden van de nadere veiligheidsanalyse deze waarde gelijk is aan circa $1,5 \cdot 10^{-2}$ per jaar en voor de gevoeligheidsanalyse is deze circa $1,0 \cdot 10^{-1}$ per jaar.

P_{ns} : De kans op het mislukken van de sluiting. Voor een terugslagklep geldt dat hier een conservatieve waarde van $1,0 \cdot 10^{-4}$ per vraag voor kan worden aangehouden. Conservatief wordt voor de spindelschuif aangehouden dat die een kans van mislukken van sluiting heeft van $1,0 \cdot 10^{-1}$ per vraag. Hiermee wordt de totale kans op mislukken van de sluiting gelijk aan $1,0 \cdot 10^{-5}$ per vraag

Op basis van bovenstaande som kan nu berekend worden dat de faalkans van *betrouwbaarheid sluiting* globaal maar conservatief gelijk is aan:

- Nadere veiligheidsanalyse: $1,5 \cdot 10^{-2} \times 1,0 \cdot 10^{-5} = 1,5 \cdot 10^{-7}$ per jaar
- Gevoeligheidsanalyse: $1,0 \cdot 10^{-1} \times 1,0 \cdot 10^{-5} = 1,0 \cdot 10^{-6}$ per jaar

Dit is ruimschoots kleiner dan de faalkanseisen. Daarmee voldoet dit kunstwerk voor nu en in de toekomst in zeer ruime mate. Gesteld kan worden dat het kunstwerk ten aanzien van *betrouwbaarheid sluiting* geen significante bijdrage heeft aan de overstromingskans van de dijkkring.

6.3.3 Piping (PKW)

Voor de beoordeling van *piping* kan gebruik worden gemaakt van de toets op Lane dan wel de toets op Bligh, waarbij voor het verval gebruik wordt gemaakt van de waterstand bij de norm. Wanneer aan het model van Lane en/of Bligh wordt voldaan, wordt ook aan de eisen met betrekking tot het faalmechanisme *piping* voldaan.

Uit de gegevens uit de derde toetsronde blijkt dat de duiker is ontworpen op een buitenwaterstand van NAP +12,70 m in combinatie met een binnenwaterstand van NAP +10,0 m (gelijk aan b.o.b. van de duiker). Dit is een verval van 2,7 m. Kijkende naar de maximale waterstanden in het jaar 2100 in deze analyse leidt dat tot:

Nadere veiligheidsanalyse: verval is NAP +11,83 – NAP +10,0 m = 1,83 m.

Gevoeligheidsanalyse: verval is NAP +12,28 – NAP +10,0 m = 2,28 m.

In beide gevallen is het optredende verval kleiner dan het verval bij het ontwerp. Daarmee voldoet dit kunstwerk voor nu en in de toekomst in ruime mate.

6.3.4 Sterkte en stabiliteit (STKWp)

Uit de ontwerpgegevens is bekend dat het ontwerppeil op NAP +12,70 m is aangehouden. Verder is bekend (tekeningen van de spindelschuif en de terugslagklep) dat zowel de terugslagklep als de spindelschuif is uitgelegd op het keren van 9 meter waterkolom. Onbekend is of deze sterkte hoort bij een korte duur dan wel een lange duur van de belasting. Dit is met name van belang voor de spindelschuif omdat deze deels bestaat uit HDPE. Voor de terugslagklep geldt echter dat deze uit RVS bestaat en daarmee is er geen verschil tussen korte duur en lange duur sterkte.

Uitgaande van 9 mwk betekent dit dat bij droogstaande leiding er tot maximaal NAP 10,0 m + 9 m = NAP +19,0 m water gekeerd kan worden. Dat betekent dat de keermiddelen en met name de terugslagklep, ruimschoots sterk genoeg is. Het verval bij de grootste waterstand bij de signaleringswaarde bij de norm is NAP +12,28 m. Rekening houdende met een droogstaand kunstwerk leidt dit tot een maximaal verval van NAP +12,28 m – NAP +10,0 m = 2,28 m. Dit is een factor 4 kleiner dan maximaal toelaatbaar.

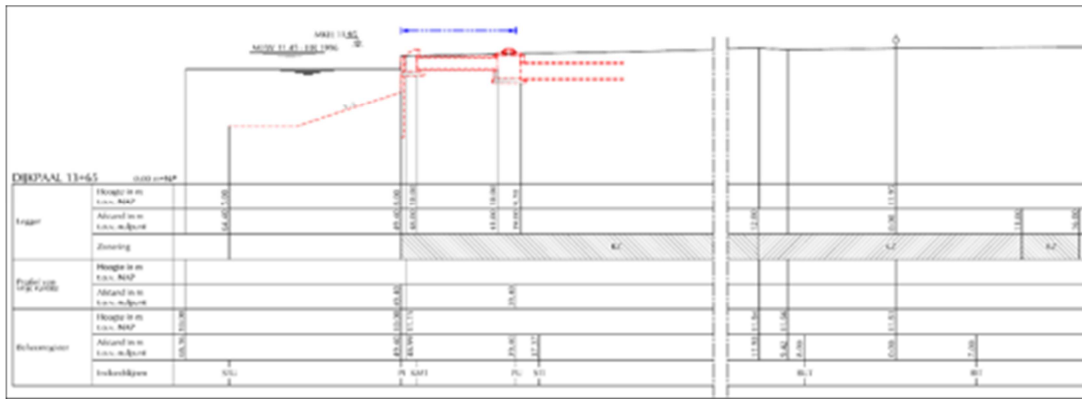
De stabiliteit van het kunstwerk is uitgelegd op een ontwerpwaterstand van NAP +12,70 m. Dit leidt tot een karakteristieke waarde van het verval van NAP +12,70 m – NAP +10,0 m = 2,70 m. Ervan uitgaande dat het kunstwerk ontworpen is conform de Leidraad Kunstwerken (bouwjaar is 2007) betekent dit dat er een belastingfactor van 1,25 is toegepast. Dat leidt tot een rekenwaarde van het verval van $1,25 \times 2,70 = 3,38$ m. Dit terugrekenen naar een buitenwaterstand levert een karakteristieke waarde van de sterkte van het kunstwerk van NAP +13,38 m. Deze buitenwaterstand heeft een overschrijdingskans ordegrootte van $6,0 \cdot 10^{-7}$ per jaar (nadere veiligheidsanalyse, zichtjaar 2100) respectievelijk $1,0 \cdot 10^{-5}$ per jaar (gevoeligheidsanalyse, zichtjaar 2100) op basis van extrapolatie van de overschrijdingsfrequentielijnen uit Bijlage C: Overschrijdingsfrequentielijnen. Bij deze analyse is ervan uitgegaan dat de buitenwaterstand en daarmee het verval sterk dominant zijn ten opzichte van de sterkteparameters. Een aanname die onder andere in VNK2 in de resultaten is teruggevonden. Daarnaast is de aanname gedaan dat de binnenzijde van het kunstwerk droog staat onder maatgevende omstandigheden. Dit is een zeer conservatieve aanname.

Kijkende naar de overschrijdingskansen van de karakteristieke waarde van de buitenwaterstand blijkt dat voor zowel de nadere veiligheidsanalyse als de gevoeligheidsanalyse voldaan wordt aan de eis conform zowel de signaleringswaarde als de ontwerpwaarde van $1/45.000$ ($2,22 \cdot 10^{-5}$ per jaar) respectievelijk $1/15.000$ ($6,67 \cdot 10^{-5}$ per jaar).

Op basis van bovenstaande globale analyse kan gesteld worden dat *sterkte en stabiliteit* geen substantiële bijdrage aan het overstromingsrisico van het dijkvak heeft.

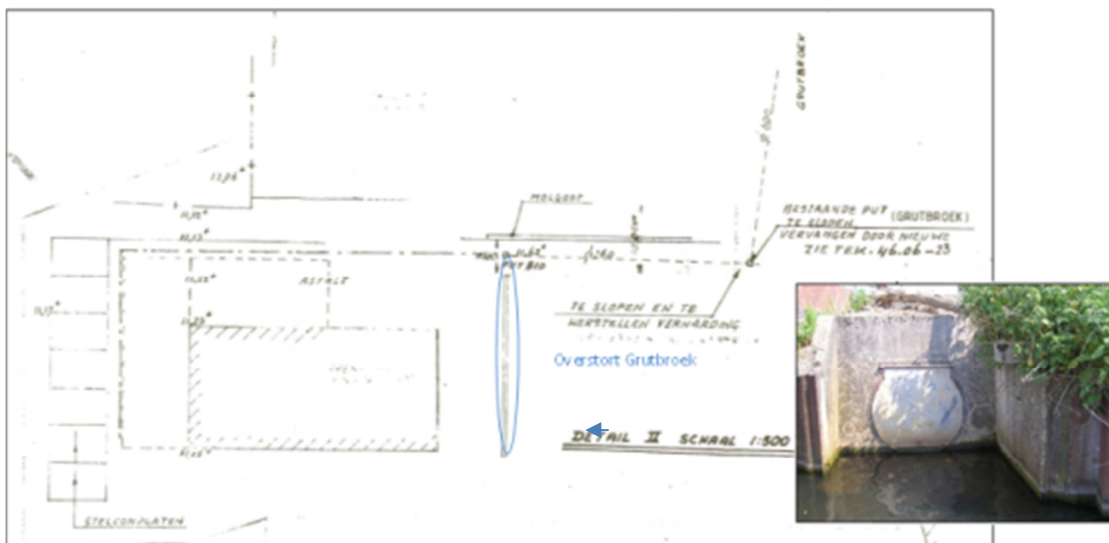
6.4 Analyse Riooloverstort Grutbroek

Dit object bestaat uit een uitstroomwerk bij de Oude IJssel, waaraan een betonnen buis is gekoppeld. Er zijn geen directe gegevens van de leiding bekend. Wel is onderstaand dwarsprofiel (dp 13+65) beschikbaar.



