



Definitief, v1.0 d.d. 22 juni 2015

**Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud**

Griffioenlaan 2  
3526 LA Utrecht  
Postbus 2232  
3500 GE Utrecht  
T 088-797 2111  
www.rijkswaterstaat.nl

**Contactpersoon**

Marc van Enk  
Projectmanager

T +316-11526403  
marc.vanenk@rws.nl

**Bijlage(n)**

# memo

Inhoudelijke adviesrapportage Betrouwbaarheidseisen  
Blankenburgverbinding als primaire waterkering

## Inhoud

1	Inleiding.....	2
2	Systeembeschrijving.....	3
3	Foutenboomanalyse.....	5
4	Betrouwbaarheidseisen Blankenburgverbinding.....	7
	4.1 Wet- en regelgeving.....	7
	4.2 Betrouwbaarheidseisen constructief falen.....	7
	4.3 Betrouwbaarheidseisen onder- en achterloopsheid.....	10
	4.4 Betrouwbaarheidseisen overloop/golfoverslag.....	10
5	Beoordeling van de kans op falen.....	11
	5.1 Beoordeling van de kans op constructief falen.....	11
	5.2 Beoordeling van de kans op onder- of achterloopsheid.....	12
	5.3 Beoordeling kans op falen door overloop of golfoverslag.....	12
6	Conclusies.....	14
	Referenties.....	15

# 1 Inleiding

De Blankenburgverbinding is een nieuwe autosnelweg tussen de A20 en de A15 ten westen van Rotterdam. De verbinding kruist het Scheur/de Nieuwe Waterweg doormiddel van een afgezonken tunnel. Op de noordoever zal de Blankenburgverbinding de primaire waterkering van dijkkring 14, de Delflandsedijk, doorsnijden. Voor deze situatie dient de waterveiligheid van achterliggend gebied te worden geborgd. Tot op heden is daarvoor uitgegaan van een kanteldijk. In de planstudie is echter de mogelijkheid naar voren gekomen om de verbinding zonder kanteldijk te realiseren.

**Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud**

Als de Blankenburgverbinding met kanteldijk wordt aangelegd, dan wordt de primaire waterkering van dijkkring 14 gevormd door de Delflandsedijk, de wanden van de tunnelbak en de kanteldijk. Als de Blankenburgverbinding zonder kanteldijk wordt aangelegd, dan wordt de primaire waterkering gevormd door de tunnelbuis en de kerende wanden (aan de noordzijde) en de omliggende gronden (aan de zuidzijde) langs de toeritten.

Ook zonder kanteldijk is het technisch mogelijk om de Blankenburgverbinding zo te ontwerpen dat aan de vigerende en de verwachte nieuwe normen uit de Waterwet wordt voldaan. De constructie-onderdelen van de Blankenburgverbinding moeten al minimaal voldoen aan de betrouwbaarheidseisen die vanuit het Bouwbesluit worden gesteld. In dit rapport wordt ingegaan op de vraag of aan de Blankenburgverbinding hogere betrouwbaarheidseisen moeten worden gesteld wanneer deze zonder kanteldijk wordt aangelegd, vanwege de normen waaraan de primaire keringen dienen te voldoen.

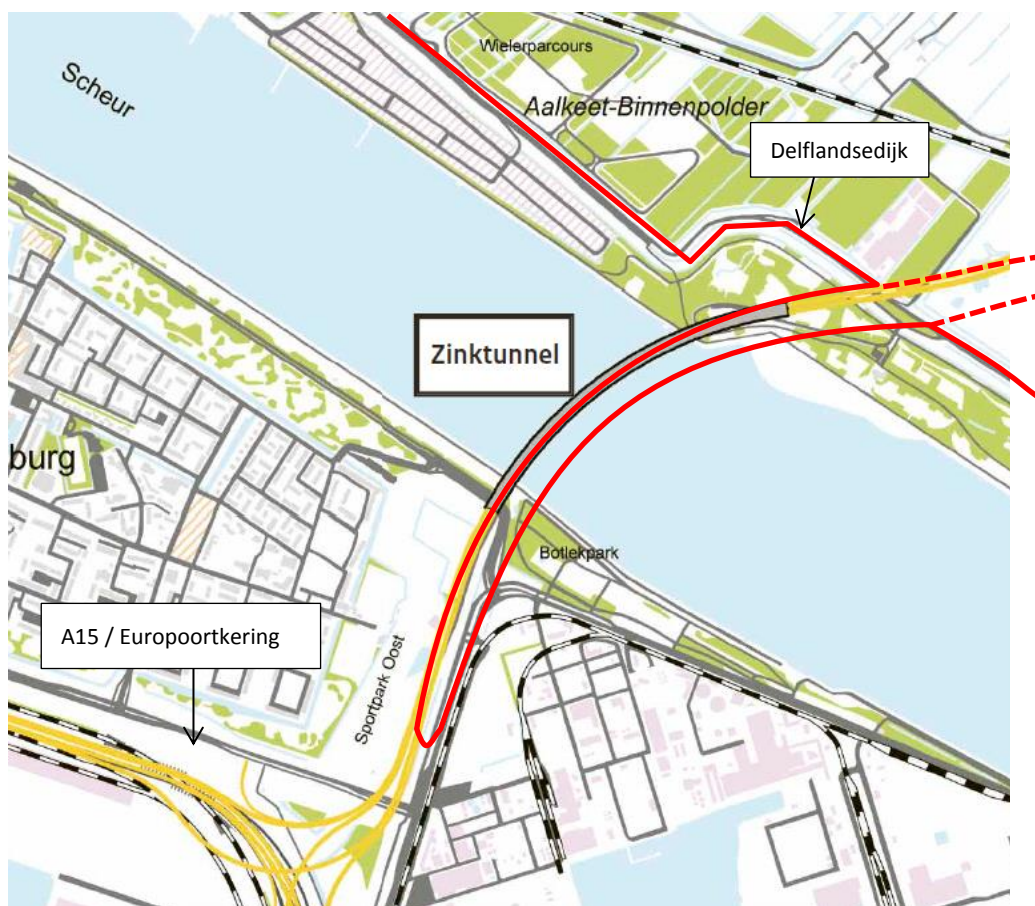
Het rapport is als volgt opgebouwd. Eerst wordt in hoofdstuk 2 een beschrijving gegeven van het hoogwaterkerend systeem en de verandering daarin als de Blankenburgverbinding zonder kanteldijk wordt aangelegd. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 toegelicht op welke wijze het falen van de Blankenburgverbinding zou kunnen leiden tot een overstroming. In hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van wet- en regelgeving en de bijbehorende betrouwbaarheidseisen. In hoofdstuk 5 worden de praktische consequenties van deze eisen geanalyseerd. In hoofdstuk 6 worden de conclusies van de uitgevoerde studie gepresenteerd.

