

Opdrachtgever: **Rijkswaterstaat**

Gevolgberekening falen Blankenburgtunnel



Opdrachtgever: **Rijkswaterstaat**

Gevolgberekening falen Blankenburgtunnel



Auteurs
C. Vermeulen
S. Mühle

Inhoud

Lijst van tabellen	iii
Lijst van figuren	v
1 Inleiding	1
1.1 Doelstelling	2
1.2 Leeswijzer	2
2 Werkwijze.....	3
2.1 Overstromingsberekeningen	3
2.2 Schadeberekeningen.....	4
3 Resultaten	5
3.1 Waterstand op de Nieuwe Waterweg 0,13 mNAP	5
3.2 Waterstand op de Nieuwe Waterweg 1,50 mNAP	9
3.3 Waterstand op de Nieuwe Waterweg 2,37 mNAP	13
4 Conclusies en aanbevelingen	19
Bijlage A: Instroomdebieten	23

Lijst van tabellen

Tabel 1:	Minimale en maximale debieten ten opzichte van gekozen waterstanden.	4
Tabel 5:	Samenvatting maximale economische schade in verschillende scenario's.	19
Tabel 6:	Instroomdebiet dijkkring 14.	23
Tabel 7:	Samenvatting parameters.	26
Tabel 8:	Waterstandstatistiek Het Scheur.	28

Lijst van figuren

Figuur 1:	Blankenburgverbinding (bron: http://www.blankenburgverbinding.nl).....	1
Figuur 2:	Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbuis (waterstand is 0,13 mNAP, debiet is 101 m ³ /s).	6
Figuur 3:	Resultaten overstromingsberekeningen debiet na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbuis (waterstand is 0,13 mNAP, debiet is 1.035 m ³ /s).	7
Figuur 4:	Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen waarbij de tunnelbuis na 24 uur wordt afgesloten (waterstand is 0,13 mNAP, debiet is 101 m ³ /s).	8
Figuur 5:	Resultaten schadeberekeningen voor waterstand 0,13 mNAP.....	9
Figuur 6:	Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbuis (waterstand is 1,50 mNAP, debiet is 131 m ³ /s).	10
Figuur 7:	Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbuis (waterstand is 1,50 mNAP, debiet is 1.339 m ³ /s).....	11
Figuur 8:	Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen waarbij de tunnelbuis na 24 uur wordt afgesloten (waterstand is 1,50 mNAP, debiet is 131 m ³ /s).	12
Figuur 9:	Resultaten schadeberekeningen voor waterstand 1,50 mNAP.....	13
Figuur 10:	Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbuis (waterstand is 2,37 mNAP, debiet is 146 m ³ /s).	14
Figuur 11:	Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbuis (waterstand is 2,37 mNAP, debiet is 1.501 m ³ /s).....	15
Figuur 12:	Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen waarbij de tunnelbuis na 24 uur wordt afgesloten (waterstand is 2,37 mNAP, debiet is 146 m ³ /s).	16
Figuur 13:	Resultaten schadeberekeningen voor waterstand 2,37 mNAP.....	17
Figuur 14:	Instroomdebiet dijkkring 14 als functie van de grootte van het gat.	23
Figuur 15:	Zijaanzicht Blankenburgtunnel (inclusief kanteldijk aan de noordzijde) met hydraulische berekeningspunten.	25

1 Inleiding

De Blankenburgtunnel loopt onder het Scheur (Nieuwe Waterweg) en is onderdeel van een nieuw stuk weg dat de A20 tussen Vlaardingen en Maassluis verbindt met de A15 ten oosten van Rozenburg (Figuur 1). De Blankenburgtunnel is naar verwachting in 2022 gereed.



Figuur 1: Blankenburgverbinding (bron: <http://www.blankenburgverbinding.nl>)

De aansluiting van de tunnel met de A20 is vanwege de benodigde hoogte van de kantdijk een knelpunt. Overwogen wordt om de kantdijk te laten vervallen en de tunnel, door de primaire kering heen, te laten aansluiten op het maaiveld. Omdat de waterstanden op de Nieuwe Waterweg hoger liggen dan het maaiveld van dijkkring 14 zal bij falen van de tunnel dijkkring 14 overstromen.

Rijkswaterstaat heeft aan HKV gevraagd indicatief de gevolgen van falen van de Blankenburgtunnel te berekenen als aan de noordzijde (bij dijkkring 14) geen kantdijk wordt gerealiseerd. Gevraagd wordt de omvang van de overstroming van dijkkring 14 in beeld te brengen met de verwachte schade en slachtoffers als gevolg van de overstroming.

Het onderzoek biedt inzicht in de gevolgen van de overstroming van dijkkring 14 bij falen van de Blankenburgtunnel op basis van de gehanteerde uitgangspunten in de studie. Belangrijke keuzen hierin zijn de mate waarin de tunnel faalt (waarvoor een onder- en bovengrens wordt gehanteerd) en de waterstand op de Nieuwe Waterweg.

1.1 Doelstelling

Doel van het onderzoek is indicatief de overstromingsschade te kwantificeren bij falen van de tunnelbuis van de Blankenburgverbinding als deze zonder kanteldijk aan de zijde van dijkkring 14 wordt aangelegd.

1.2 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk wordt de werkwijze van het onderzoek beschreven en in hoofdstuk 3 de resultaten van de overstromings- en gevolgberekeningen.

Hoofdstuk 4 geeft de conclusies en aanbevelingen.

Bijlage A beschrijft de achtergronden bij het afleiden van de instroomdebieten in dijkkring 14 als gevolg van falen van de Blankenburgtunnel.

2 Werkwijze

In het onderzoek naar de gevolgschade bij falen van de Blankenburgtunnel zonder kanteldijk zijn allereerst de instroomdebieten in dijkkring 14 berekend in geval de tunnel faalt. Deze instroomdebieten opgelegd aan het overstromingsmodel van dijkkring 14. Hiervoor is gebruik gemaakt van het overstromingsmodel van de provincie Zuid-Holland (Randstadmodel). De economische gevolgen zijn berekend voor het jaar 2015 met de schade- en slachtoffermodule HIS-SSM (versie 2.5).

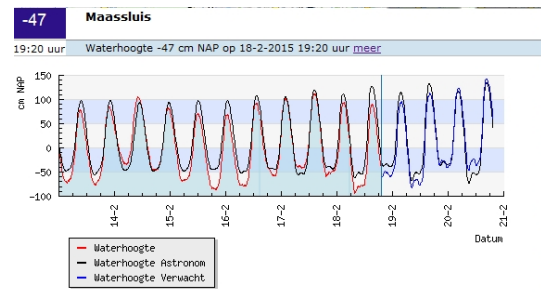
2.1 Overstromingsberekeningen

In het overstromingsmodel is een bres gemodelleerd op de locatie waar de Blankenburgtunnel uitkomt in dijkkring 14. Het maximale oppervlak van de tunnelbuizen is 164 m²; dit oppervlak is de beperkende factor voor het debiet dat bij falen de dijkkring kan instromen. Een andere belangrijke factor voor het instroomdebiet in dijkkring 14 is het hoogteverschil tussen de Nieuwe Waterweg en het maaiveld (plus overstromingsdiepte). De maaiveldhoogte bij de uitgang van de tunnel is -1,90 mNAP. De overstromingsscenario's zijn gebaseerd op drie waterstanden op de Nieuwe Waterweg, te weten:

- NAP+0,13m (maximale waterstand onder dagelijkse omstandigheden);
- NAP+1,50m (maximale waterstand, treedt circa tweemaal per jaar op);
- NAP+2,37m (maximale waterstand, treedt circa eens per jaar op).

In de berekeningen wordt een constante waterstand op de Nieuwe Waterweg gehanteerd. Op de Nieuwe Waterweg is er getijd-invloed. Zie figuur hiernaast ter illustratie.

Als de *gemiddelde* waterstand 0,13 mNAP is, dan is de piekwaterstand dus hoger.



Waterstanden van 1,50 mNAP en 2,37 mNAP komen uitsluitend voor in combinatie met waterstandsverhoging door windinvloeden (windopzet), zeker als dit als gemiddelde waterstand over een aantal dagen wordt genomen. De duur van windopzet is orde anderhalve dag. De windopzet moet voor de drie of vijf dagen instroomdebieten extreem zijn om de gemiddelde waterstanden te realiseren. De hoge gemiddelde waterstanden representeren daarmee extreme gebeurtenissen op de Nieuwe Waterweg (met andere woorden: deze komen heel weinig voor). Daarnaast is de kans op falen van de Blankenburgtunnel erg klein (orde 10⁻⁸ per jaar). De kans dat de tunnel faalt op hetzelfde moment dat er sprake is van hoge waterstanden op de Nieuwe Waterweg is extreem klein, vele ordes kleiner dan de kans op het falen van een primaire waterkering langs dijkkring 14 onder hoogwatersituaties.

Voor deze waterstanden zijn maximale en minimale debieten voor de instroom in dijkkring 14 berekend. Het maximale debiet treedt in geval het gat in de tunnelbuis zo groot is dat de instroom in dijkkring 14 wordt bepaald door de tunnelbuis zelf (het oppervlak van de doorsnede van de tunnelbuis). Bij het minimale debiet wordt de instroom in dijkkring 14 bepaald door de instroom vanuit de Nieuwe Waterweg in de tunnel (relatief klein gat in de tunnelbuis), waarbij aangenomen is dat dit 'gat' 10% van het oppervlak van de doorsnede van de tunnelbuis is. Een overzicht van de instroomdebieten is opgenomen in onderstaande Tabel 1. Voor achtergronden bij de waterstanden en afvoeren wordt verwezen naar Bijlage A.

Waterstand Nieuwe Waterweg [mNAP]	Instroomdebiet dijkkring 14	
	Maximaal debiet [m ³ /s]	Minimaal debiet [m ³ /s]
0,13	1.035	101
1,50	1.339	131
2,37	1.501	146

Tabel 1: Minimale en maximale debieten ten opzichte van gekozen waterstanden

In de overstromingsberekeningen is het instroomdebiet afhankelijk gesteld van het hoogteverschil tussen de Nieuwe Waterweg en de waterdiepte in dijkkring 14 ter plaatse van de tunneluitgang.