Figuur 11: Dwarsdoorsnede riooloverstort Grutbroek

In het dwarsprofiel is zichtbaar dat de leiding na circa 7 m uitkomt in een put, waarvan de bovenkant op maaiveld (circa NAP +11,15 m) ligt. Deze put ligt al in de beschermingszone van de waterkering. De kernzone ligt een heel stuk verder het binnenland in (circa 38 m vanaf de kade) en kent een maximale kerende hoogte van circa NAP +11,60 m (AHN2). Ter plaatse van de kernzone komt de leiding uit in een andere put. Op deze put zijn nog twee leidingen met diameter van 160 mm aangesloten. Nog verder het achterland in komt een van deze leidingen weer uit op een put en gaat daar verder als leiding met een diameter van 300 mm. Een en ander is zichtbaar in figuur 12. Dit betreft een plattegrond die weergegeven is op een bestekstekening uit 1980 (zie referenties). Het bestek en de bestekstekeningen gaan over de hoogwaterveiligheid van het industrieterrein met betrekking tot de diverse riooloverstorten.



Figuur 12: Plattegrond situatie riolering overstort Grutbroek en foto buitenzijde

De binnen onderkant van de leiding lijkt rond het streefpeil van de oude IJssel (circa NAP +10,0 m) te liggen als naar de foto wordt gekeken. Van de terugslagklep is niets bekend.

6.4.1 Hoogte (HTKW)

De kerende hoogte wordt in gesloten toestand verzorgd door de bovenkant van de betonnen uitstroombak. Dit is dan echter de kerende hoogte aan het begin van de beschermingszone. De kerende hoogte van de waterkering ligt ter plaatse van de kernzone. De kerende hoogte wordt in dit geval dan ook niet verzorgd door het kunstwerk. Daarmee is dit faalmechanisme niet van toepassing voor het kunstwerk ongeacht de hoogte van de buitenwaterstand.

6.4.2 Betrouwbaarheid sluiting (BSKW)

Het keermiddel is een terugslagklep. Zodra de terugslagklep niet functioneert en dus open blijft staan zal er overlast optreden wanneer de buitenwaterstand hoger is dan de bovenkant van de putten. Er zal zeker geen sprake zijn van overstromingsgevolgen, gelet op het feit dat er geen kans op bresvorming is door het hoge achterland. Een eventueel instromend debiet zal plaats moeten vinden door de leidingen van het rioolstelsel. De gevolgen zullen hierdoor beperkt blijven.

In navolging van het bovenstaande is de overstromingskans van het dijktraject als gevolg van het niet sluiten van de riooloverstort Grutbroek zeer klein. Feitelijk is *betrouwbaarheid sluiting* in de huidige situatie geen bijdragend faalmechanisme omdat in geval van niet sluiten van de keermiddelen pas bij waterstanden hoger dan de kering (en dus hoger dan de bovenkant van de put(ten)) grotere gevolgen kunnen optreden. Deze gevolgen zullen overigens nog steeds beperkt zijn in verhouding tot overstromingsgevolgen.

Op basis van het bovenstaande wordt het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* niet relevant verklaard in deze situatie.

6.4.3 Piping (PKW)

In onderhavige geval is *piping* geen faalmechanisme dat van belang is. Oorzaak hiervoor is het hoge maaiveld waardoor het uittredepunt hoog ligt en er geen aandrijvend verval is.

6.4.4 Sterkte en stabiliteit (STKWp)

Voor de stabiliteit van het kunstwerk geldt dat dit niet relevant is aangezien een hoge waterstand er alleen maar toe leidt dat het kunstwerk steviger in de kade wordt gedrukt. Daarnaast heeft een hogere buitenwaterstand geen effect op de stabiliteit van de constructie.

Voor de sterkte geldt ook dat dit als een niet relevant faalmechanisme wordt beschouwd. Een hogere buitenwaterstand leidt wel tot hogere belastingen op de terugslagklep, maar zelfs als de terugslagklep bezwijkt, moet het water nog tot het maaiveldniveau stijgen voordat er sprake is van enige gevolgen. Bij een dergelijke buitenwaterstand loopt het water al over de kade als gevolg van overloop/overslag.

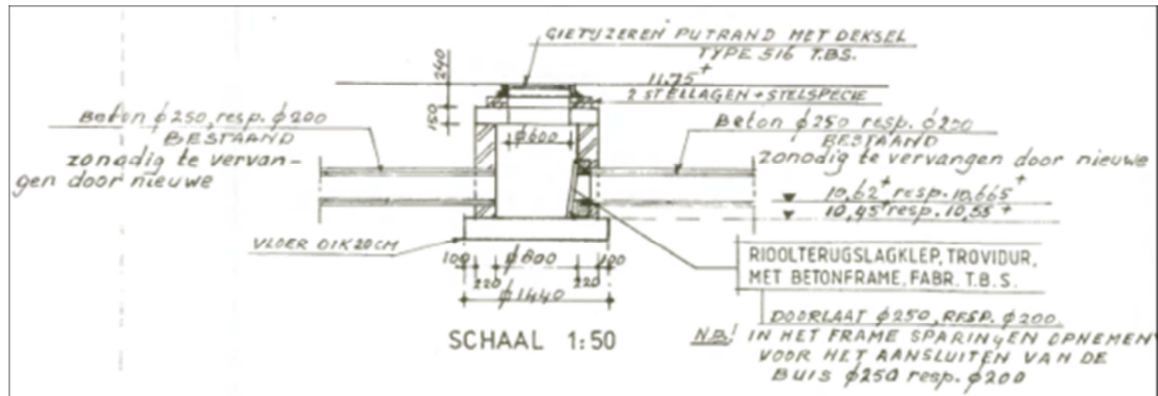
In de voorgaande toetsronde is *sterkte en stabiliteit* nog als onvoldoende beschouwd op basis van de overbelastingsbenadering en op basis van het instabiel worden van de kade na een val van hoog water. Kijkende vanuit de overstromingskansbenadering geldt dat het instabiel worden van de kade en vervolgens het bezwijken van het uitstroomwerk nog steeds niet leidt tot een bres in de kering of grote gevolgen bij een tweede hoogwater binnen de herstelperiode. Daarvoor ligt het maaiveldniveau achter de kering te hoog.

Sterkte en stabiliteit wordt op basis van bovenstaande in de huidige situatie als niet relevant faalmechanisme beschouwd.

6.5 Analyse Riooluitlaten industrieterrein

Er zijn een drietal riooluitlaten die zeer veel op elkaar lijken wat opzet betreft. Het betreft allemaal uitlaten met een kleine diameter ($\varnothing 200$ mm en $\varnothing 250$ mm). Direct achter de kade is in alle drie de gevallen een put aanwezig met daarin een terugslagklep.

In figuur 13 is een doorsnede over de putten van de riooluitlaten gegeven. Deze is afkomstig van een bestekstekening uit 1980 (zie referenties). Voor alle drie de uitlaten geldt dat de put in de kernzone van de waterkering ligt.



Figuur 13: Dwarsdoorsnede putten riooluitlaten

6.5.1 Hoogte (HTKW)

De kerende hoogte wordt voor alle drie de uitlaten verzorgd door de kade waar de leidingen doorheen gaan. Ze verzorgen zelf in eerste instantie niet de kerende hoogte. De leiding kent aan de zijde van de kade een open verbinding met het water. Pas in de put zit het keermiddel. Daarmee is de bovenkant van de put feitelijk de kerende hoogte. De bovenkant van de put zit op maaiveldniveau, waardoor de kerende hoogte door het maaiveld en daarmee de kering wordt verzorgd.

Daarmee is dit faalmechanisme niet van toepassing voor het kunstwerk ongeacht de hoogte van de buitenwaterstand.

6.5.2 Betrouwbaarheid sluiting (BSKW)

De keermiddelen bestaan uit een terugslagklep per riooluitlaat. Zodra de terugslagklep niet functioneert en dus open blijft staan zal er overlast optreden wanneer de buitenwaterstand hoger is dan de bovenkant van de putten. Er zal zeker geen sprake zijn van overstromingsgevolgen, gelet op het feit dat er geen kans op bresvorming is door het hoge achterland. Een eventueel instromend debiet zal plaats moeten vinden door de leidingen van de inlaten, die een beperkte diameter hebben. Dit draagt bij aan een zeer beperkt instromend debiet op het moment dat de waterstand hoger wordt dan het maaiveld.

In navolging van het bovenstaande is de overstromingskans van het dijktraject als gevolg van het niet sluiten van de riooluitlaten zeer klein. Feitelijk is *betrouwbaarheid sluiting* in de huidige situatie geen bijdragend faalmechanisme omdat in geval van niet sluiten van de keermiddelen pas bij waterstanden hoger dan de kering (en dus hoger dan de bovenkant van de put(ten)) grotere gevolgen kunnen optreden. Deze gevolgen zullen overigens nog steeds beperkt zijn in verhouding tot overstromingsgevolgen.