## 2 Systeembeschrijving

De Blankenburgverbinding doorsnijdt aan de noordzijde de Delflandsedijk en komt aan de zuidzijde buitendijks boven ten oosten van Rozenburg (Figuur 1). De Delflandsedijk is onderdeel van de primaire waterkering die dijkkring 14 beschermt tegen overstromingen. In het kader van het Deltaprogramma wordt gewerkt aan de introductie van een nieuw waterveiligheidsbeleid waarbij niet langer sprake zal zijn van normen aan dijkringen, maar van normen aan dijktrajecten. De Delflandsedijk is onderdeel van traject 14-2 (DP, 2015). De nieuwe normen zullen ook een andere betekenis bezitten, zoals geduid in DP2015.

Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud

De rode doorgetrokken lijn in Figuur 1 geeft een indicatie van het verloop van de primaire waterkering van dijkkring 14 (of dijktraject 14-2) als de Blankenburgverbinding zonder kanteldijk wordt gerealiseerd. De gestippelde rode lijn geeft een indicatie van (een deel van) het verloop van de primaire waterkering als de Blankenburgverbinding met kanteldijk wordt aangelegd: deze zal dan het huidige dijkkringgebied in lopen.



*Figuur 1. De ligging van de Blankenburgtunnel en de aangrenzende primaire waterkeringen: de Delflandsedijk en de Europoortkering (bewerkt uit: Rijksstructuurvisie). De doorgetrokken rode lijn geeft een indicatie van het verloop van de primaire waterkering weer als de Blankenburgverbinding zonder kanteldijk wordt uitgevoerd. De gestippelde rode lijn geeft een indicatie van het verloop van de primaire kering als de Blankenburgverbinding met kanteldijk wordt gerealiseerd.*

Aan de zuidzijde takt de Blankenburgverbinding aan op de A15 na het passeren van de Europoortkering. Voor nadere informatie over de ligging van de Europoortkering wordt verwezen naar RWS (2009). De Europoortkering loopt van de Maeslantkering tot aan de Hartelkering (Figuur 2).



Figuur 2. Schematische weergave Europoortkering (bron: [www.keringhuis.nl](http://www.keringhuis.nl)).

Aan de noordzijde komt de tunnel buitendijks boven de grond. Tussen de tunnelmond en de Delflandsedijk worden waterkerende wanden aangelegd met een kerende hoogte van 5,5m+NAP zoals weergegeven in het voorlopig ontwerp+ voor de Blankenburgverbinding (Tekeningkenmerk RW 1929.40.3500, 25 februari 2015).

De locatie waar de tunnel aan de zuidzijde uitmondt, ligt buitendijks, aan de zijde van de nieuwe Waterweg/het Scheur achter de Maeslantkering. Het maaiveld ligt hier op ca. NAP+5m. Volgens het huidige voorlopige ontwerp hebben de wanden van zuidelijke toerit een kerende hoogte van NAP+2,60m en vervult het hoge maaiveld de waterkerende functie.

Ten zuiden van de zuidelijke toerit ligt de Europoortkering. Een bres in de Europoortkering zou leiden tot verhoogde waterstanden op de Nieuwe Waterweg. Dit kan leiden tot dijkdoorbraken in het achterland en mogelijk ook tot instroming van de tunnel. Dit laatste is echter zeer onwaarschijnlijk gelet op de normen in het achterland en het ontlastende effect van dijkdoorbraken. Als de Europoortkering aan de wettelijke norm voldoet, is de kans dat de Europoortkering faalt overigens dusdanig klein dat deze niet beschouwd hoeft te worden bij de toetsing en het ontwerp van de achterliggende primaire waterkeringen.

Als de Blankenburgverbinding zonder kanteldijk wordt aangelegd, dan moeten de volgende onderdelen van de Blankenburgverbinding een hoogwaterkerende functie vervullen:

1. de keerwanden met het aangrenzend maaiveld langs de zuidelijke toerit,
2. de tunnelbuis,
3. de keerwanden tussen de buitendijks gelegen noordelijke toerit en de aansluiting op de Delflandsedijk,
4. de aansluiting van de Blankenburgverbinding op de Delflandsedijk.