De overstromingsberekening is uitgevoerd voor een periode van 5 dagen. De gevolgen van falen van de tunnel worden beoordeeld na 1, 3 en 5 dagen na falen van de tunnel.

Voor elke waterstand op de Nieuwe Waterweg is een berekening uitgevoerd met een minimaal instroomdebiet en met een maximaal instroomdebiet in dijkkring 14. Om uit te sluiten dat water eenmaal in het gebied doorstroomt naar lager gelegen delen van de dijkkring en daarmee de schade significant laat toenemen is ook een berekening uitgevoerd waarbij er gedurende een periode van één dag water in dijkkring 14 stroomt. Hierbij is aangenomen dat de tunnelbuis na 24 uur kan worden afgesloten. In totaal worden dus negen scenario's bekeken (drie waterstanden met elk drie instroomdebieten).

2.2 Schadeberekeningen

Per scenario zijn de gevolgen in termen van schade en slachtoffers berekend met de schade- en slachtoffermodule HIS-SSM (versie 2.5). De economische gevolgen zijn berekend voor het jaar 2015, waarbij een inflatiecijfer van 2% per jaar is gehanteerd.

HIS-SSM maakt in de berekening van het slachtofferaantal gebruik van slachtofferfuncties die gebaseerd zijn op overstromingen in winterperioden en worden veroorzaakt door het falen van primaire waterkeringen. Voor de situatie van de Blankenburgtunnel geldt dat falen van de tunnel het gehele jaar kan optreden en de overlevingskansen bij overstromingen in bijvoorbeeld de zomer zijn beter dan in de winter. Daarnaast worden de scenario's langs de kust gekenmerkt door extreme weersituaties die impliciet in de slachtofferfuncties zijn meegenomen. Dit betekent dat HIS-SSM een inschatting geeft van de bovengrens van het verwachte aantal slachtoffers. Daarnaast is in de berekening aangenomen dat er geen evacuatie plaatsvindt. Deze aanname is gedaan omdat een evacuatie vaak wordt ingegeven door extreme weersomstandigheden en in het geval van de Blankenburgtunnel is er geen directe correlatie tussen extreem weer en het falen van de tunnel.

De schade is bepaald op basis van de berekeningsresultaten op 1, 3 en 5 dagen na falen van de tunnel. De berekening van de schade na 1 dagen en na 3 dagen is op basis van de berekende waterdiepten in dijkkring 14 na 1 dag (respectievelijk 3 dagen). De schade na 5 dagen is berekend op basis van de maximale waterdiepte over de gehele periode van 5 dagen.

In landelijke gebieden kan het voorkomen dat er wel sprake is van overstroming, maar dat er geen schade wordt berekend.

3 Resultaten

In de volgende paragrafen zijn de resultaten van de overstromingsberekeningen en de schadeberekeningen per waterstand op de Nieuwe Waterweg getoond. Per paragraaf worden eerst de situaties met het minimale instroomdebiet en het maximale instroomdebiet gepresenteerd, waarbij aangenomen wordt dat de tunnelbuis niet wordt gesloten. Daarna wordt de situatie gepresenteerd waarin wordt aangenomen dat de tunnelbuis na 24 uur is gesloten en er geen water de dijkkring meer instroomt. De paragraaf wordt afgesloten met de schade- en slachtoffers voor de beschouwde situaties.

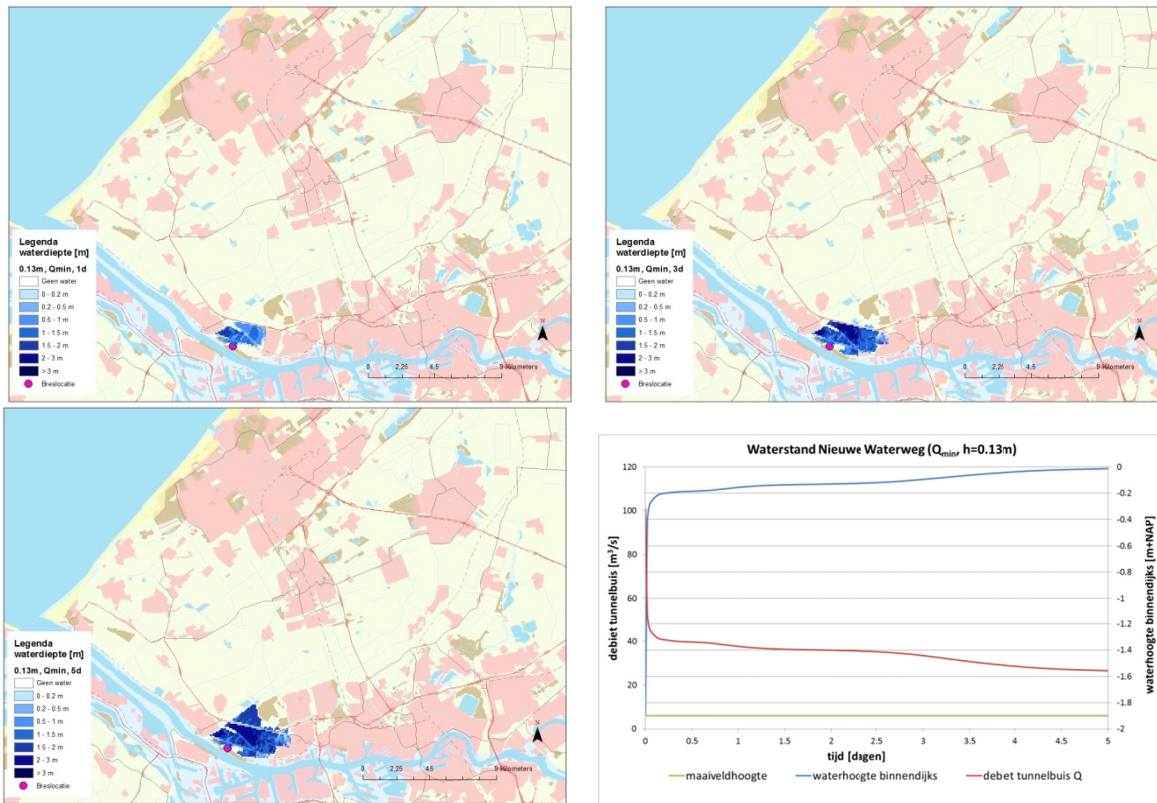
3.1 Waterstand op de Nieuwe Waterweg 0,13 mNAP

In de berekeningen wordt een constante waterstand op de Nieuwe Waterweg gehanteerd. Op de Nieuwe Waterweg is er getij-invloed. Rekening houdend met een getijamplitude van driekwart meter heeft een *gemiddelde* waterstand van 0,13 mNAP een piekwaterstand van circa 0,88 mNAP. Een dergelijke situatie komt 3 tot 4 maal per jaar voor.

3.1.1 Minimaal instroomdebiet

Na falen van de Blankenburgtunnel loopt de waterstand in het gebied direct aan de uitgang van de tunnel snel vol en wordt daarbij in eerste instantie begrensd door de A20. Bij toenemende waterdiepte stroomt het water eerst in oostelijke richting en na verloop van tijd stroomt het over de A20 naar het noorden.

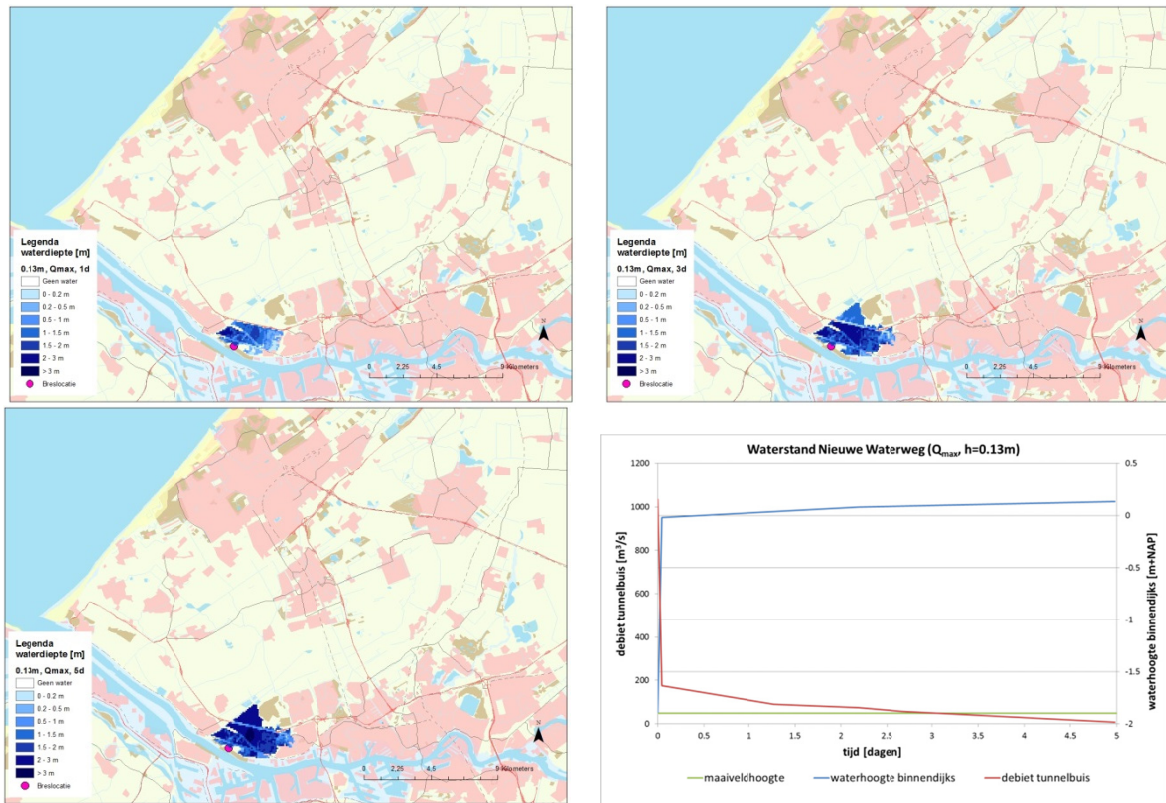
Doordat het gebied direct aan de uitgang van de tunnel volstroomt neemt het hoogteverschil met de waterstand op de Nieuwe Waterweg af. Het instroomdebiet in dijkkring 14 loopt van 103 m³/s terug tot circa 40 m³/s. In de dagen daarna neemt het instroomdebiet gestaag af doordat de waterdiepte bij de uitgang van de tunnel toeneemt. Het verloop van waterhoogte binnendijks (bij de tunnel uitgang) en het instroomdebiet in dijkkring 14 wordt weergegeven in Figuur 2 (rechtsonder).