Op basis van het bovenstaande wordt het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* niet relevant verklaard in deze situatie.

6.5.3 Piping (PKW)

In de onderhavige gevallen is *piping* geen faalmechanisme dat van belang is. Oorzaak hiervoor is het hoge maaiveld waardoor het uittredepunt hoog ligt en er geen aandrijvend verval is.

6.5.4 Sterkte en stabiliteit (STKWp)

Voor de stabiliteit van deze kunstwerken geldt dat dit niet relevant is aangezien een hoge waterstand er alleen maar toe leidt dat het kunstwerk steviger in de kade wordt gedrukt. Daarnaast heeft een hogere buitenwaterstand geen effect op de stabiliteit van de constructie.

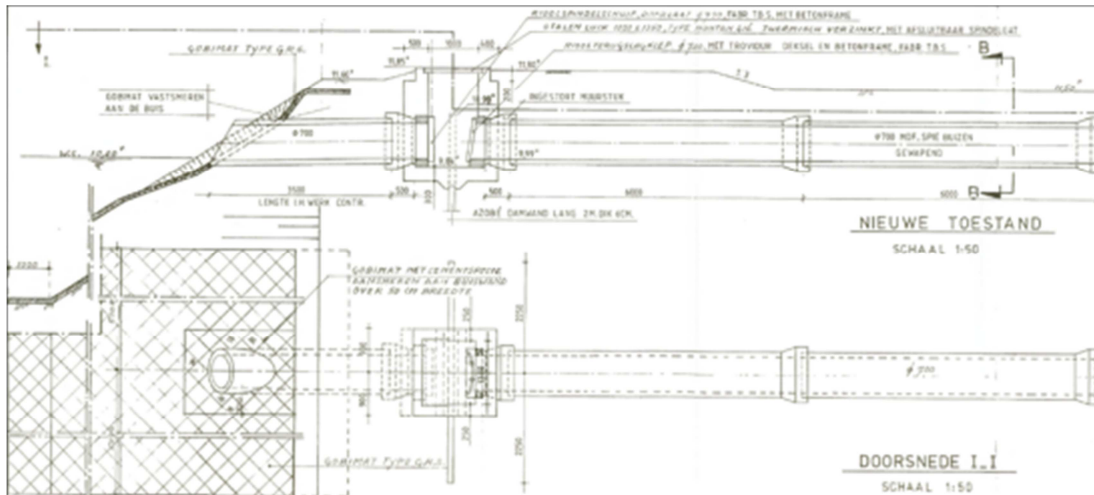
Voor de sterkte geldt ook dat dit als een niet relevant faalmechanisme wordt beschouwd. Een hogere buitenwaterstand leidt wel tot hogere belastingen op de terugslagkleppen, maar zelfs als de terugslagklep bezwijkt, moet het water nog tot het maaiveldniveau stijgen voordat er sprake is van enige gevolgen. Bij een dergelijke buitenwaterstand loopt het water al over de kade als gevolg van overloop/overslag.

In de voorgaande toetsronde is *sterkte en stabiliteit* nog als onvoldoende beschouwd op basis van de overbelastingsbenadering en op basis van het instabiel worden van de kade na een val van hoog water. Kijkende vanuit de overstromingskansbenadering geldt dat het instabiel worden van de kade en vervolgens het bezwijken van het uitstroomwerk nog steeds niet leidt tot een bres in de kering of grote gevolgen bij een tweede hoogwater binnen de herstelperiode. Daarvoor ligt het maaiveldniveau achter de kering te hoog.

Sterkte en stabiliteit wordt op basis van bovenstaande in de huidige situatie als niet relevant faalmechanisme beschouwd.

6.6 Analyse Riooloverstort Agruniek

Dit object bestaat uit duiker (Ø 700 mm) die uitkomt bij de Oude IJssel. Na enkele meters betonnen buis komt de duiker uit in een put, waarvan de bovenkant zich op het maaiveld bevindt. In de put is een schuifafsluiter en een terugslagklep aanwezig. De schuifafsluiter staat normaal gesproken altijd open en is bedoeld om bij een hoogwater te sluiten. In figuur 14 is een beeld van de constructie gegeven afkomstig uit het bestek uit 1980 (zie referenties).



Figuur 14: Dwarsdoorsnede putten riooluitlaten

Uit het dwarsprofiel ter plaatse blijkt dat de put zich in de kernzone van de kering bevindt. De leiding loopt na de put verder het binnenland in en ligt daarbij in de beschermingszone van de kering aan de noordwestzijde van het industriegebied (dp 18 tot en met 24). In dit gedeelte bevindt zich nog minimaal één andere put. Ook deze put heeft een rand die op maaiveld ligt.

6.6.1 Hoogte (HTKW)

De kerende hoogte wordt voor deze riooloverstort verzorgd door de kade waar de leiding doorheen gaat. In eerste instantie is het kunstwerk niet verantwoordelijk voor de kerende hoogte. De leiding kent aan de zijde van de kade een open verbinding met het water. Pas in de put zit het keermiddel. Daarmee is de bovenkant van de put feitelijk de kerende hoogte. De bovenkant van de put zit op maaiveldniveau, waardoor de kerende hoogte door het maaiveld en daarmee de kering wordt verzorgd.

Daarmee is dit faalmechanisme niet van toepassing voor het kunstwerk ongeacht de hoogte van de buitenwaterstand. Het grondprofiel verzorgt uiteindelijk de kerende hoogte.

6.6.2 Betrouwbaarheid sluiting (BSKW)

De keermiddelen bestaan uit een spindelschuif en een terugslagklep. Zodra deze niet functioneren en de leiding dus open blijft staan zal er overlast optreden wanneer de buitenwaterstand hoger is dan de bovenkant van de put(ten). Er zal zeker geen sprake zijn van overstromingsgevolgen, gelet op het feit dat er geen kans op bresvorming is door het hoge achterland. Een eventueel instromend debiet zal plaats moeten vinden door de leidingen van het rioolstelsel. De gevolgen zullen hierdoor beperkt blijven.

In navolging van het bovenstaande is de overstromingskans van het dijktraject als gevolg van het niet sluiten van de riooloverstort Agruniek zeer klein. Feitelijk is *betrouwbaarheid sluiting* in de huidige situatie geen bijdragend faalmechanisme omdat in geval van niet sluiten van de keermiddelen pas bij waterstanden hoger dan de kering (en dus hoger dan de bovenkant van de put(ten)) grotere gevolgen kunnen optreden. Deze gevolgen zullen overigens nog steeds beperkt zijn in verhouding tot overstromingsgevolgen.

Op basis van het bovenstaande wordt het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* niet relevant verklaard in deze situatie.

6.6.3 Piping (PKW)

In onderhavige geval is *piping* geen faalmechanisme dat van belang is. Oorzaak hiervoor is het hoge maaiveld waardoor het uittredepunt hoog ligt en er geen aandrijvend verval is.

6.6.4 Sterkte en stabiliteit (STKWp)

Voor de stabiliteit van het kunstwerk geldt dat dit niet relevant is aangezien een hoge waterstand nauwelijks invloed heeft op de stabiliteit.

Voor de sterkte geldt ook dat dit als een niet relevant faalmechanisme wordt beschouwd. Een hogere buitenwaterstand leidt wel tot hogere belastingen op de terugslagklep en/of de spindelschuif, maar zelfs als deze bezwijken, moet het water nog tot het maaiveldniveau stijgen voordat er sprake is van enige gevolgen. Bij een dergelijke buitenwaterstand loopt het water al over de kade als gevolg van overloop/overslag.

In de voorgaande toetsronde is *sterkte en stabiliteit* nog als onvoldoende beschouwd op basis van de overbelastingsbenadering en op basis van het instabiel worden van de langsconstructie na een val van hoog water. Echter voor de kade ter plaatse van de riooloverstort Agruniek geldt dat er geen langsconstructie aanwezig is. Er is daar sprake van een groene dijk. Kijkende vanuit de overstromingskansbenadering geldt dat het instabiel worden van de kade en vervolgens het bezwijken van het de leiding nog steeds niet leidt tot een bres in de kering of grote gevolgen bij een tweede hoogwater binnen de herstelperiode. Daarvoor ligt het maaiveldniveau achter de kering te hoog.

Sterkte en stabiliteit wordt op basis van bovenstaande in de huidige situatie als niet relevant faalmechanisme beschouwd.

6.7 Resumé en conclusies kunstwerken

In dit hoofdstuk zijn de kunstwerken van in de waterkering langs de Oude IJssel bij Grutbroek geanalyseerd. Hierbij zijn da analyses uitgevoerd bij zichtjaar 2100 met de waterstanden die gelden voor de nadere veiligheidsanalyse en die voor de gevoeligheidsanalyse. Hiermee zijn de maatgevende situaties beschouwd die ook dekkend zijn voor het zichtjaar 2017 en 2050. Aangezien gebleken is dat aan alle eisen wordt voldaan bij dit meest ongunstige uitgangspunt, zijn analyses bij andere zichtjaren niet nodig.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de resultaten van de analyse.