### 3 Foutenboomanalyse

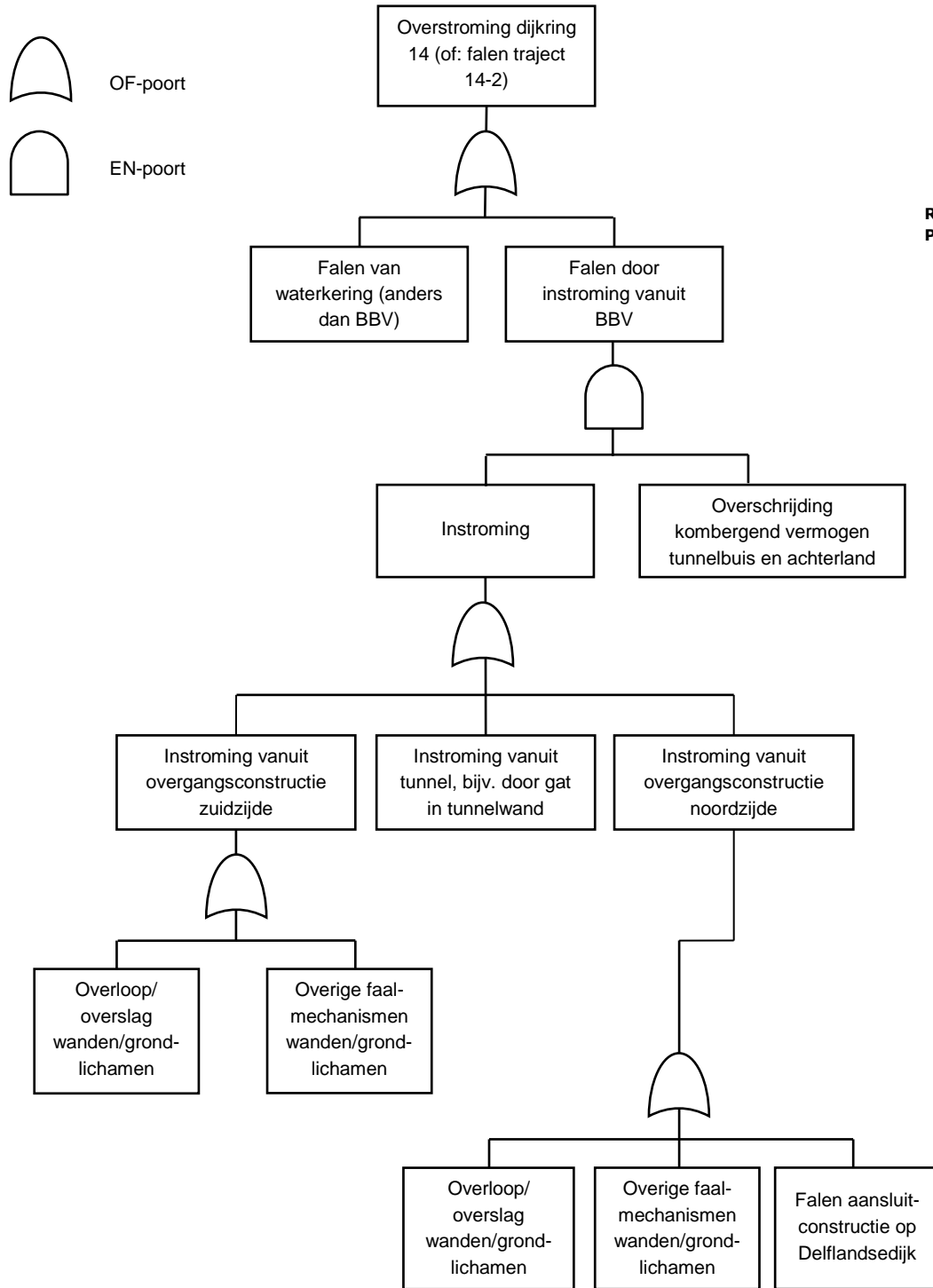
Door de aanleg van de Blankenburgverbinding zouden zich op de volgende manieren overstromingen kunnen voordoen in dijkkring 14:

1. Via de zuidelijke tunnelmond stromen grote hoeveelheden (groter dan het kombergend vermogen van de tunnel en het achterland) water door de tunnel dijkkring 14 in. In algemene zin kan dit het gevolg zijn van een overschrijding van de kerende hoogte van grondlichamen of wanden langs de toerit, het bezwijken van deze wanden of grondlichamen tijdens hoogwater of het falen van een aansluit-/overgangsconstructie door bijvoorbeeld interne erosie (onder- of achterloopsheid).
2. De tunnel raakt onder de waterlijn op een dusdanige wijze lek dat grote hoeveelheden (groter dan het kombergend vermogen van de tunnel en het achterland) water door de tunnel dijkkring 14 instromen.
3. Tussen de buitendijks gelegen noordelijke tunnelmond en de aansluiting op de Delflandsedijk stromen grote hoeveelheden water de tunnel in. Het water vult eerst de tunnelbuizen. Daarna stroomt het via de noordelijke toerit dijkkring 14 in. Dit kan het gevolg zijn van een overschrijding van de kerende hoogte van de keerwanden langs de toerit of het bezwijken van een keerwand tijdens hoogwater.
4. De aansluit-/overgangsconstructie op de Delflandsedijk faalt bij hoogwater door onder- of achterloopsheid, macroinstabiliteit of welk ander faalmechanisme dan ook.

Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud

Het kombergend vermogen is het volume water dat kan worden geborgen voordat sprake is van een overstroming. Er zal een aanzienlijk (nader te bepalen) volume water de tunnel in moeten stromen voordat er een overstroming kan optreden. Dit betekent dat bijv. door beperkte lekkage de verkeersfunctie van de Blankenburgtunnel verloren kan gaan, maar dat er nog geen sprake zal zijn van een overstroming.