Figuur 2: Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbus (waterstand is 0,13 mNAP, debiet is 101 m³/s)

3.1.2 Maximaal instroomdebiet

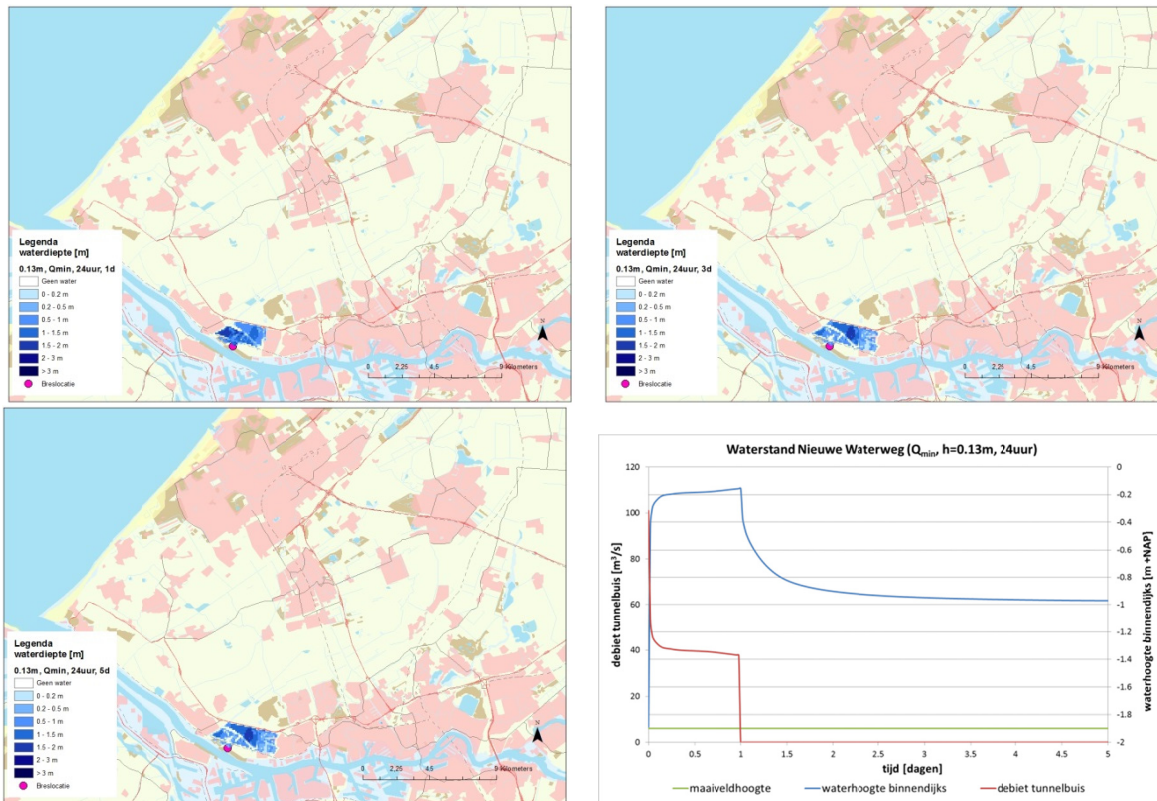
Het overstromingspatroon bij het maximale instroomdebiet is vergelijkbaar met de eerdere situatie. Het maximale instroomdebiet (gehele oppervlak van de tunnelbuizen) loopt binnen een uur terug van 1.060 m³/s tot circa 100 m³/s (10% van het maximaal mogelijke instroomdebiet). In de dagen daarna neemt het instroomdebiet verder af als gevolg van de toenemende waterdiepte. De waterhoogte bij de tunneluitgang loopt op tot boven NAP waardoor het waterstandsverschil minimaal wordt. Het verloop van waterhoogte binnendijks en het instroomdebiet in dijkkring 14 wordt weergegeven in Figuur 3 (rechtsonder).



Figuur 3: Resultaten overstromingsberekeningen debiet na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbuis (waterstand is 0,13 mNAP, debiet is 1.035 m³/s)

3.1.3 Afsluiten tunnelbuis na 24 uur

Als de tunnel na 24 uur wordt gesloten verspreidt het water zich in oostelijke richting naar het stedelijk gebied van Vlaardingen (kaartjes in Figuur 4). De waterdiepte bij de uitgang van de tunnel neemt na het sluiten van de tunnel af tot circa 1 meter. Het verloop van waterstand binnendijks en het instroomdebiet in dijkkring 14 is weergegeven in Figuur 4 (rechts onder).



Figuur 4: Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen waarbij de tunnelbuis na 24 uur wordt afgesloten (waterstand is 0,13 mNAP, debiet is 101 m³/s)

3.1.4 Schade en slachtoffers

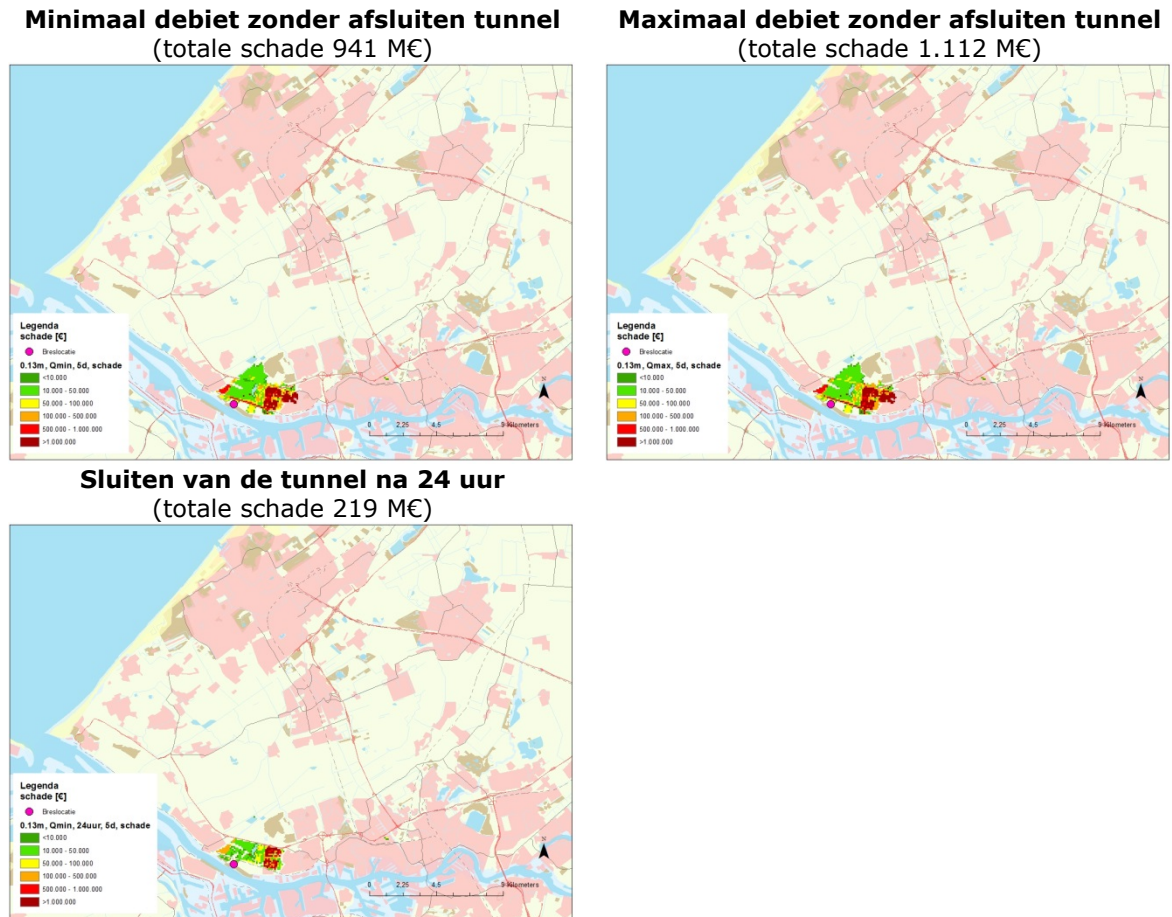
De verwachte schade en slachtoffers van overstroming door falen van de Blankenburgtunnel is weergegeven in Tabel 2. De verwachte slachtofferaantallen na 3 en 5 dagen zijn een overschatting omdat in de berekening geen rekening gehouden is met een evacuatie van bedreigde gebieden.

Tijdstip	Minimaal debiet (101 m ³ /s)		Maximaal debiet (1.035 m ³ /s)		Minimaal debiet gedurende 24 uur	
	Schade [M€]	slachtoffers	Schade [M€]	slachtoffers	Schade [M€]	slachtoffers
Na 1 dag	39	< 5	261	15	39	< 5
Na 3 dagen	720	55	970	75	206	10
Na 5 dagen	941	75	1.112	90	219	10

Tabel 2: Berekende schade bij falen van de tunnel voor verschillende scenario's (waterstand Nieuwe Waterweg is 0,13 mNAP)

Doordat het water na het afsluiten van de tunnel zich verplaatst naar het stedelijk gebied van Vlaardingens neemt de schade met een factor 5 toe.

Figuur 5 toont de resultaten van de schadeberekeningen voor een waterstand van 0,13 mNAP op de Nieuwe Waterweg en verschillende instroomdebieten. Per situatie is boven de figuur de maximale schade aangegeven (zie ook Tabel 2).