Kunstwerk	Locatie	HTKW	BSKW	PKW	STKWp
Duiker IJsseltuין	8+55	n.v.t.	Voldoet	Voldoet	Voldoet
Riooloverstort Grutbroek	13+65	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Riooluitlaat Industrierrein 1	15+00	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Riooluitlaat Industrierrein 2	15+50	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Riooluitlaat Industrierrein 3	16+15	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Riooloverstort Agruniek	17+55	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

Tabel 11: Overzicht resultaten kunstwerken bij beoordeling met zichtjaar 2100

Zoals uit de tabel blijkt zijn voor vijf van de zes kunstwerken alle faalmechanismen niet relevant (niet van toepassing). Dat wordt veroorzaakt door het hoge achterland dat aanwezig is.

Hieronder kort een toelichting hierop:

- *Hoogte* : Aangezien de kunstwerken door de kade liggen die de kerende hoogte verzorgd, zijn de kunstwerken op zichzelf niet verantwoordelijk voor de kerende hoogte van de kering.
- *Betrouwbaarheid sluiting*: Voor de riooloverstorten en dergelijke geldt dat zelfs wanneer de keermiddelen niet gesloten zijn, er pas waterlast optreedt als de waterstand hoger dan de putrand komt. Op dat moment vindt er echter ook al overslag/overloop plaats, waardoor *betrouwbaarheid sluiting* geen relevant faalmechanisme is.
- *Piping*: Voor dit faalmechanisme geldt dat door het hoge achterland er geen uittrede punt is.
- *Sterkte en stabiliteit* : Hiervoor geldt dat de stabiliteit van de objecten niet of nauwelijks wordt beïnvloed door een hoogwater. Met andere woorden, een hoog water leidt niet of nauwelijks tot aanvullende belastingen. Daarmee is dit niet relevant voor de kunstwerken. Voor de sterkte geldt dat zelfs als een keermiddel bezwijkt er pas overlast optreedt wanneer de waterstand hoger dan de putranden komt. Op dat moment is er ook al sprake van overslag/overloop en dus is *sterkte en stabiliteit* geen relevant mechanisme.

Het feit dat de faalmechanismen niet relevant zijn heeft met name dus te maken met het feit dat er al sprake is van overslag/overloop op het moment dat als gevolg van het faalmechanisme overlast op gaat treden.

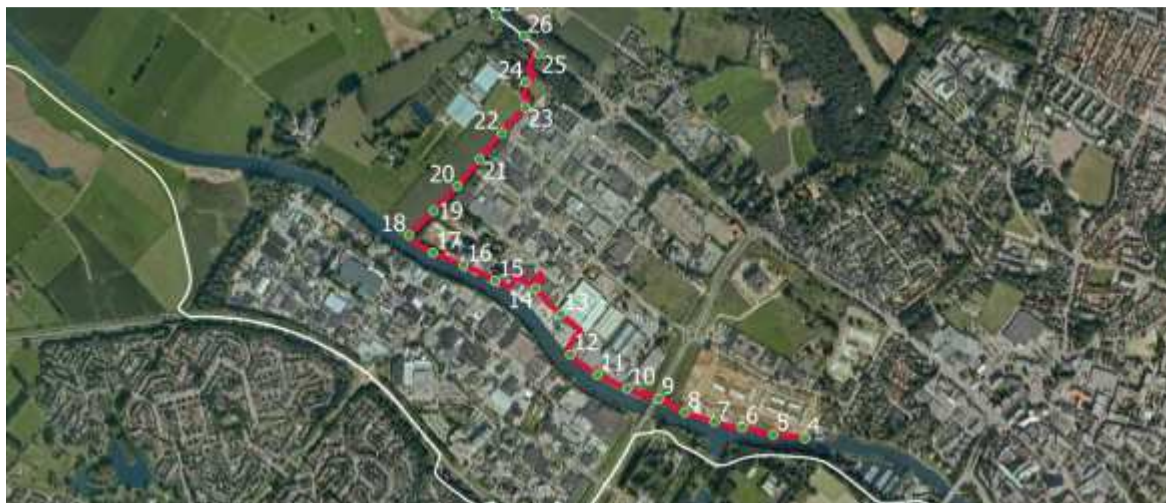
Wanneer de situatie wordt veranderd in de toekomst kan het zijn dat sommige faalmechanismen wel van toepassing worden. Als bijvoorbeeld de stalen damwand van de kade zou worden verhoogd en het maaiveld daarachter niet, kan er overlast ontstaan op het moment dat de waterstand hoger is dan het maaiveld maar lager dan de kerende hoogte van de kade en bijvoorbeeld de keermiddelen niet gesloten zijn, wordt het faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting* wel een relevant mechanisme.

Wanneer de (theoretische) waterstanden in de toekomst hoger worden, bijvoorbeeld als uitkomst van de hydrologische studie Oude IJssel, maar voor de rest veranderd er niets, dan blijft alleen hoogte het te beoordelen mechanisme. Immers ook dan geldt bij bijvoorbeeld sterkte en stabiliteit dat wanneer de keermiddelen bezwijken er pas problemen optreden wanneer de waterstand hoger is dan het maaiveld en daarmee als de kade.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

De primaire waterkering langs de noordkant van de Oude IJssel is gedeeltelijk afgekeurd in de derde toetsronde. De afgekeurde kering bevindt zich op het industrieterrein Grutbroek in Doetinchem (van dijkpaal 12 t/m 23). Voorliggende veiligheidsanalyse beschouwd de veiligheidsopgave conform het OI2014 versie 4. Dit voor de faalmechanismen overloop en overslag, piping, macro-instabiliteit (binnenwaarts en buitenwaarts) en de veiligheid van de kunstwerken nader beschouwd. Op basis van de resultaten uit de derde toetsronde zijn de overige mechanismen als niet relevant verondersteld. Deze veiligheidsanalyse wordt uitgevoerd van dijkpaal 4 t/m 25. Dit tracé is ruimer dan het tracé dat in de derde toetsronde onvoldoende is beoordeeld. Dit om een eventuele opgave direct naast het huidige project ook in beeld te brengen.



Figuur 15: Scope veiligheidsanalyse (rode traject, dijkpaal 4 t/m 25). Scope HWBP traject van dijkpaal 12 t/m 23

De analyse laat zien de minimaal benodigde hoogte o.b.v. een overslagdebiet van 5 l/s/m tussen dijkpaal 14 en 16 hoger is dan aanwezige hoogte ter plaatse van de referentielijn van de waterkering uit het beheerregister. Vanaf 2050 wordt de waterkende hoogte ook op enkele andere locaties overschreden. De verkleining van de opgave ten opzichte van de derde toetsronde wordt voornamelijk ingegeven door een verlaging van de norm van 1/1.250 per jaar (overschrijdingskans o.b.v. de HR2006) naar 1/100 per jaar (overstromingskans zoals nu vastgelegd in de waterwet). Wat hier nog wel speelt is de koppeling met de hydrologische studie, welke voor de Oude IJssel hogere waterstanden geeft. Indien deze hogere waterstanden worden gehanteerd ontstaat er mogelijk een grotere opgave.

De stabiliteitsmechanismen macro-instabiliteit (binnenwaarts en buitenwaarts) en piping hebben een verwaarloosbare faalkansbijdrage. Hieraan is het hoge maaiveld in het achterland debet. Daarnaast geldt voor alle drie de faalmechanismen dat zelfs wanneer ze optreden, het waterkerende vermogen van de waterkering niet of nauwelijks wordt aangetast en deze faalmechanismen daarmee geen invloed hebben op het maximaal waterpeil dat kan worden gekeerd. Omdat deze constatering niet gerelateerd is aan buitenwaterstanden, geldt de conclusie dat de mechanismen een verwaarloosbare faalkansbijdrage hebben voor alle zichtjaren en alle scenario's betreffende de buitenwaterstand.

Uit de analyse blijkt dat de duiker in de IJsseltuin voldoet aan de gestelde eisen. Voor de andere vijf kunstwerken binnen het onderzochte traject zijn alle faalmechanismen niet relevant (niet van toepassing). Dat wordt veroorzaakt door het hoge achterland dat aanwezig is. Hieronder kort een toelichting hierop:

- *Hoogte* : Aangezien de kunstwerken door de kade liggen die de kerende hoogte verzorgd, zijn de kunstwerken op zichzelf niet verantwoordelijk voor de kerende hoogte van de kering.
- *Betrouwbaarheid sluiting*: Voor de riooloverstorten en dergelijke geldt dat zelfs wanneer de keermiddelen niet gesloten zijn, er pas waterlast optreedt als de waterstand hoger dan de putrand komt. Op dat moment vindt er echter ook al overslag/overloop plaats, waardoor *betrouwbaarheid sluiting* geen relevant faalmechanisme is.
- *Piping*: Voor dit faalmechanisme geldt dat door het hoge achterland er geen uittrede punt is.
- *Sterkte en stabiliteit* : Hiervoor geldt dat de stabiliteit van de objecten niet of nauwelijks wordt beïnvloed door een hoogwater. Met andere woorden, een hoog water leidt niet of nauwelijks tot aanvullende belastingen. Daarmee is dit niet relevant voor de kunstwerken. Voor de sterkte geldt dat zelfs als een keermiddel bezwijkt er pas overlast optreedt wanneer de waterstand hoger dan de putranden komt. Op dat moment is er ook al sprake van overslag/overloop en dus is *sterkte en stabiliteit* geen relevant mechanisme.