In Figuur 3 is een foutenboom weergegeven. De aanleg van een kanteldijk zou zorgen voor een verkleining van de kans dat er bij *instroom* van water in de tunnel ook sprake is van *uitstroom* in dijkkring 14 (zie ook de gebeurtenis "Overschrijding kombergend vermogen tunnelbuis en achterland" in Figuur 3) .



Figuur 3. Foutenboom.

## 4 Betrouwbaarheidseisen Blankenburgverbinding

De Blankenburgverbinding dient te voldoen aan de constructieve eisen vanuit het Bouwbesluit, welke valt onder de Woningwet. Wanneer de verbinding deel uitmaakt van de primaire waterkering dienen de (hoog)waterkerende componenten van de Blankenburgverbinding ook te voldoen aan de eisen uit de Waterwet. In het Nationaal Waterplan is de introductie van een nieuw normstelsel voor de primaire waterkeringen opgenomen. In het Deltaprogramma 2015 zijn per traject normspecificaties gepresenteerd. In 2017 worden deze wettelijk verankerd door een aanpassing van de Waterwet. In dit hoofdstuk worden zowel de normen uit de huidige Waterwet als de verwachte toekomstige normen beschouwd.

Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud

### 4.1 Wet- en regelgeving

#### **Bouwbesluit**

De tunnel is een bouwwerk in de zin van het Bouwbesluit. Het Bouwbesluit verwijst naar de NEN-EN1990 voor aanbevolen betrouwbaarheidseisen voor de nieuwbouw van bouwwerken (eisen aan de constructieve veiligheid). De NEN-EN1990 kent 3 verschillende betrouwbaarheidseisen, voor 3 verschillende gevolgklassen (Consequence Classes). De constructieve elementen van de Blankenburgverbinding vallen in de zwaarste gevolgklasse (CC3). De NEN-EN-serie is de Nederlandse implementatie van de Eurocodes.

#### **Waterwet: Overschrijdingskansnormen**

De Waterwet bevat de vigerende normen voor de primaire waterkeringen. Deze normen zijn gedefinieerd als overschrijdingskansen van de hoogste hoogwaterstanden waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkeringen moeten zijn berekend, mede gelet op de overige het waterkerend vermogen bepalende factoren. De Minister stelt ontwerpleidraden ter beschikking die tot aanbeveling strekken. In de Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003) is aangegeven hoe faalkanseisen voor het constructief falen van kunstwerken kunnen worden afgeleid van de normen uit de Waterwet.

#### **Verwachte herziening Waterwet (of Omgevingswet): overstromingskansnormen**

Op Prinsjesdag 2014 is een voorstel voor nieuwe waterveiligheidsnormen gepresenteerd (zie Bijlage van Deltaprogramma 2015). Deze normen hebben betrekking op de kansen op overstromingen.

### 4.2 Betrouwbaarheidseisen constructief falen

#### **Betrouwbaarheidseisen constructief falen uit het Bouwbesluit**

De tunnel valt in gevolgklasse 3 (CC3). Bij CC3 hoort een betrouwbaarheidseis die is gedefinieerd als een betrouwbaarheidsindex van 4,3 (NEN-EN1990). Deze dient hier te worden betrokken op een referentieperiode van 100 jaar (gelijk aan levensduur tunnel), ofwel  $\beta_{100}=4,3$ . Dit komt overeen met een faalkanseis van  $1/120.000$  ( $= 8,5 \cdot 10^{-6}$ ) voor een periode van 100 jaar. Gemiddeld genomen dient de faalkans dus kleiner te zijn dan  $8,5 \cdot 10^{-8}$  per jaar.

De relatie tussen een faalkans en een betrouwbaarheidsindex is als volgt:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (1)$$

waarin:

$P_f$  Faalkans

$\beta$  Betrouwbaarheidsindex

$\Phi(\cdot)$  Standaard normale kansverdeling

De betrouwbaarheidseisen uit het Bouwbesluit worden toegepast op individuele constructie-onderdelen. Bij uitgesproken seriesysteemgedrag dienen de eisen aangescherpt te worden om uiteindelijk te voldoen aan  $\beta_{100}=4,3$ . In het navolgende is dan ook uitgegaan van een betrouwbaarheid van de Blankenburgverbinding die gelijk is aan  $\beta_{100}=4,3$ .

### **Betrouwbaarheidseisen constructief falen Waterwet**

De overschrijdingskansnorm voor dijkkring 14 is 1/10.000 per jaar. Deze overschrijdingskans dient nog te worden vertaald naar een faalkanseis voor een individueel kunstwerk volgens de methode uit de Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003). Volgens de Leidraad Kunstwerken mag de kans op het constructief falen van een waterkerend kunstwerk niet groter zijn dan 1% van de getalswaarde van de norm. Bij een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar mag de kans op het constructief falen van hoogwaterkerende onderdelen van de Blankenburgverbinding niet groter zijn dan  $0,01 \times 1/10.000 = 1/1.000.000$  per jaar (ofwel:  $10^{-6}$  per jaar).

Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud

In de Leidraad Kunstwerken is een werkwijze met een levensduurfactor ( $f_N=10$ ) geïntroduceerd, omdat dit een economischer ontwerp mogelijk maakt. Met deze factor kan de faalkanseis per jaar worden omgezet in een faalkanseis voor een referentieperiode van 10 jaar:  $f_N \times 1/1.000.000$  per jaar =  $10 \times 1/1.000.000$  per jaar =  $1/100.000$  voor een aaneengesloten periode van 10 jaar. Dit komt overeen met  $\beta_{10}= 4,26$ . Het hanteren van een grotere referentieperiode is gunstig omdat uitschieters in de faalkansen per jaar dan minder zwaar meetellen.