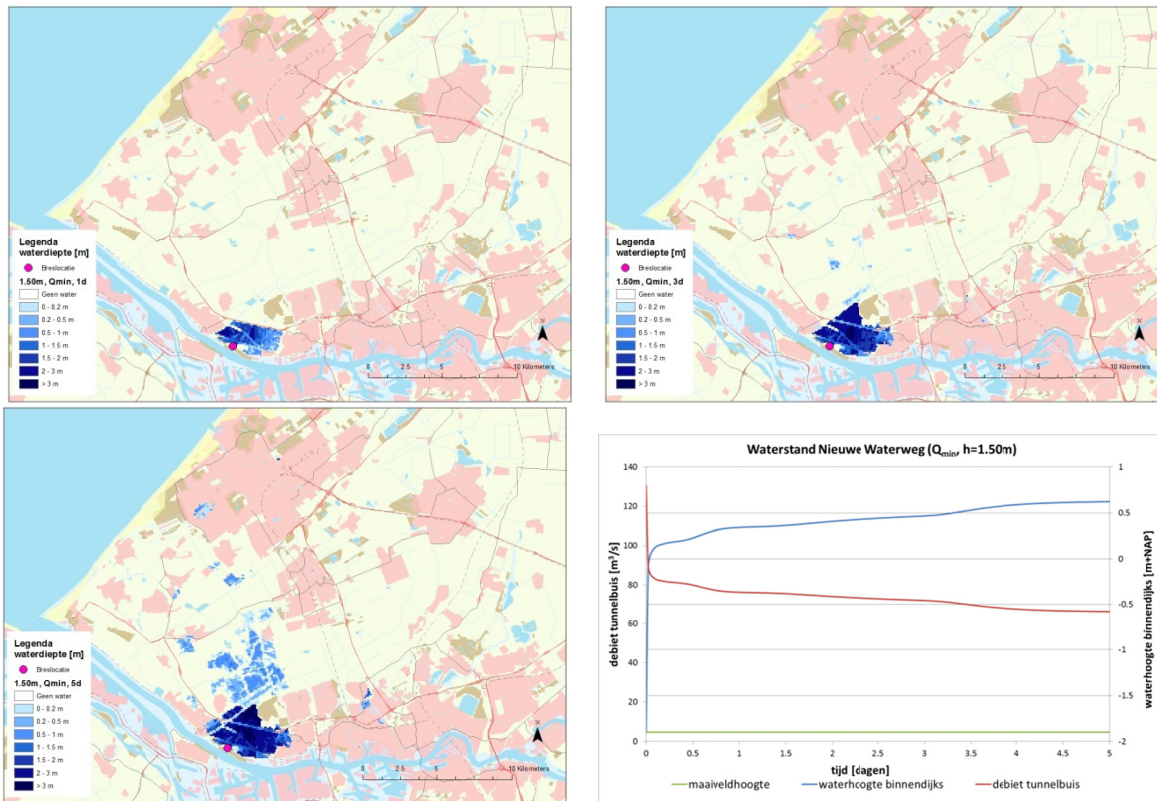
Figuur 5: Resultaten schadeberekeningen voor waterstand 0,13 mNAP

3.2 Waterstand op de Nieuwe Waterweg 1,50 mNAP

In de berekeningen wordt een constante waterstand op de Nieuwe Waterweg van 1,50 mNAP gehanteerd. Deze waterhoogte treedt alleen op in combinatie met waterstandsverhoging door windinvloeden (windopzet). De duur van windopzet is orde anderhalve dag. De benodigde windopzet om een piekwaterstand van 1,50 mNAP te realiseren is ruim een halve meter. Een gemiddelde waterstand van 1,50 mNAP over 5 dagen betekent een extremere windopzet. Een dergelijke situatie komt heel weinig voor.

3.2.1 Minimaal instroomdebiet

De overstroming vertoont hetzelfde patroon als eerder, maar door het grotere instroomdebiet in dijkkring 14 voltrekt het zich sneller. De overstroming verspreidt zich eerst over het gebied bij de tunneluitgang tot aan de A20 en stroomt dan in oostelijke richting (Vlaardingen). Na verloop van tijd stroomt het over de A20 naar het noorden en dan verspreidt het water zich ook via de watergangen in het gebied. Dit is zichtbaar in de kaartjes van Figuur 6 in de donkerblauwe plekken in noordwestelijke richting (tot aan Den Haag).

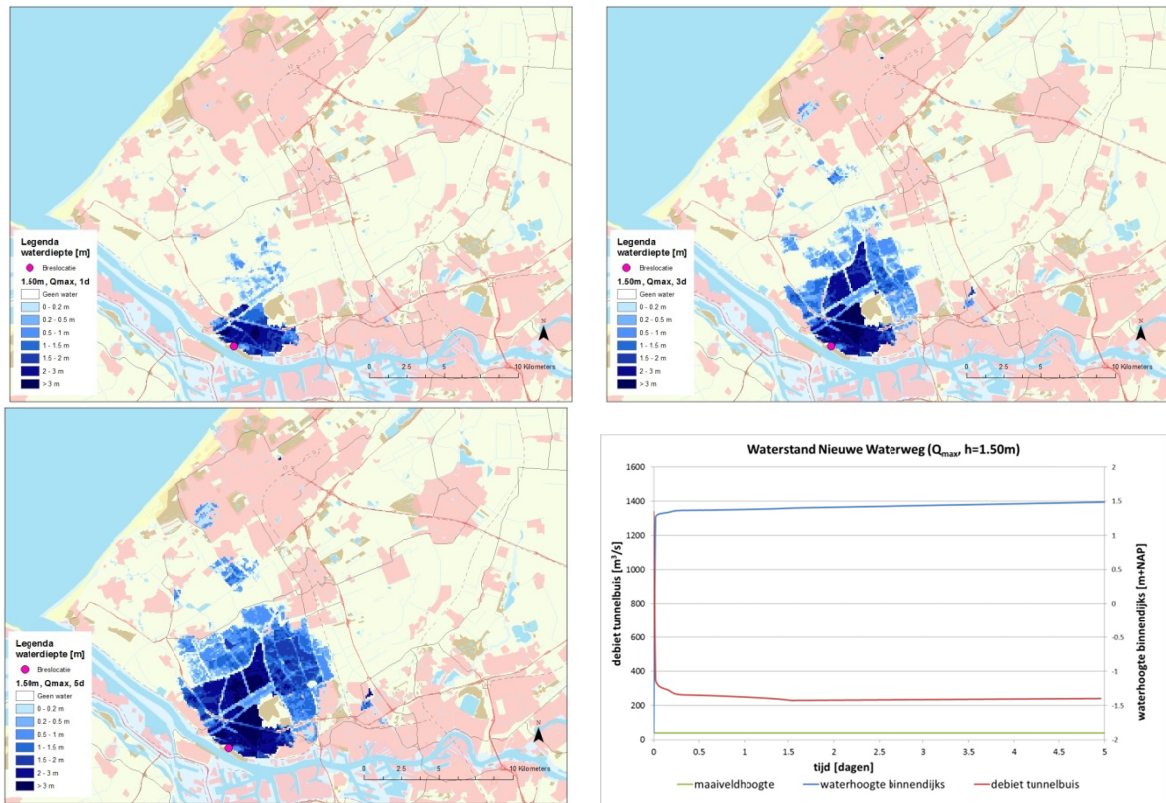


Figuur 6: Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbuis (waterstand is 1,50 mNAP, debiet is 131 m³/s)

Het instroomdebiet in dijkkring 14 loopt van 131 m³/s terug tot circa 80 m³/s. In de dagen daarna neemt het instroomdebiet gestaag af tot circa 65 m³/s. Het verloop van waterhoogte bij de tunnelbuis en het instroomdebiet in dijkkring 14 wordt weergegeven in Figuur 6 (rechtsonder).

3.2.2 Maximaal instroomdebiet

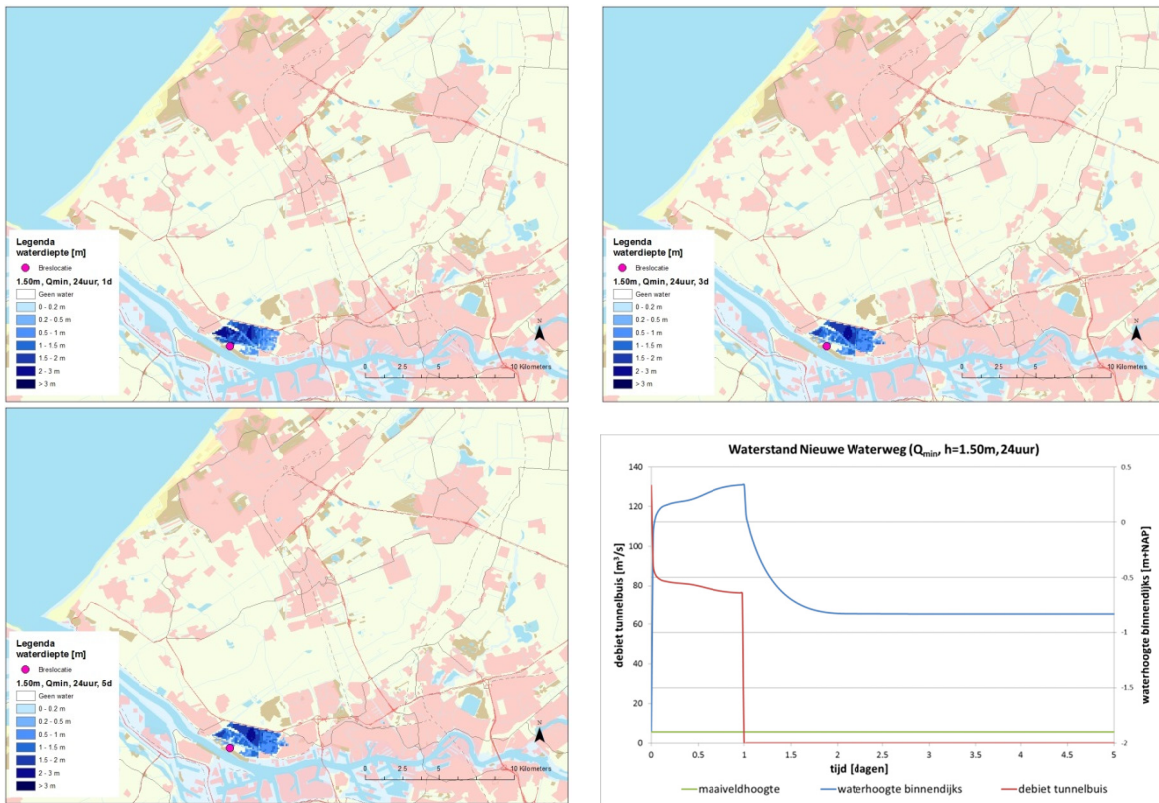
Binnen één dag is de overstroming al voorbij de A20 en lopen grote delen van het gebied tot aan Den Haag onder water. Het instroomdebiet loopt binnen een uur terug van 1.339 m³/s tot circa 350 m³/s (30% van het maximaal mogelijke instroomdebiet). In de dagen daarna neemt het instroomdebiet verder af tot ruim 200 m³/s als gevolg van de toenemende waterdiepte. De waterhoogte bij de tunneluitgang loopt op tot circa 1,50 mNAP. Het verloop van waterhoogte bij de tunnelbuis en het instroomdebiet in dijkkring 14 wordt weergegeven in Figuur 7 (rechtsonder).