In het geval dat er wordt uitgegaan van de hogere waterstanden zoals zijn bepaald in de hydrologische studie van het waterschap dan ontstaat er bij dijkpaal 14 en 15 voor het zichtjaar 2015 een opgave. In de toekomst zal deze opgave zich uitbreiden richting de dijken 16 tot en met 22.

7.2 Beschouwing resultaten

De primaire waterkering langs de noordkant van de Oude IJssel is gedeeltelijk afgekeurd in de derde toetsronde. De afgekeurde kering bevindt zich op het industrieterrein Grutbroek in Doetinchem (van dijkpaal 12 t/m 23). Bij visuele inspectie van de waterkering ter hoogte van Grutbroek is te zien dat de damwand in slechte staat is.

Vanwege de nieuwe norm die per 1 januari 2017 van kracht is, is het noodzakelijk een nadere veiligheidsanalyse uit te voeren naar de effecten van de nieuwe norm. Deze norm is voor dit traject soepeler geworden, van een overschrijdingskans van 1/1.250 per jaar naar een overstromingskans van 1/300 per jaar (signaalwaarde) en 1/100 per jaar voor de maximaal toelaatbare kans. Gegeven deze verandering en de invloed van nieuwe inzichten in de hydraulische randvoorwaarden blijkt dat de maatgevende waterstanden lager zijn geworden.

Vanwege deze lagere maatgevende waterstanden en het relatief hoge achterland blijkt dat er op basis van de hoogte uit het beheerregister een beperkte opgave aanwezig is ter plaatse van dijkpaal 15. Dit wil niet zeggen dat er voor de kade ter hoogte van Grutbroek verder geen opgave is. Gegeven de eisen uit het bouwbesluit en de eisen uit de Waterwet blijkt voor deze situatie dat de eisen uit het bouwbesluit strenger zijn dan de eisen vanuit waterveiligheid. Dus vanuit het bouwbesluit is er waarschijnlijk een opgave voor de kadeconstructie. Het is hierbij de vraag wat voor type opgave dit is, waterveiligheid of onderhoud.

Naast de hoogte uit het beheerregister is er ook nog de waterkerende hoogte van het gebied (paragraaf 2.2), deze ligt lokaal hoger dan het beheerregister wat potentieel de opgave kan verkleinen. Alleen voor het waterschap is het verplaatsen van de referentielijn geen optie omdat er dan meerdere bedrijven, die nu nog binnendijs liggen dan buitendijs komen te liggen. Daarnaast is de huidige referentielijn al een lastig te beheren situatie waarbij de lijn dwars door bedrijven loopt. Het waterschap heeft aangegeven dat de keuze rondom de ligging van de waterkering die de wettelijke bescherming biedt in het plan van aanpak voor de verkenningfase nader wordt onderzocht.

Bovenstaande is gebaseerd op de uitgangspunten van het Ontwerpinstrumentarium 2014, met name op het gebied van de te hanteren hydraulische belasting is er mogelijk nog een aanscherping van de veiligheidsanalyse mogelijk. De invloed van het stroomgebied van de Oude IJssel is vereenvoudigd meegenomen in de wettelijke hydraulische randvoorwaarden. Echter is door het waterschap voor het stroomgebied van de Oude IJssel een hydrologische studie uitgevoerd die de waterstanden op de Oude IJssel heeft bepaald met een neerslag-afvoer model gebaseerd op de klimaatscenario's 2014. Dit is van belang omdat het regionale systeem een grote invloed heeft op de Oude IJssel en zeker in het bereik van de norm van het traject Grutbroek. Deze uitkomsten leiden mogelijk tot een hogere waterstand op de Oude IJssel.

Wat hierbij speelt is dat het neerslag-afvoermodel niet direct is gemaakt voor het bepalen van ontwerpwaterstanden van de primaire kering maar voor het stroomgebied van de Oude IJssel. Het waterschap heeft veel vertrouwen in de hydrologische studie en gaat de relatie met het ontwerp van de primaire kering in de verkenningfase verder onderzoeken. Met name ook vanwege het feit dat binnen het HWBP in de discussie over klimaatadaptatie wel gesproken wordt over klimaatscenario's 2014, gecombineerd met een meekoppelkans (ontwikkeling bedrijventerrein) en de mogelijke impact van de hydrologische studie van het stroomgebied juist op de waterstanden ter hoogte van het Grutbroek.

Bijlagen

Bijlage A: Bron werkelijke profielen waterkering

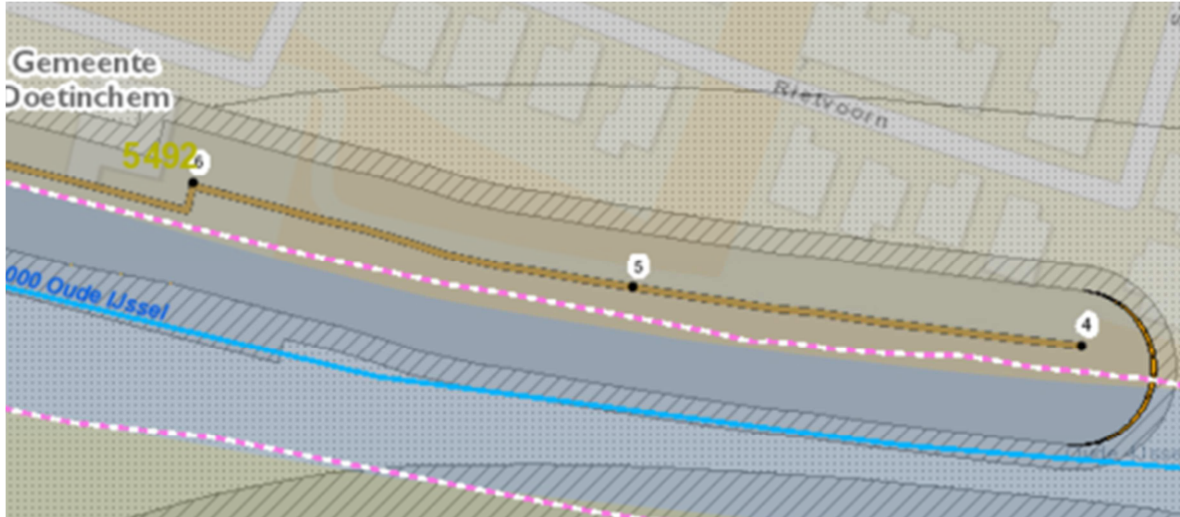
Deze bijlage beschrijft de werkelijke profielen en hoe deze zijn afgeleid. Het is weergegeven in onderstaande tabel.

Dijkpaal	Type profiel	Bron talud	Bron kruinhoogte	Bijzonderheden
4	Groene dijk	Legger	Legger	
5	Groene dijk	AHN	Legger	
6	Damwand	Legger	Legger	
7	Damwand	Legger	Legger	
8	Damwand	Legger	Legger	
9	Groene dijk	Legger	Legger	
10	Groene dijk	AHN	Legger	
11	Groene dijk	Legger	Legger	
12	Groene dijk	AHN	Legger	
13	Damwand	Legger	Legger	
14	Damwand	Legger	Legger	
15	Damwand	Legger	Legger	
16	Damwand	Legger	Legger	
17	Groene dijk	Legger	Legger	
18	Groene dijk	AHN	Legger	
19	Groene dijk	AHN	Legger	Hoog voorland
20	Groene dijk	AHN	Legger	Hoog voorland
21	Groene dijk	AHN	Legger	Hoog voorland
22	Groene dijk	Legger	Legger	Hoog voorland
23	Groene dijk	AHN	Legger	Hoog voorland
24	Groene dijk	Legger	Legger	Hoog voorland
25	Groene dijk	AHN	Legger	Hoog voorland

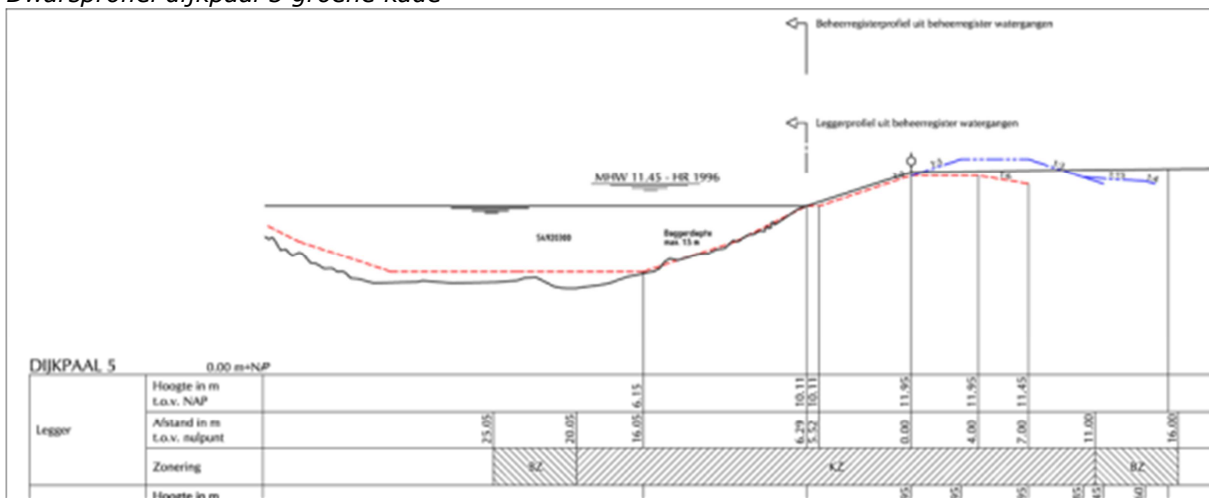
Bijlage B: Overzicht deeltrajecten

Groene kade (globale indeling dijkpaal 4 t/m 6)