Optioneel kan deze betrouwbaarheidsindex nog worden verhoogd met 10% vanwege het lengte-effect binnen een lang kunstwerk om te komen tot een eis aan een individueel constructie-onderdeel (LK, pag. 184). Voor de verbinding als geheel geldt echter de bovengenoemde eisen van  $1/100.000$  voor een aaneengesloten periode van 10 jaar of gemiddeld  $1/1.000.000$  per jaar.

### **Betrouwbaarheidseisen constructief falen bij verwachte toekomstige normen waterveiligheid**

De verwachte toekomstige normen hebben betrekking op de kans op een overstroming. De normspecificatie voor traject 14-2 uit DP2015 is 1/10.000 per jaar. Deze normspecificatie heeft de betekenis van een signaalwaarde.<sup>1</sup> Bij het ontwerp is de bijbehorende maximaal toelaatbare faalkans van belang. In het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) wordt voor de omrekening van signaalwaarden naar maximaal toelaatbare faalkansen een verschilfactor 2 gehanteerd. Deze verschilfactor is ook in deze studie aangehouden om aan te sluiten bij de vigerende praktijk ten aanzien van het ontwerp van waterkeringen op basis van overstromingskansnormen. Om de maximaal toelaatbare faalkans te kunnen vertalen naar een faalkanseis voor constructief falen voor de Blankenburgverbinding zijn een faalruimtefactor en een lengte-effectfactor nodig. In het algemeen geldt:

---

<sup>1</sup> De normen uit DP2015 zijn gebaseerd op de kleinste (strengste) kans die correspondeert met (1) de middenkans voor het jaar 2050 uit de MKBA en (2) een lokaal individueel risico van  $0,5 \cdot 10^{-5}$  per jaar. Verder zijn de normen lokaal aangescherpt vanwege het groepsrisico, vitale infrastructuur en bestuurlijke overwegingen. De middenkans uit de MKBA en de LIR-eis van  $0,5 \cdot 10^{-5}$  per jaar zijn signaalwaarden, geen maximaal toelaatbare waarden. De middenkans is namelijk strenger dan de kans die vanuit economische perspectief maximaal toelaatbaar is. Ook is een LIR-eis van  $0,5 \cdot 10^{-5}$  per jaar strenger dan de maximumwaarde voor het LIR van  $10^{-5}$  per jaar. De factor 2 die in het HWBP wordt gehanteerd bij de omrekening van de normen uit DP2015 naar maximaal toelaatbare faalkansen hoort eigenlijk bij eisen die door het LIR worden gedictieerd. Voor normen die door de MKBA worden gedictieerd zou de correctiefactor vaak groter moeten zijn, wat een minder strenge maximaal toelaatbare faalkans oplevert. Bij traject 14-2 wordt de norm gedictieerd door het LIR en is de factor 2 volledig in lijn met de door de Minister benoemde grondslagen van de nieuwe normering. In het wetsvoorstel dat in consultatie is gebracht was sprake van een verschilfactor 3, gevolgd door afronding naar de dichtstbijzijnde normklasse. Bij een signaalwaarde van 10.000 per jaar hoort dan een maximaal toelaatbare faalkans van  $1/3.000$  per jaar.



$$P_{eis,kw} = \frac{f \cdot P_{max}}{N} \quad (2)$$

Waarin:

$P_{eis,cf}$  Maximaal toelaatbare kans op het constructief falen van een individueel kunstwerk (per jaar)

$f$  Faalruimtefactor voor constructief falen ( $0 \leq f \leq 1$ )

$N$  Lengte-effectfactor ( $N \geq 0$ )

Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud

De faalruimtefactor ( $f$ ) is ontleend aan de default-faalkansbegroting uit het nog in ontwikkeling zijnde wettelijk toetsinstrumentarium 2017 voor primaire waterkeringen (WTI2017) (Deltares, 2013). Deze default-faalkansbegroting vormt ook de basis van het ontwerpinstrumentarium (OI2014) dat in het HWBP wordt toegepast.<sup>2</sup>

De aan te houden lengte-effectfactor ( $N$ ) is afhankelijk van het aantal kunstwerken, hun faalkansen en hun onderlinge afhankelijkheden. Een bovengrens van de betrouwbaarheidseis aan de Blankenburgverbinding wordt verkregen door  $N$  gelijk te stellen aan het aantal kunstwerken in traject 14-2. Niet elk kunstwerk draagt namelijk evenveel bij aan de faalkans op trajectniveau. Bovendien kan sprake zijn van afhankelijkheden. In traject 14-2 bevinden zich de volgende kunstwerken: Gemaal Westland, Keersluis Maassluis, Spuisluis Boonerhaven en de Schutsluis Vlaardingen (VNK2, 2010). In het onderzoeksproject Veiligheid Nederland in Kaart 2 (VNK2) is voor de Spuisluis Boonerhaven een verwaarloosbare faalkans berekend. Bovendien is achter de spuisluis nog een gemaal aanwezig (incl. maalkom) met een kerende hoogte van NAP+4m. Voor het constructief falen van de Keersluis Maassluis en de Schutsluis Vlaardingen zijn in VNK2 verwaarloosbaar kleine faalkansen berekend. Het constructief falen van de Spuisluis Boonerhaven is in VNK2 niet kwantitatief geanalyseerd omdat de faalkans op grond van algemene kenmerken verwaarloosbaar klein werd geacht.