Figuur 7: Resultaten overstroomingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbuis (waterstand is 1,50 mNAP, debiet is 1.339 m³/s)

3.2.3 Afsluiten tunnelbuis na 24 uur

Als de tunnel na 24 uur wordt gesloten verspreidt het water zich in de dagen daarna naar het oostelijk deel van het gebied (kaartjes in Figuur 8). De waterdiepte bij de uitgang van de tunnel neemt af tot ruim 1 meter. Het verloop van waterstanden en het instroomdebiet in dijkkring 14 is weergegeven in Figuur 8 (rechts onder).



Figuur 8: Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen waarbij de tunnelbuis na 24 uur wordt afgesloten (waterstand is 1,50 mNAP, debiet is 131 m³/s)

3.2.4 Schade en slachtoffers

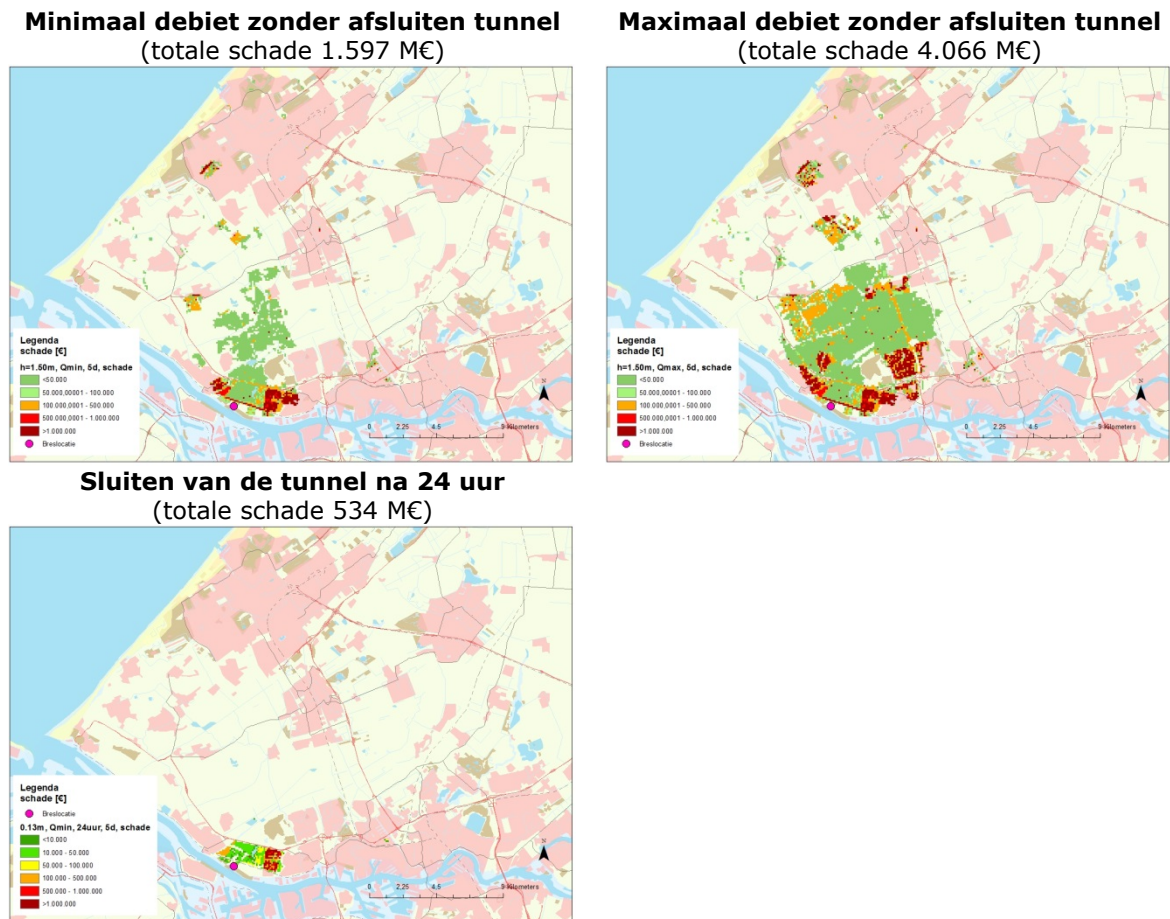
De verwachte schade en slachtoffers van overstroming door falen van de Blankenburgtunnel is weergegeven in Tabel 3. De verwachte slachtofferaantallen na 3 en 5 dagen zijn een overschatting omdat in de berekening geen rekening gehouden is met een evacuatie van bedreigde gebieden.

Tijdstip	Minimaal debiet 131 m³/s		Maximaal debiet (1.339 m³/s)		Minimaal debiet gedurende 24 uur	
	schade [M€]	slachtoffers	schade [M€]	slachtoffers	schade [M€]	slachtoffers
Na 1 dag	310	15	1.392	115	310	15
Na 3 dagen	1.117	90	2.774	230	534	35
Na 5 dagen	1.597	135	4.066	335	534	35

Tabel 3: Berekende schade bij falen van de tunnel voor verschillende scenario's (waterstand Nieuwe Waterweg is 1,50 mNAP)

Doordat het water na het afsluiten van de tunnel zich verplaatst naar het stedelijk gebied van Vlaardingen verdubbelt bijna de schade. De toename in schade is minder dan in de voorgaande situatie omdat door het grotere instroomdebiet Vlaardingen eerder bereikt wordt (en schade dus eerder optreedt).

Figuur 9 toont de resultaten van de schadeberekeningen voor een waterstand van 1,50 mNAP op de Nieuwe Waterweg en verschillende debieten.



Figuur 9: Resultaten schadeberekeningen voor waterstand 1,50 mNAP

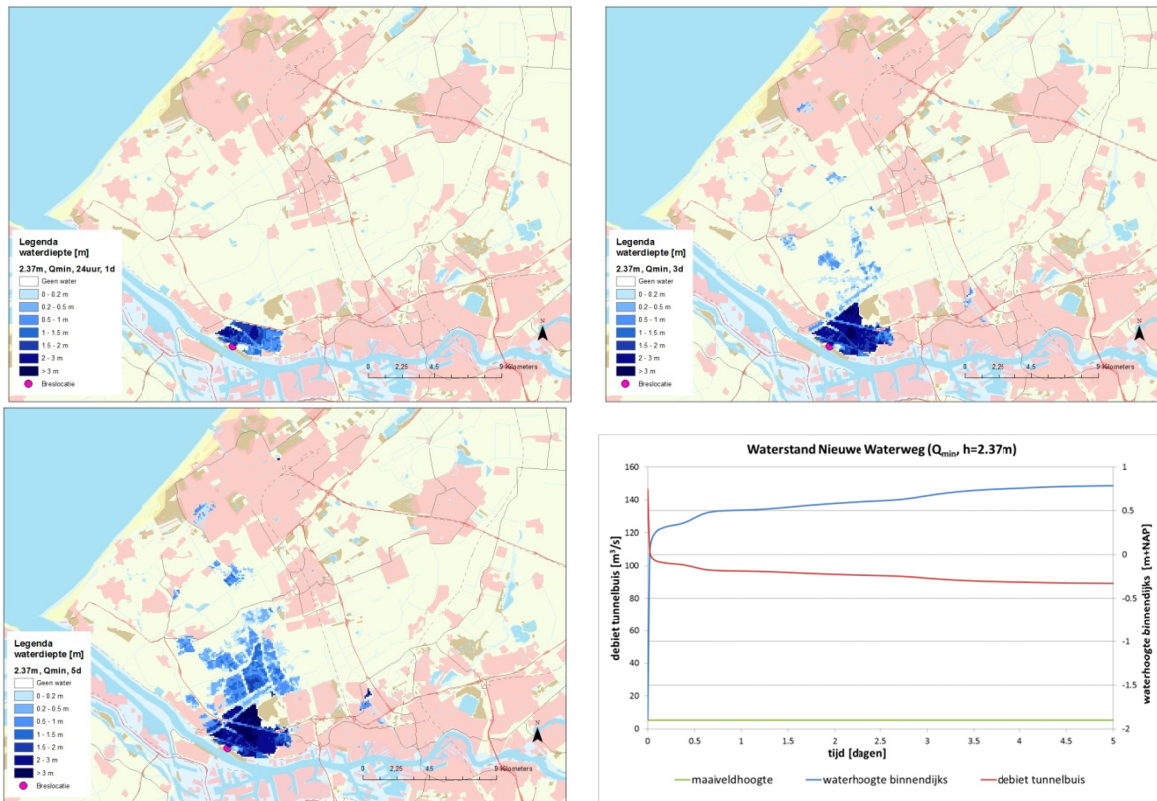
3.3 Waterstand op de Nieuwe Waterweg 2,37 mNAP

In de berekeningen wordt een constante waterstand op de Nieuwe Waterweg van 2,37 mNAP gehanteerd. Deze waterhoogte treedt alleen op in combinatie met waterstandsverhoging door windinvloeden (windopzet). De duur van windopzet is orde anderhalve dag. Een dergelijke gebeurtenis komt heel weinig voor op de Nieuwe Waterweg en betekent in ieder geval dat de Maeslantkering wordt gesloten.