Bovenaanzicht "Legger 2017" op de site van het Waterschap



Dwarsprofiel dijkpaal 5 groene kade

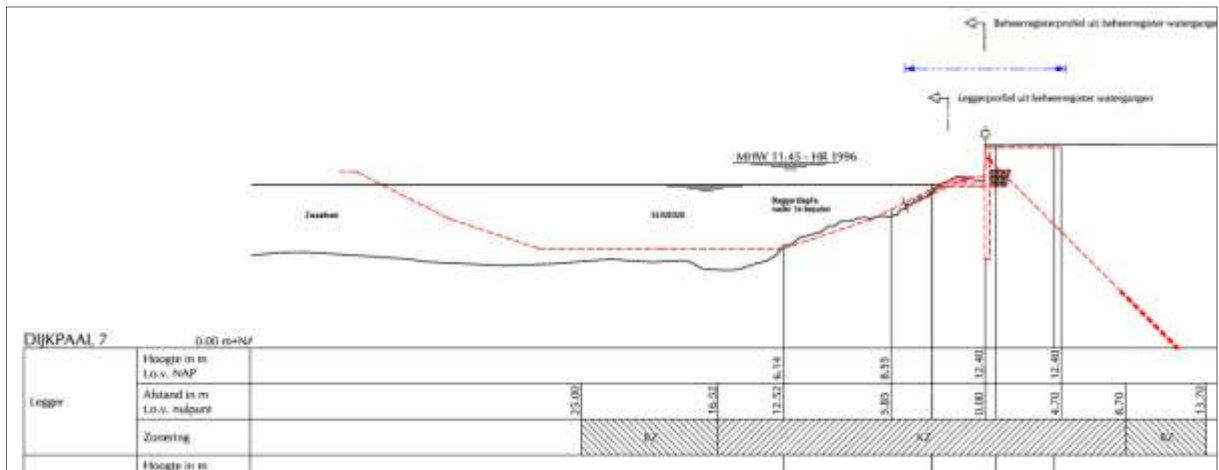


Langsconstructie IJsseltuinen (globale indeling dijkpaal 6 t/m 8 +40)

Bovenaanzicht "Legger 2017" op de site van het Waterschap

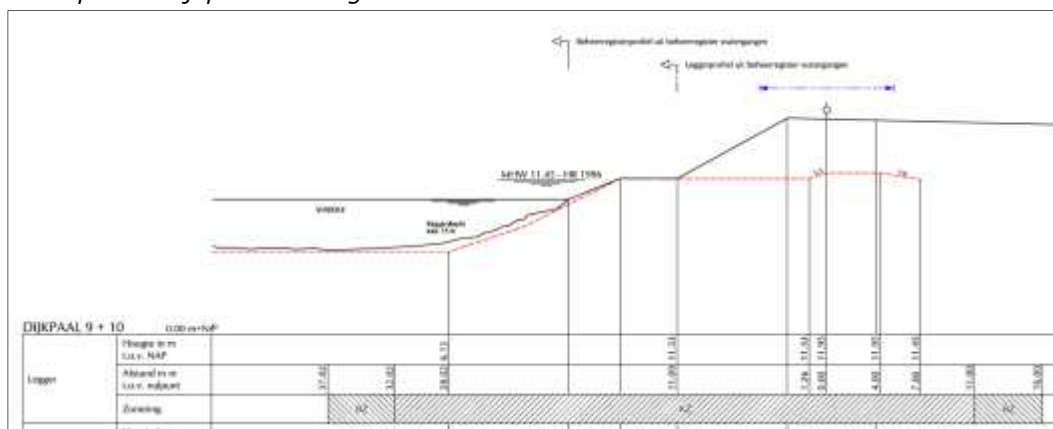
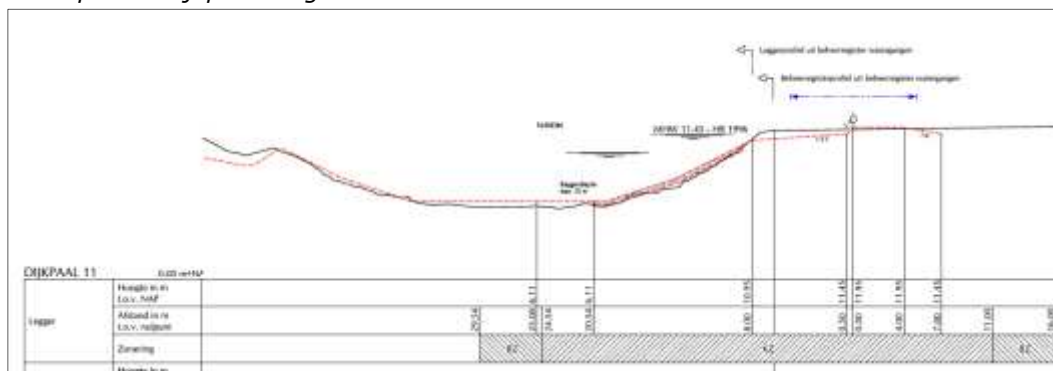


Dwarsprofiel dijkpaal 7



Groene kade (globale indeling dijkpaal 8+40 t/m 12 +20)

Bovenaanzicht "Legger 2017" op de site van het Waterschap

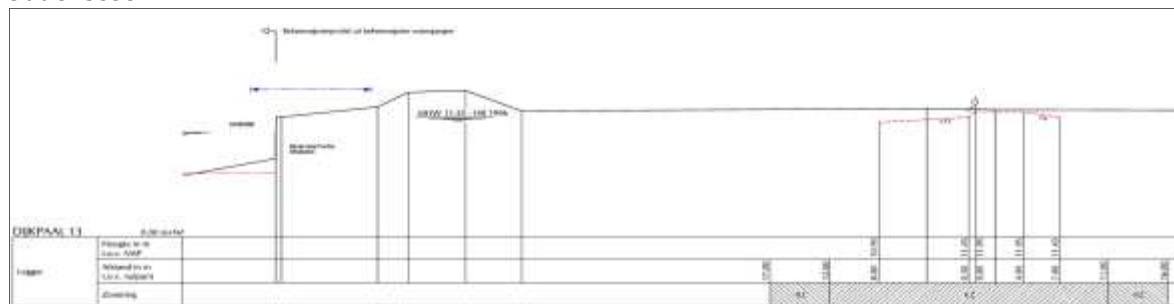
Dwarsprofiel dijkpaal 9 +10 groene kadeDwarsprofiel dijkpaal 11 groene kade

Groene kade / langsconstructies (globale indeling dijkpaal 12+20 t/m 14 +70)

Bovenaanzicht "Legger 2017" op de site van het Waterschap



Dwarsprofiel dijkpaal 13 groene kade + mogelijk toekomstige langs constructie grenzend aan de Oude IJssel



Dwarsprofiel dijkpaal 14 groene kade + mogelijk toekomstige langsconstructie grenzend aan de Oude IJssel

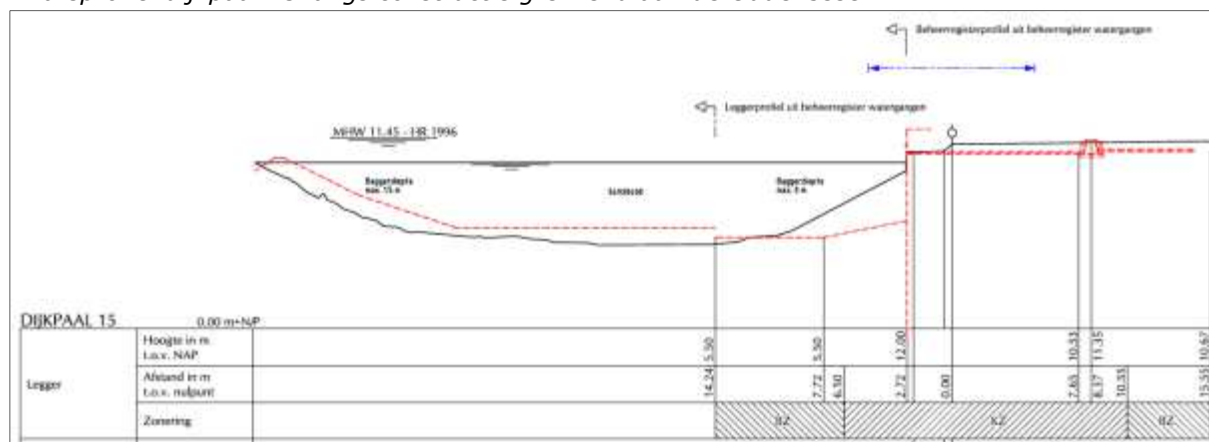


Groene kade i.c.m. langs constructies (globale indeling dijkpaal 14 +70 t/m 16 +70)