Gelet op de VNK2-uitkomsten zou voor de kans op een overstroming door het constructief falen van de Blankenburgverbinding uitgegaan kunnen worden van  $N \approx 1$ . In dit onderzoek is  $N$  echter gelijk gesteld aan het totale aantal kunstwerken in het traject waarvoor in VNK2 faalkansen zijn berekend plus de Blankenburgverbinding, ofwel  $N = 4$ . De onzekerheid over de precieze waarde van  $N$  wordt door de keuze voor dergelijke voorzichtige benadering ondervangen. Benadrukt wordt dat hierdoor naar verwachting sprake zal zijn van een overschatting van de betrouwbaarheidseis.

Het invullen van vergelijking (2) levert, uitgaande van  $f = 0,02$  en  $N = 4$  en een verschil tussen de signaalwaarde uit DP2015 en de maximaal toelaatbare faalkans van een factor 2:

$$P_{eis,cf} = \frac{0,02 \cdot 2 \cdot 1/10.000}{4} = 1/1.000.000 \text{ per jaar}$$

In navolging van de Leidraad Kunstwerken kan deze eis ook worden geschreven als een maximaal toelaatbare faalkans van 1/100.000 in een aaneengesloten periode van 10 jaar. Deze eis is hetzelfde als de eis die hoort bij de huidige norm.

<sup>2</sup> Het OI2014 is te downloaden via <http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/>.

### 4.3 Betrouwbaarheidseisen onder- en achterloopsheid

De betrouwbaarheidseisen voor onder- en achterloopsheid zijn identiek aan de eisen voor constructief falen. Dit is het gevolg van de gelijke faalruimtefactoren voor constructief falen en onder- en achterloopsheid in de default-faalkansbegroting van het WT2017 (zie ook Deltares, 2010). De lengte-effectfactoren voor constructief falen en onder- en achterloopsheid hoeven niet gelijk te zijn. Hier is echter wederom uitgegaan van  $N = 4$ , op basis van de eerder gegeven onderbouwing.

### 4.4 Betrouwbaarheidseisen overloop/golfoverslag

Het Bouwbesluit geeft geen eisen aan de kans op overloop of golfoverslag als de constructie daarbij zelf niet constructief faalt. Daarom worden in deze paragraaf alleen de eisen gepresenteerd die horen bij de huidige normen uit de Waterwet en de verwachte nieuwe overstromingskansnormen.

#### Betrouwbaarheidseisen overloop/overslag Waterwet

De overschrijdingskansnorm voor dijkkring 14 is 1/10.000 per jaar. Volgens de Leidraad Kunstwerken (TAW, 2003) mag de kans op overschrijding van het kombergend vermogen door overloop/golfoverslag niet groter zijn dan 1/10.000 per jaar.

#### Betrouwbaarheidseisen overloop/overslag bij verwachte toekomstige normen waterveiligheid

De normspecificatie voor traject 14-2 uit DP2015 is 1/10.000 per jaar. Uitgaande van de default-faalruimtefactor voor overloop/golfoverslag uit Deltares (2013) voor het WT2017 ( $f = 0,24$ ) en de lengte-effectfactor voor golfoverslag uit het OI2014 ( $N = 2$ ) volgt als maximaal toelaatbare faalkans voor overloop/golfoverslag ( $P_{eis,ht}$ ):

$$P_{eis,ht} = \frac{f \cdot P_{\max}}{N} = \frac{0,24 \cdot 2 \cdot 1/10.000}{2} = 1/42.000 \text{ per jaar}$$

Deze faalkanseis moet worden betrokken op de kans dat er ten gevolge van overloop/overslag bij de Blankenburgverbinding een overstroming optreedt.

## 5 Beoordeling van de kans op falen

In dit hoofdstuk wordt de praktische betekenis van de faalkanseisen uit hoofdstuk 4 verkend. Er wordt toegelicht of er vanuit de Waterwet aanvullende eisen gesteld moeten worden aan de (hoog)waterkerende onderdelen van de Blankenburgverbinding, wanneer deze zonder kanteldijk wordt aangelegd.

Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud

### 5.1 Beoordeling van de kans op constructief falen

De Blankenburgverbinding zal minimaal aan de betrouwbaarheidseisen voor CC3 uit het Bouwbesluit dienen te voldoen (zie hoofdstuk 4). Om te beoordelen of de Blankenburgverbinding aan deze eis voldoet, zullen betrouwbaarheidsanalyses nodig zijn, ongeacht de vraag of een kanteldijk wordt aangelegd. In deze paragraaf wordt alleen bekeken of er vanuit de Waterwet *aanvullende* eisen gesteld zouden moeten worden aan de constructieve veiligheid van de Blankenburgverbinding als deze zonder kanteldijk wordt aangelegd.

De betrouwbaarheidseisen uit het Bouwbesluit en de Waterwet zijn voor verschillende referentieperiodes gedefinieerd. Voor een directe getalsmatige vergelijking van de faalkanseisen uit hoofdstuk 4 zullen de eisen eerst naar dezelfde referentieperiodes vertaald moeten worden.