3.3.1 Minimaal instroomdebiet

Net als in de vorige situatie loopt het gebied bij de uitgang van de tunnel snel vol tot aan de A20 en verplaatst zich dan in oostelijke richting. Na drie dagen is het water al ten noorden van de A20 en verspreidt het water zich ook via de watergangen in het gebied. Dit is zichtbaar in de figuur in de donkerblauwe plekken in noordwestelijke richting (tot aan Den Haag). Na vijf dagen zijn grote delen van het gebied ten zuidwesten van Delft overstroomd (kaartjes van Figuur 10).

Binnen een uur na falen van de tunnel is het instroomdebiet afgenomen van 148 m³/s tot circa 100 m³/s en loopt in de dagen daarna verder terug tot circa 90 m³/s. De waterstand bij de tunnelbuis loopt op tot circa 0,8 mNAP (waterdiepte van 1,7 meter). Het verloop van waterhoogte bij de tunnelbuis en het instroomdebiet in dijkkring 14 wordt weergegeven in Figuur 10 (rechtsonder).

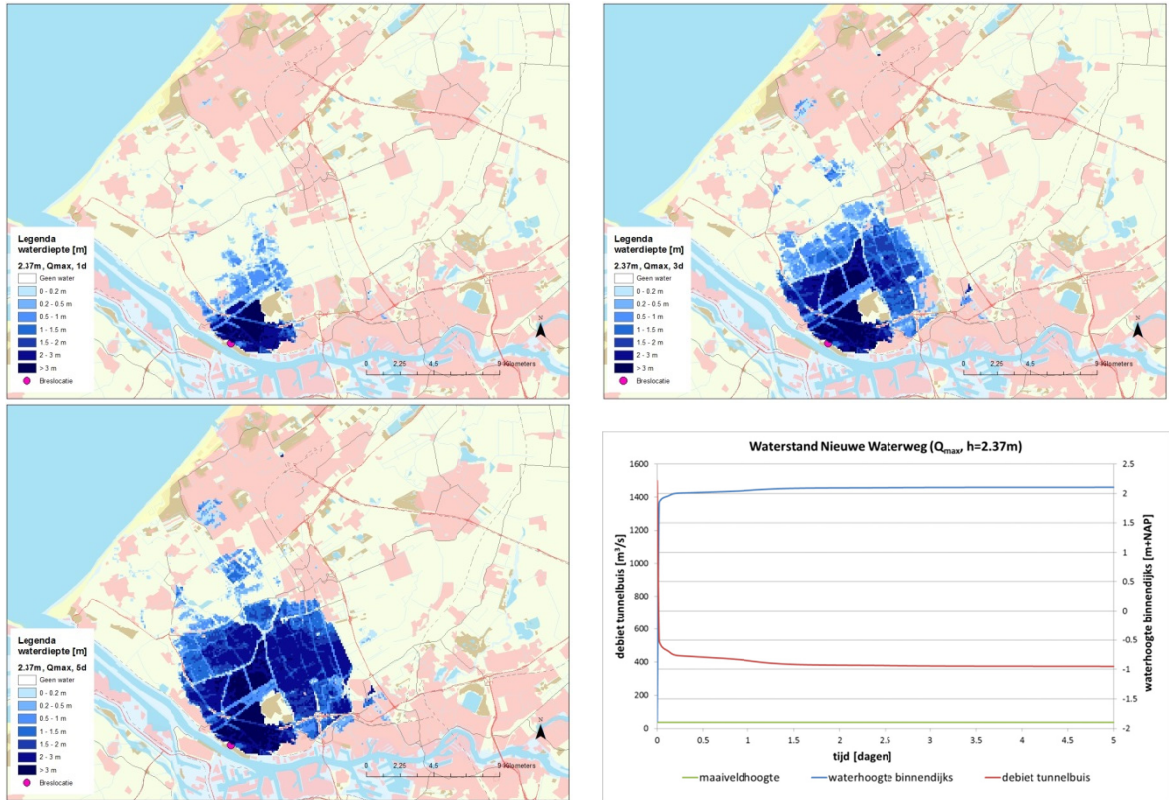


Figuur 10: Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbuis (waterstand is 2,37 mNAP, debiet is 146 m³/s)

3.3.2 Maximaal instroomdebiet

Binnen één dag is de overstroming voorbij de A20 en lopen grote delen van het gebied tot aan Den Haag onder water. Het water verplaatst zich ook via de watergangen naar lager gelegen delen van de dijkkring (kaartje van Figuur 11).

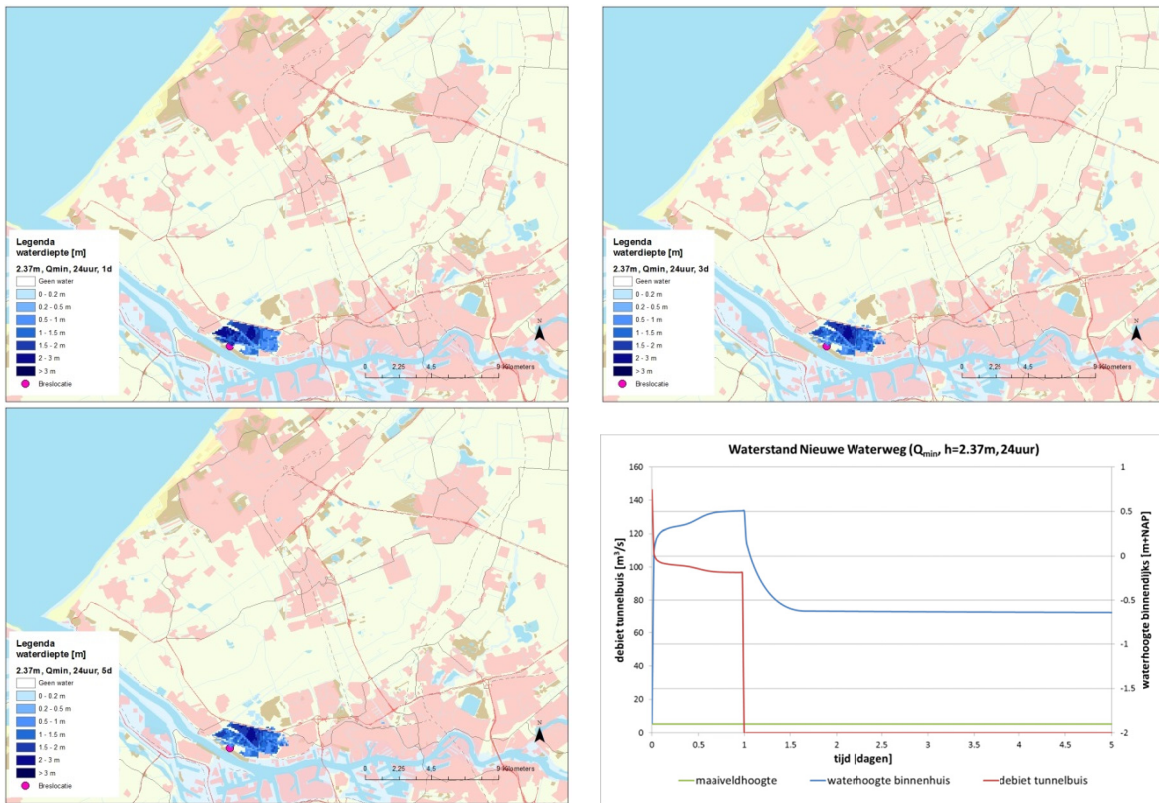
Binnen een uur na falen van de tunnel is het instroomdebiet afgenomen van 1.519 m³/s tot circa 600 m³/s. het instroomdebiet loopt in de dagen daarna verder terug tot ruim 300 m³/s. De waterstand bij de tunnelbuis loopt op tot circa 2,1 mNAP (waterdiepte van 4 meter). Het verloop van waterhoogte bij de tunnelbuis en het instroomdebiet in dijkkring 14 wordt weergegeven in Figuur 11 (rechtsonder).



Figuur 11: Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen zonder afsluiten van de tunnelbus (waterstand is 2,37 mNAP, debiet is 1.501 m³/s)

3.3.3 Afsluiten tunnelbus na 24 uur

Als de tunnel na 24 uur wordt afgesloten verplaatst het water zich naar het stedelijk gebied van Vlaardingen in het oosten. In de dagen na het afsluiten van de tunnel neemt de schade daarom toe (Tabel 4).



Figuur 12: Resultaten overstromingsberekeningen na 1, 3 en 5 dagen waarbij de tunnelbuis na 24 uur wordt afgesloten (waterstand is 2,37 mNAP, debiet is 146 m³/s)

3.3.4 Schade en slachtoffers

De verwachte schade en slachtoffers van overstroming door falen van de Blankenburgtunnel is weergegeven in Tabel 4.

De verwachte slachtofferaantallen na 3 en 5 dagen zijn een overschatting omdat in de berekening geen rekening gehouden is met een evacuatie van bedreigde gebieden.