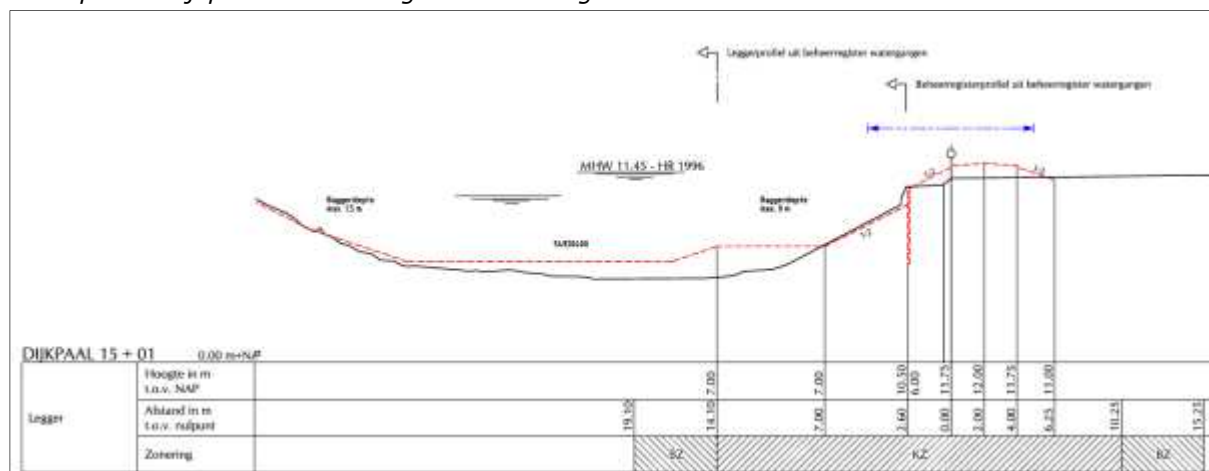
Bovenaanzicht "Legger 2017" op de site van het Waterschap



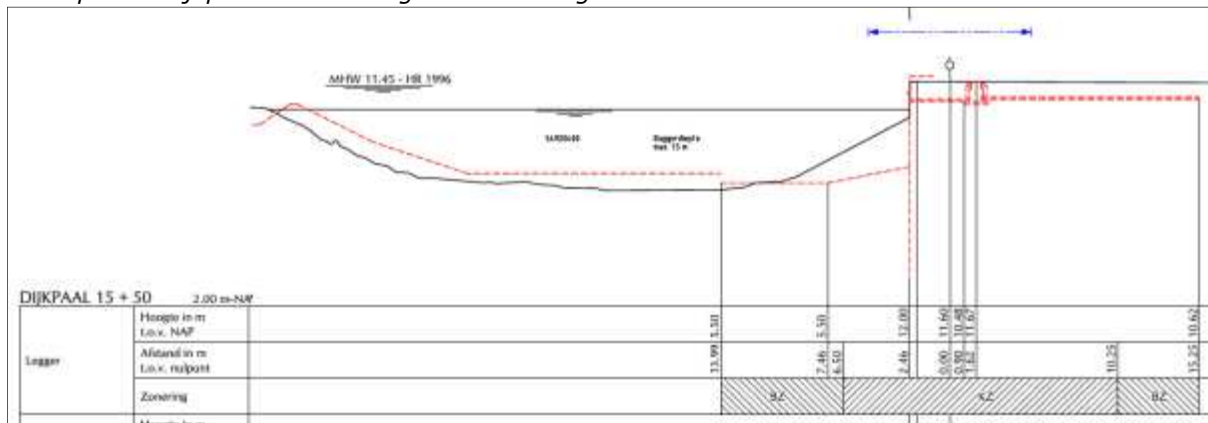
Dwarsprofiel dijkpaal 15 langs constructie grenzend aan de Oude IJssel



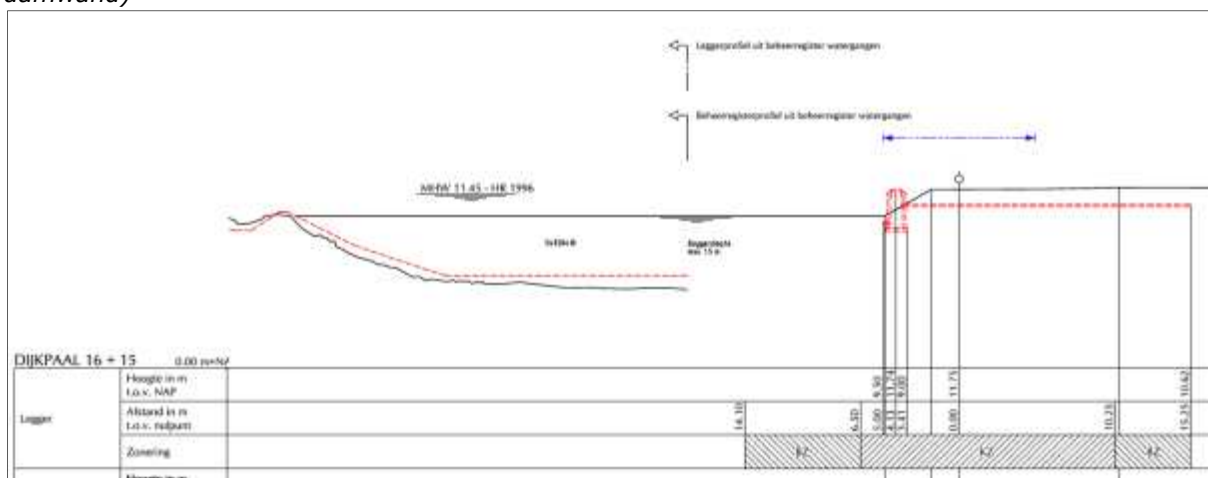
Dwarsprofiel dijkpaal 15 +01 langs constructie grenzend aan de Oude IJssel



Dwarsprofiel dijkpaal 15 +50 langs constructie grenzend aan de Oude IJssel



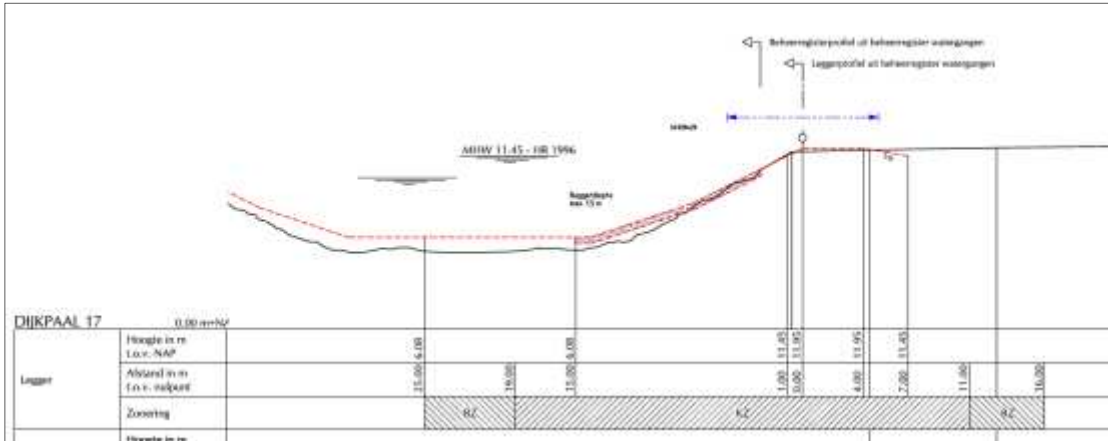
Dwarsprofiel dijkpaal 16 +15 langs constructie grenzend aan de Oude IJssel (tpv bezwiken damwand)



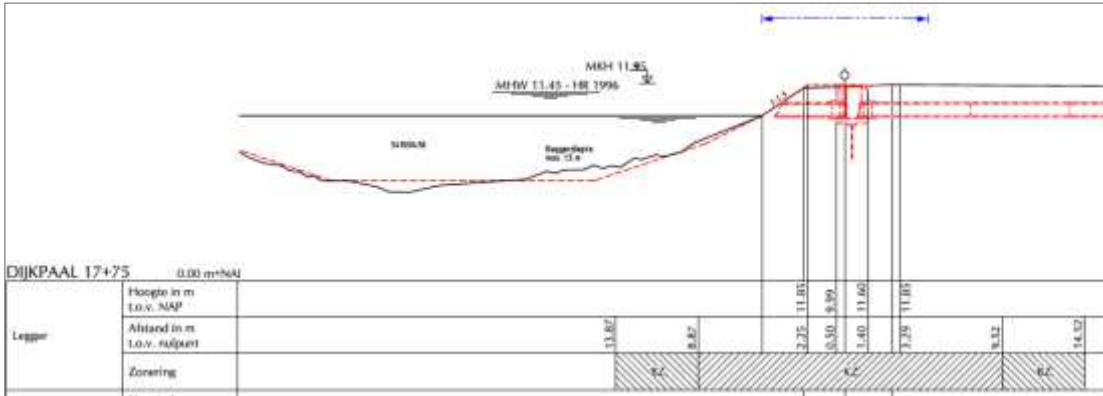
Groene kade (globale indeling dijkpaal 16 +70 t/m 18)