Bij ernstige degradatie zou de kans per jaar op constructief falen kunnen toenemen tot boven de gemiddeld toelaatbare faalkans per jaar volgens het Bouwbesluit. De faalkans mag in een aangesloten periode van 10 jaar echter nooit groter worden dan  $1/120.000$ . Dat is namelijk de faalkanseis voor de *gehele* referentieperiode van 100 jaar. Zowel bij de vigerende normen uit de Waterwet als de verwachte nieuwe normen is de maximaal toelaatbare kans op een overstroming door het constructief falen van de Blankenburgverbinding voor een aaneengesloten periode van 10 jaar  $1/100.000$ . Dit is een grotere kans dan  $1/120.000$ . Kortom: als de Blankenburgverbinding zonder kanteldijk wordt ontworpen conform CC3 uit het Bouwbesluit, dan is het onnodig om aanvullende eisen te stellen aan de constructieve veiligheid van de tunnel en de (hoog)waterkerende wanden langs de toeritten.

De bovenstaande conclusie is robuust, gelet op de uitgangspunten waarop de vergelijking van de faalkanseisen uit het Bouwbesluit en de Waterwet berust:

1. De onzekere sterkte van de constructieonderdelen van de Blankenburgverbinding is in de tijd sterk gecorreleerd en het aandeel van de statische belasting aan de totale belasting is relatief groot. Dit betekent dat de faalkans (formeel: het faaltempo) aanvankelijk sterk zal dalen. Zo zal de berekende kans op het constructief falen van een tunnelelement direct na het afzinken veel kleiner zijn dan daarvoor. Na het afzinken is het namelijk zeker dat het element 20m waterkolom kan dragen, terwijl dit daarvoor nog onzeker was. In de aanlegfase zal een tijdelijke kanteldijk aanwezig zijn. Wanneer deze wordt verwijderd en de tunnel de hoogwaterkerende functie gaat vervullen, zal de faalkans al sterk zijn afgenomen.
2. De faalkans van een constructie wijkt in de praktijk vaak in gunstige zin af van de maximaal toelaatbare faalkans als gevolg van uitvoeringstechnische overwegingen (bijv. standaardafmetingen, repetitie, ruimtes voor uitsparingen, bijzondere belastingen tijdens de bouwfase) en het gebruik van semi-probabilistische ontwerpregels (veiligheidsfactoren die breed toepasbaar zijn, zijn soms feitelijk te streng). Dergelijke effecten kunnen in de praktijk gemakkelijk leiden tot faalkansen die één of meer ordegrottes kleiner zijn dan de faalkanseisen. Dit komt mede door de sterk niet-lineaire relatie tussen bijvoorbeeld een wanddikte en de faalkans van de wand.

3. Lang niet elk faalgeval in de zin van het Bouwbesluit is een faalgeval in de zin van de Waterwet. Er is alleen sprake van een faalgeval in de zin van de Waterwet als er uiteindelijk sprake is van een overstroming. Daar kan pas sprake van zijn bij een omvangrijk gat in de tunnel of het bezwijken van de overige constructie-onderdelen bij hoogwater.
4. De faalkanseis bij de verwachte nieuwe overstromingskansnorm berust op een bovengrensschatting van het lengte-effect binnen traject 14-2. Vermoedelijk is sprake van een marge van ongeveer een factor 4, zie daarvoor paragraaf 4.2.

### 5.2 Beoordeling van de kans op onder- of achterloopsheid

Als de aansluit-/overgangsconstructies van de Blankenburgverbinding worden ontworpen conform CC3 uit het Bouwbesluit, dan is het onnodig om aanvullende eisen te stellen vanuit de Waterwet, zowel bij de vigerende als de verwachte toekomstige normen. Voor onder- en achterloopsheid geldt hetzelfde als voor constructief falen, al is de correlatie in het tijdsdomein bij dit faalmechanisme relatief zwak omdat dit faalmechanisme alleen bij een extreem hoogwater voor kan komen. Gelet op de hoge kosten om in een later stadium nog aanvullende voorzieningen tegen onder- of achterloopsheid te treffen is het gangbaar om aansluit- en overgangsconstructies zodanig uit te voeren dat falen door onder- of achterloopsheid praktisch is uitgesloten.

### 5.3 Beoordeling kans op falen door overloop of golfoverslag

In paragraaf 4.4 zijn faalkanseisen voor overloop/golfoverslag gepresenteerd voor de Blankenburgverbinding. In deze paragraaf worden deze eisen vergeleken met de kans op een overstroming door overloop/golfoverslag bij de wanden langs de toeritten van de Blankenburgverbinding.

De uitgevoerde berekeningen berusten op de volgende uitgangspunten:

1. De kerende hoogte van de waterkerende wanden bij de toeritten is aan de noordzijde NAP+5,5m. Aan de zuidzijde is de kerende hoogte gelijk aan de hoogte van het huidige maaiveld (ca. NAP+5m).
2. Er zal sprake moeten zijn van een significant instroomdebiet voordat het kombergend vermogen van de tunnel en het achterland zal worden overschreden. Aangenomen dat de tunnel zich vult en het kombergend vermogen wordt overschreden zodra de buitenwaterstand hoger is dan NAP+6m. Dit is een voorzichtige benadering. De instroom is in deze situatie namelijk nog zeer beperkt.
3. Het toetspeil, een waterstand met een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar, bedraagt ca. NAP+3.40m-NAP+3,45m (bron: CR2011, zie Witteveen+Bos, 2014). Uitgegaan is van NAP+3,45m (behoudende benadering).
4. De decimeringhoogte achter de Maeslantkering is ca. 0,44m (bron: CR2011, zie Witteveen+Bos, 2014).
5. De invloed van model- en statistische onzekerheden op het MHW is geraamd op 0,3 en 0,6m (HKV, 2010; Deltares, 2014). Vanuit een behoudende benadering wordt uitgegaan van een effect van 0,6m.
6. Het effect van klimaatverandering op de gemiddelde zeewaterstand volgens de Deltascenario's ligt tussen 35 en 85 cm voor een periode van 100 jaar. Hier is ook achter de Maeslantkering (vermoedelijk conservatief) uitgegaan van deze waterstandstoename. Bij het ontwerp wordt standaard (robuust) uitgegaan van het W+ scenario (85 cm).
7. De staart van de waterstandverdeling wordt exponentieel verondersteld, zodat de decimeringhoogte bij elke overschrijdingskans dezelfde blijft. Er is geen fysisch maximum verondersteld aan de mogelijke waterstanden.