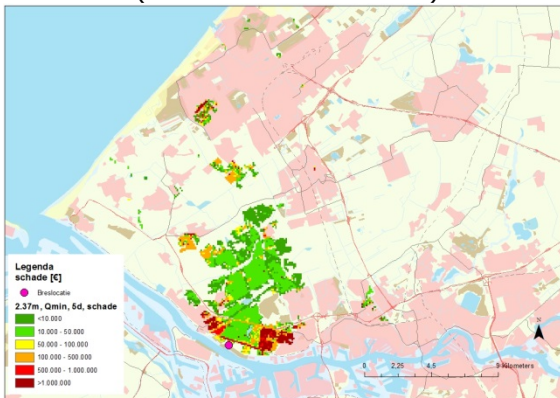
Tijdstip	Minimaal debiet (146 m³/s)		Maximaal debiet (1.501 m³/s)		Minimaal debiet gedurende 24 uur	
	Schade [M€]	slachtoffers	Schade [M€]	slachtoffers	Schade [M€]	slachtoffers
Na 1 dag	433	25	2.036	180	433	25
Na 3 dagen	1.371	115	4.765	420	641	45
Na 5 dagen	1.853	150	7.986	680	641	45

Tabel 4: Berekende schade bij falen van de tunnel voor verschillende scenario's (waterstand Nieuwe Waterweg is 2,37 mNAP)

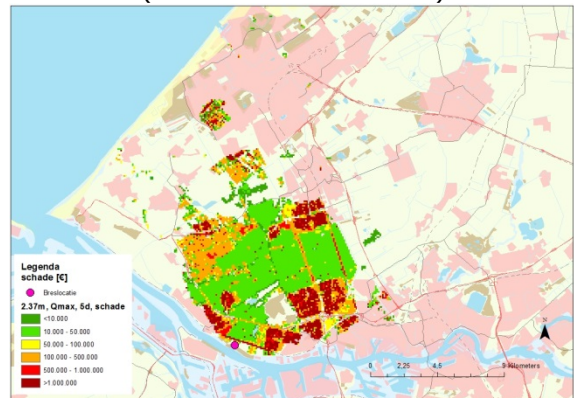
Doordat het water na het afsluiten van de tunnel zich verplaatst naar het stedelijk gebied van Vlaardingen neemt de schade met circa 50% toe. De toename in schade is minder dan in de voorgaande situaties omdat het stedelijk gebied van Vlaardingen eerder bereikt wordt (en schade dus eerder optreedt).

Figuur 13 toont de resultaten van de schadeberekeningen voor h=2,37 mNAP op de Nieuwe Waterweg en verschillende instroomdebieten.

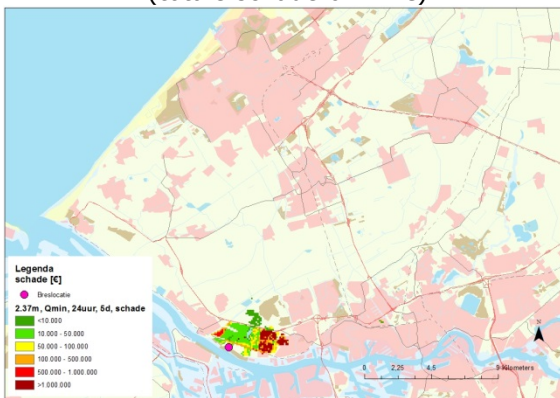
Minimaal debiet zonder afsluiten tunnel
(totale schade 1.853 M€)



Maximaal debiet zonder afsluiten tunnel
(totale schade 7.986 M€)



Sluiten van de tunnel na 24 uur
(totale schade 641 M€)



Figuur 13: Resultaten schadeberekeningen voor waterstand 2,37 mNAP

4 Conclusies en aanbevelingen

Voor de situatie waarin de Blankenburgtunnel aan de noordzijde zonder kanteldijk wordt gerealiseerd zijn overstromingsberekeningen uitgevoerd voor het geval de tunnel faalt. Water stroomt dan vanuit de Nieuwe Waterweg, via de tunnel, direct dijkkring 14 in. Falen in deze context is het constructief falen van de Blankenburgtunnel. De overstromingsberekeningen zijn uitgevoerd met kleine en grote gaten in de tunnelbuis en voor verschillende waterstanden op de Nieuwe Waterweg. De kans van falen van de Blankenburgtunnel is erg klein (orde 10^{-8} per jaar). De kans dat de tunnel faalt op hetzelfde moment dat er sprake is van met hoge waterstanden op de Nieuwe Waterweg is extreem klein, vele ordes kleiner dan de kans op het falen van een primaire waterkering langs dijkkring 14 onder hoogwatersituaties. De scenario's van het falen van de Blankenburgtunnel kunnen dan ook niet één op één worden vergeleken met scenario's van het falen van de primaire kering omdat de kansen op deze scenario's ordes uit elkaar liggen.

Als de Blankenburg (zonder kanteldijk) faalt loopt het water door de tunnel dijkkring 14 in. In eerste instantie stroomt het gebied direct achter de tunnel vol, waardoor het hoogteverschil met de waterstand op de Nieuwe Waterweg terugloopt en dientengevolge het instroomdebiet afneemt. De overstroming wordt in eerste instantie begrensd door de A20 en verplaatst zich dan in oostelijke richting naar het stedelijk gebied van Vlaardingen. Na verloop van tijd stroomt het water over de A20 in noordelijke richting. Voor een deel wordt het water getransporteerd via de watergangen in gebied, waarbij het elders over de kade het lager gelegen gebied instroomt (noordoostelijke richting, richting Den Haag).

Tabel 5 geeft een samenvatting van de economische schade voor verschillende waterstanden op de Nieuwe Waterweg. Hierbij is gebruik gemaakt van dagelijkse omstandigheden (waterstand van 0,13 mNAP) en hogere waterstanden (waterstand van 1,50 mNAP en 2,37 mNAP) die een worst-case benadering zijn voor de overstromingsgevolgen. Per gebeurtenis is uitgegaan van een minimaal debiet als gevolg van falen van de tunnel en een bovengrens van het instroomdebiet (water stroomt door het gehele oppervlak van de tunnelbuis). Daarnaast is gekeken wat de overstromingsgevolgen zijn als de tunnel na 24 uur wordt afgesloten en er geen water meer de dijkkring instroomt.

Tijdstip	Waterstand 0,13 mNAP		Waterstand 1,50 mNAP		Waterstand 2,37 mNAP	
	schade [M€]	slachtoffers	schade [M€]	slachtoffers	schade [M€]	slachtoffers
Minimaal debiet	941	75	1.597	135	1.853	150
Maximaal debiet	1.112	90	4.066	335	7.986	680
Minimaal debiet gedurende 24 uur	219	10	534	35	641	45

Tabel 5: Samenvatting maximale economische schade in verschillende scenario's

De verwachte economische schade door overstroming in het gebied ligt in de orde van 1 tot 8 miljard euro, afhankelijk van de beschouwde situatie. Hierbij moet in gedachte worden gehouden dat de scenario's met hogere waterstanden op de Nieuwe Waterweg onwaarschijnlijk zijn. De verwachte overstromingsschade zal daarom dichterbij de 1 miljard euro liggen. Het verwachte aantal slachtoffers is een inschatting van de bovengrens omdat de slachtofferfunctie van HIS-SSM uitgaat van een wintersituatie (in de zomer zijn overlevingskansen bij overstroming beter). In de berekeningen is bovendien geen rekening gehouden met evacuatie of noodmaatregelen. Dit heeft significante invloed op het verwachte aantal slachtoffers omdat verwacht mag worden dat de bevolking gewaarschuwd zal worden en zichzelf in veiligheid zal stellen. Zeker de toename van het aantal slachtoffers na 1 dag moet daarom beschouwd worden als een worst-case benadering.

Als de tunnel na 24 uur wordt afgesloten verspreidt het water zich in de dagen daarna in oostelijke richting naar het stedelijk gebied van de stad Vlaardingen. De verwachte schade neemt in de dagen na het afsluiten van de tunnel toe in de orde van 50 tot 500%, afhankelijk van de beschouwde situatie.

De overstromingsberekeningen zijn uitgevoerd als indicatie van de overstromingsgevolgen in dijkkring 14 bij falen van de tunnel. Hierbij is aangenomen dat de waterstand op de Nieuwe Waterweg over de gehele beschouwde periode constant blijft. In praktijk zal de waterstand als gevolg van getij en windinvloeden echter variëren. Voor de hogere waterstanden op de Nieuwe Waterweg is deze benadering een bovengrens. De windinvloeden zullen niet over de gehele periode aanhouden en verwacht mag worden dat waterstanden zullen afnemen zodra de windinvloeden wegvallen.

Uitgaande van de 'dagelijkse omstandigheden' als een gemiddelde over een periode van vijf dagen kan worden geconcludeerd dat de gevolgen van falen van de Blankenburgtunnel zonder kanteldijk liggen in de orde van een miljard euro aan economische schade (exclusief de kosten voor herstel van de Blankenburgverbinding).

Maatregelen om de overstromingsgevolgen te beperken liggen met name in het zo snel mogelijk beperken van de instroom in de dijkkring door het (deels) afsluiten van de tunnel.

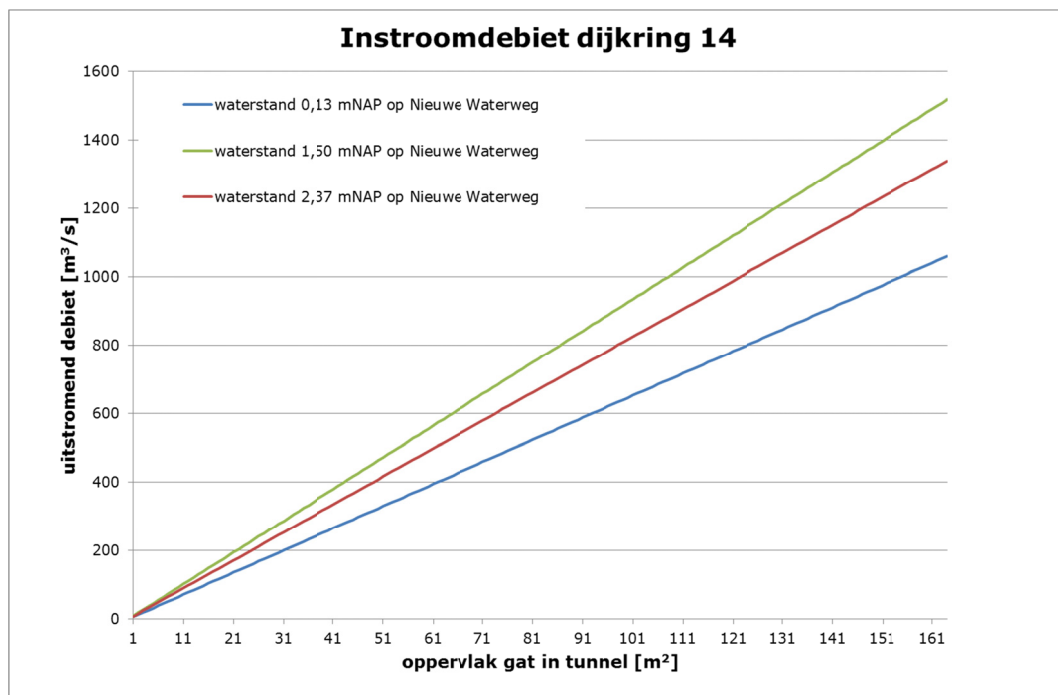
Bijlage

Bijlage A: Instroomdebieten

Deze bijlage geeft de berekening van het instroomdebiet in dijkkring 14 bij falen van de Blankenburgtunnel zonder kanteldijk aan de noordzijde.