Dwarsprofiel dijkpaal 17 groene kade



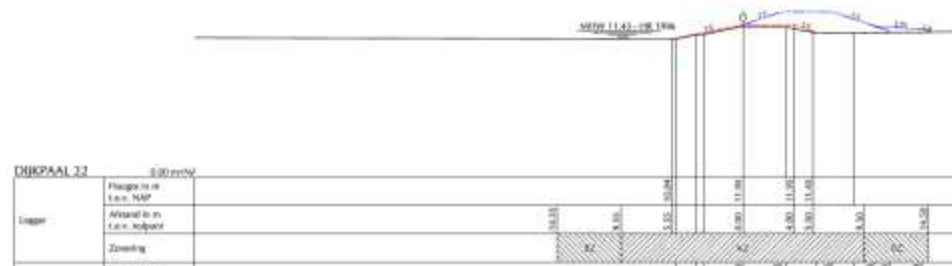
Dwarsprofiel dijkpaal 17 +75 groene kade



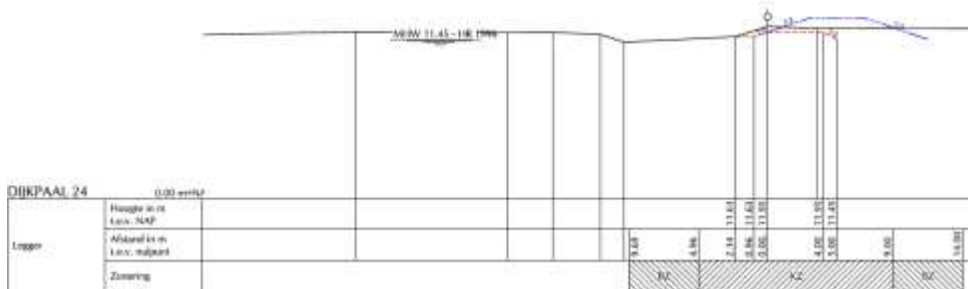
Groene kade (globale indeling dijkpaal 18 t/m 25)



Dwarsprofiel dijkpaal 22 groene kade

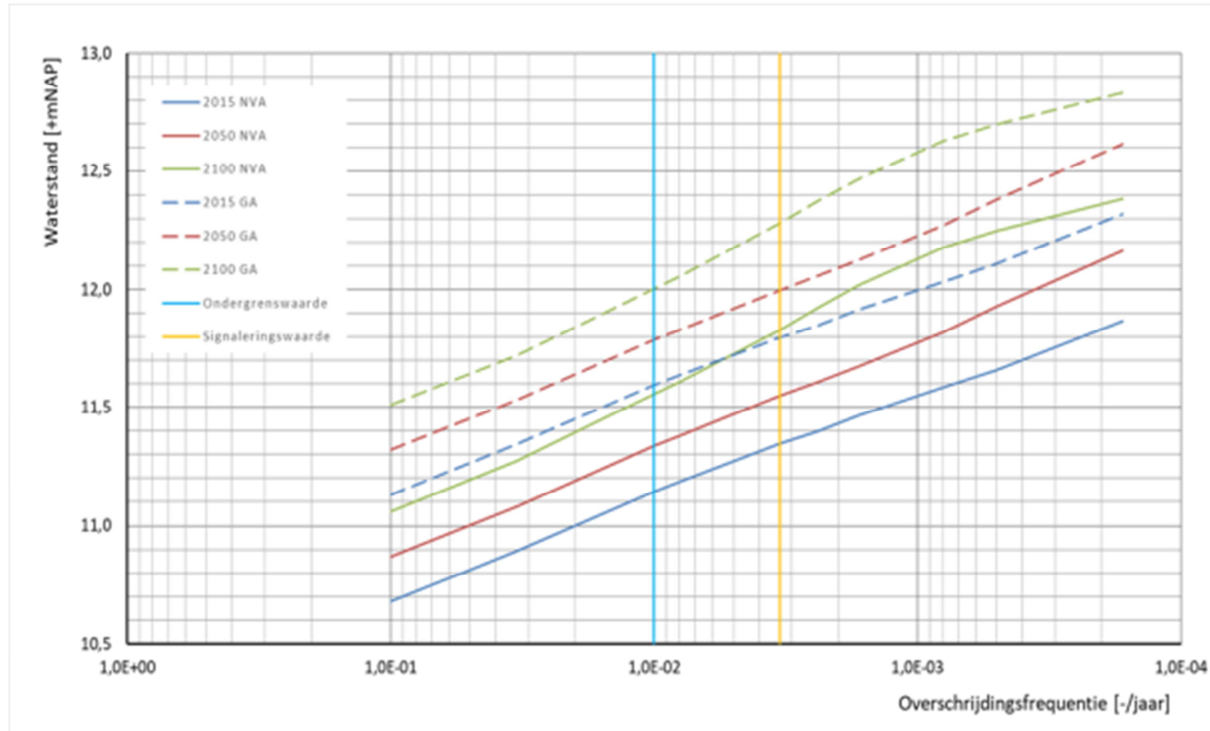


Dwarsprofiel dijkpaal 24 groene kade



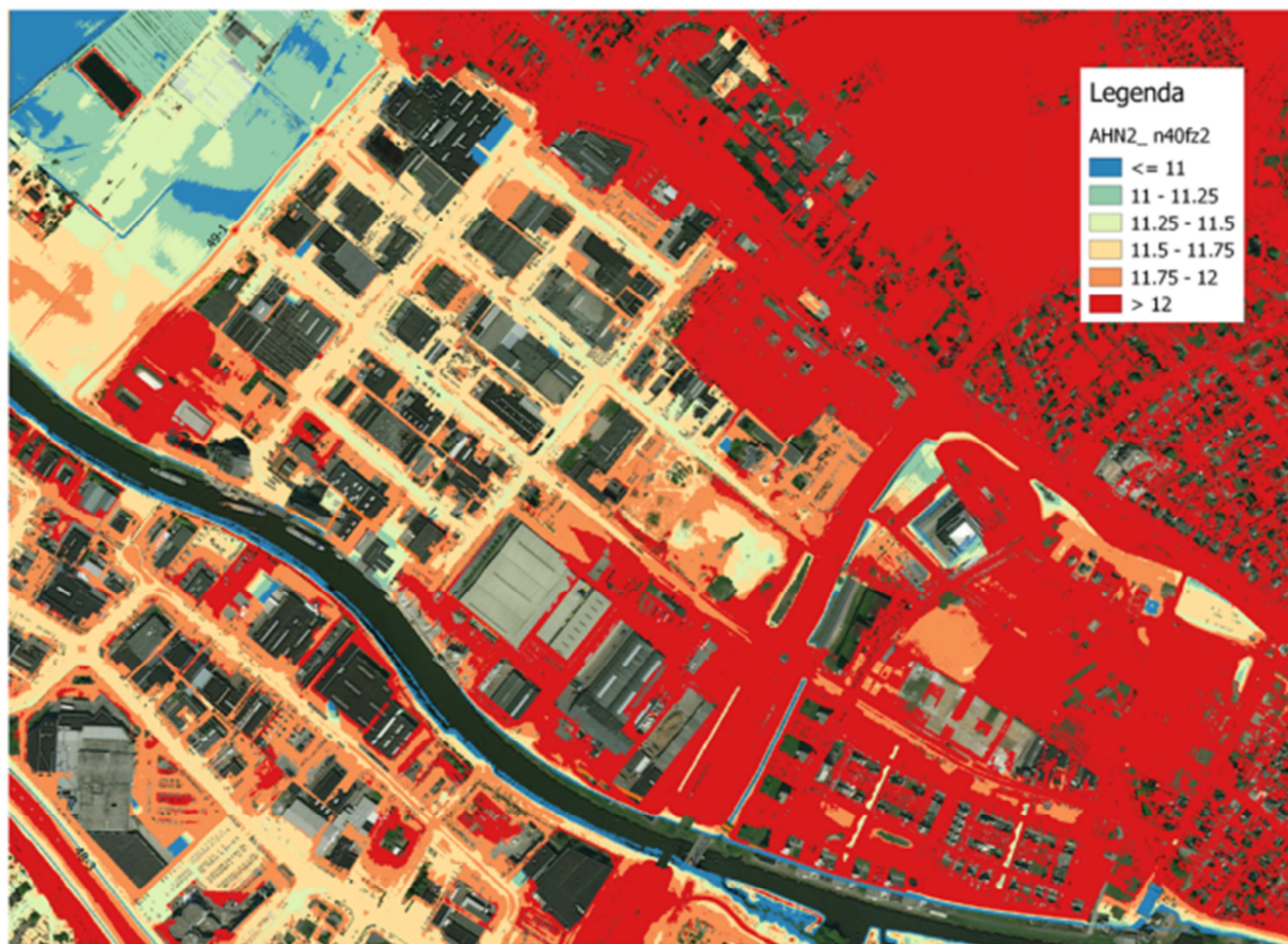
Bijlage C: Overschrijdingsfrequentielijnen

Hieronder is in een grafiek de overschrijdingsfrequentielijn van de diverse zichtjaren en scenario's weergegeven.



Bijlage D: Gegevens hoogteligging

In onderstaande figuur is een beeld van de hoogteligging





HKV lijn in water BV

Postbus 2120
8203 AC Lelystad

Botter 11-29
8232 JN Lelystad

0320 29 42 42
info@hkv.nl
www.hkv.nl