De bovenstaande uitgangspunten leveren in combinatie met elkaar een zeer behoudende (conservatieve) inschatting op van de kans op een overstroming door

overloop/overslag.

Bij de bovenstaande uitgangspunten is de kans op een waterstand hoger dan NAP+5,5m over 100 jaar  $1/230.000$  per jaar. Bij een kerende hoogte van NAP+5,5m wordt dus ruimschoots voldaan aan de faalkanseisen van  $1/10.000$  en  $1/42.000$  per jaar uit paragraaf 4.4. Bij een faalkansberekening op basis van minder conservatieve uitgangspunten wordt uiteraard nog ruimer voldaan aan de faalkanseisen.

**Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud**

Bij de bovenstaande uitgangspunten is de kans op een waterstand hoger dan NAP+5m over 100 jaar  $1/17.000$  per jaar. Deze kans is groter dan de faalkanseis voor overloop/overslag van  $1/42.000$  per jaar bij de verwachte nieuwe norm voor traject 14-2. Hierbij moet wel worden bedacht dat het gaat over een overschrijding met slechts een factor 2,4 bij een faalkansberekening die berust op behoudende uitgangspunten. Om elke twijfel weg te nemen zou kunnen worden overwogen om aan de zuidzijde ook een kerende hoogte van NAP+5,5m te realiseren, door de kerende wanden te verhogen of een grondlichaam rond de toerit aan te leggen.

## 6 Conclusies

De conclusies van de uitgevoerde studie zijn als volgt:

1. Zowel volgens de huidige norm uit de Waterwet als de verwachte nieuwe norm (normspecificatie DP2015) dient de kans op een overstroming door het constructief falen van de Blankenburgverbinding kleiner te zijn dan  $10^{-6}$  per jaar of  $10^{-5}$  in een aaneengesloten periode van 10 jaar. Hetzelfde geldt voor de kans op een overstroming ten gevolge van onder- of achterloopsheid.
2. Als de Blankenburgverbinding wordt ontworpen conform de zwaarste gevolgklasse uit het Bouwbesluit (CC3), dan wordt zeker voldaan aan de faalkanseisen voor constructief falen en onder- of achterloopsheid uit de Waterwet, bij zowel de huidige als de verwachte norm. Het is bij een ontwerp zonder kanteldijk onnodig om aanvullende constructieve eisen te stellen.
3. Bij het constructief ontwerp van de Blankenburgverbinding zou rekening gehouden moeten worden met uitgesproken seriesysteemgedrag bij het bepalen van de betrouwbaarheidseisen aan constructie-onderdelen. Dit staat los van de vraag of de Blankenburgverbinding met of zonder kanteldijk wordt aangelegd.
4. Als de Blankenburgverbinding zonder kanteldijk wordt aangelegd, dan is de kans op een overstroming door overloop of overslag van de wanden langs de noordelijke toerit (kerende hoogte NAP+5,5m) ruimschoots kleiner dan de faalkanseisen uit de Waterwet, zowel bij de huidige als de verwachte nieuwe normen, ook over 100 jaar. De kans op een overstroming door overloop van het maaiveld (NAP+5m) langs de zuidelijke toerit is over 100 jaar mogelijk groter dan vereist is volgens de verwachte nieuwe normen. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de uitgevoerde faalkansberekening op zeer behoudende (conservatieve) uitgangspunten berust. Elke twijfel zou kunnen worden weggenomen door aan de zuidzijde dezelfde kerende hoogte te realiseren (en juridisch te borgen) als aan de noordzijde (NAP+5,5m).

**Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud**

## Referenties

DP (2015). Deltaprogramma 2015. Werk aan de delta. De beslissingen om Nederland veilig en leefbaar te houden. Uitgave van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu en het Ministerie van Economische Zaken.

Ontwerp Nationaal Waterplan, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag, december 2014

**Rijkswaterstaat Grote  
Projecten en Onderhoud**

Deltares (2013). Kalibratie van semi-probabilistische toetsvoorschriften. Algemeen gedeelte. 1207803-003-GEO-0003. 9 December 2013.

Deltares (2014). Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden ten behoeve van nHWBP 2014 projecten. 1208992-000-HYE-0008. Versie 5. 26 Augustus 2014.

HKV (2010). Effect onzekerheden op de hydraulische randvoorwaarden.

RWS (2009). Leggerdocumentatie Dijkkringverbindende Waterkering Europoort/Hartelkering. Rijkswaterstaat Zuid-Holland, Waterdistrict Nieuwe Waterweg. DZH-ARN-2009.01202.9 Juli 2009.

TAW, 2003. Leidraad Kunstwerken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Mei 2003.

VNK2 (2010). Overstromingsrisico dijkkring 14 Zuid-Holland. Veiligheid Nederland in Kaart 2. Projectbureau VNK2. HB 1199420. December 2010.

Witteveen+Bos (2014). Toepasbaarheidstoets CR2011 Decimeringshoogtes. Referentie RW1963-1/13-001.278.