A.1 Instroomdebiet dijkkring 14

De instroomdebieten in dijkkring 14 worden met name bepaald door de waterstand op Het Scheur (Nieuwe Waterweg) en de doorsnede van het gat in de tunnelbuis (of de doorsnede van de tunnel als deze kleiner is). Een overzicht van het debiet ten opzichte van de grootte van het gat in de tunnelbuis is in Figuur 14 gegeven. In Tabel 6 is voor een aantal combinaties het instroomdebiet berekend.



Figuur 14: Instroomdebiet dijkkring 14 als functie van de grootte van het gat

Parameter	Gat tunnelbuis [m²]	Waterstand Het Scheur [mNAP]	Instroomdebiet [m³/s]
Maximaal debiet	164	0,13	1.035
	164	1,50	1.339
	164	2,37	1.501
Minimum debiet	16	0,13	101
	16	1,50	131
	16	2,37	146

Tabel 6: Instroomdebiet dijkkring 14

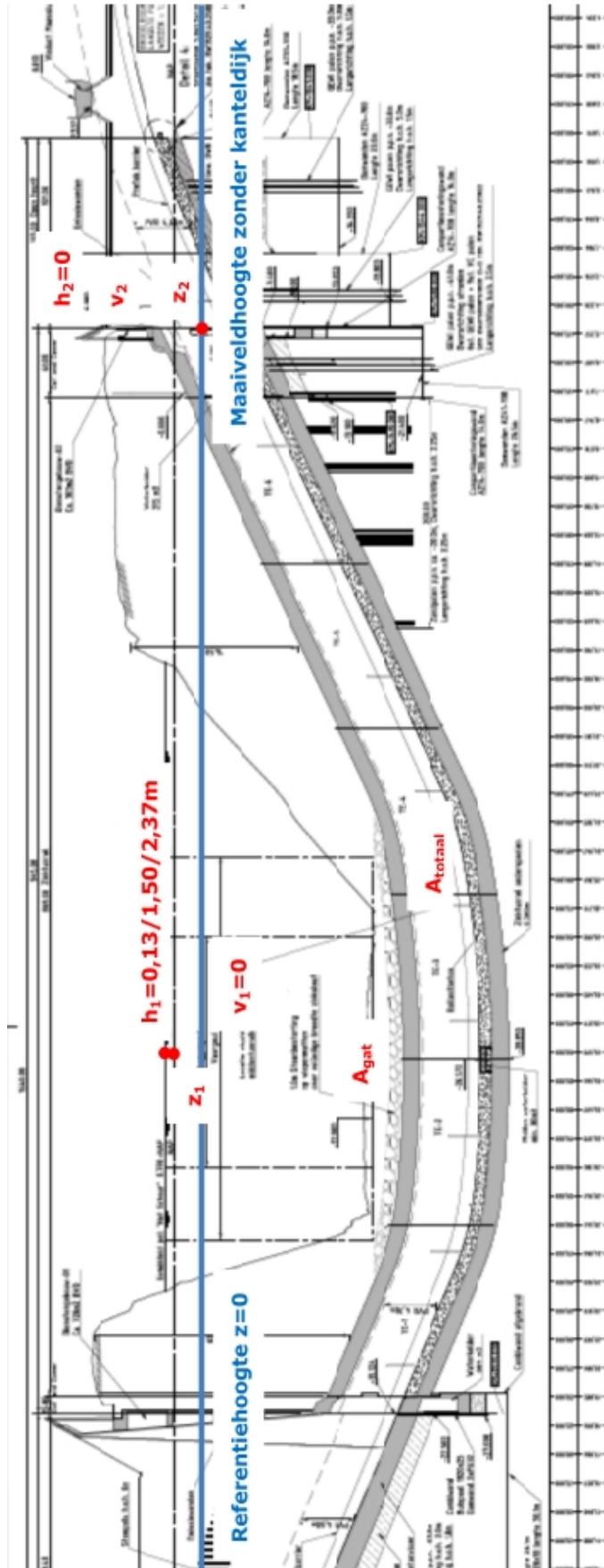
Zie voor de waterstandstatistiek Tabel 8.

A.2 Onderbouwing

A.2.1 Aannames

Om het maximale debiet te bepalen worden de volgende aannames gedaan:

1. Waterstand op de Nieuwe Waterweg verandert niet.
De waterstand op de Nieuwe Waterweg verandert door het falen van de tunnel en de overstroming in het achterland niet.
2. De hele doorsnede van de buis is voor stromend water beschikbaar.
Er wordt voor het maximum debiet door de tunnel geen rekening gehouden met materiaal dat door falen van de tunnel in de tunnel terechtkomt en daardoor de doorsnede van de tunnelbuis significant vermindert. Bij het minimaal debiet wordt dit impliciet wel gedaan.
3. Verticale stroomsnelheid in de Nieuwe Waterweg is nul.
Bij optreden van een gat in de dekking van de Blankenburgtunnel stroomt het water vanuit de Nieuwe Waterweg verticaal in de tunnel. De stroomsnelheid van deze stroming wordt in vergelijking met de andere optredende stroomsnelheden als verwaarloosbaar aangenomen.
4. Ruwheid en andere verliezen zijn niet meegenomen.
In de voorliggende berekeningen worden verliezen door ruwheid en andere factoren zoals materiaaltransport en verandering van stroomrichting niet meegenomen.
5. De grootte van het gat is constant.
Het wordt ervan uitgegaan dat de grootte van het gaat in de buis over de tijd niet meer verandert.



Figuur 15: Zijaanzicht Blankenburgtunnel (inclusief kanteldijk aan de noordzijde) met hydraulische berekeningspunten

parameter	omschrijving	waarde	dimensie
h_1	Hydraulische hoogte op punt 1 (waterstand Het Scheur)	0,13/1,50/2.37	m
z_1	Piezometrisch potentiaal op punt 1 (waterstand Het Scheur)	2	m
v_1	Verticale stroomsnelheid op punt 1 (waterstand Het Scheur)	0	m/s
h_2	Hydraulische hoogte op punt 2 (maaiveldhoogte uitgang tunnel in dijkkring 14)	0	m
z	Piezometrisch potentiaal op punt 2 (maaiveldhoogte uitgang tunnel in dijkkring 14)	0	m
H_1	Hoogte buis 1 (richting A15)	5,44	m
B_1	Breedte buis 1 (richting A15)	14,5	m
H_2	Hoogte buis 2 (richting A20)	5,44	m
B_2	Breedte buis 2 (richting A20)	13,85	m
H_3	Hoogte gang	6,2	m
B_3	Breedte gang	1,65	m
A_1	Doorsnede buis 1 (richting A15)	79	m ²
A_2	Doorsnede buis 2 (richting A20)	75	m ²
A_3	Doorsnede middengang	10	m ²
A_{total}	Totale doorsnede tunnel	164	m ²

Tabel 7: Samenvatting parameters

De parameter v_2 , verticale stroomsnelheid op punt 2, wordt berekend (zie paragraaf A.2.3).

A.2.3 Berekening maximaal debiet

De berekening van het maximaal debiet wordt met de Bernoulli formule uitgevoerd:

$$h_1 + z_1 + \frac{1}{2g} v_1^2 = h_2 + z_2 + \frac{1}{2g} v_2^2$$

Het is dus nodig voor de berekening een punt 1 en een punt 2 vast te leggen. Hier worden de eindpunten van het hydraulische systeem gebruikt. Punt 1 ligt dus op waterniveau op de Nieuwe Waterweg en punt 2 aan de uitlaat van de Blankenburgtunnel aan de noordzijde (zie Figuur 15). Bovendien is het referentieniveau z_0 gekozen op -2m NAP.

Met de in paragraaf A.2.2 genoemde parameters, de waterstanden uit paragraaf A.1 en de Bernoulli formule zijn de volgende stroomsnelheden op punt 2 berekend:

$$v_{h=0,13} = 6,3 \frac{m}{s}$$

$$v_{h=1,50} = 8,2 \frac{m}{s}$$

$$v_{h=2,37} = 9,4 \frac{m}{s}$$

Met de stroomsnelheden zijn vervolgens de maximale debieten berekend (zie ook Tabel 6):

$$Q_{max} = v_2 * A_{total}$$

$$Q_{max\ h=0,13} = 1.035 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{max\ h=2,37} = 1.339 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{max\ h=2,37} = 1.501 \frac{m^3}{s}$$

Voor het maximaal debiet is de maximale capaciteit van de tunnelbuis bepalend omdat ook als het gat groter is dan de tunnelbuis niet meer water door de buis kan worden vervoerd.

A.2.4 Herleiding minimale debieten

Het maximale debiet is geldig voor gaten in de tunnelbuis met een grotere doorsnede dan het oppervlak van de tunnelbuis. In dat geval is de doorsnede van de tunnelbuis bepalend voor het instroomdebiet, maar het oppervlak van het gat in de tunnelbuis waardoor de tunnel volstroomt. Daarom wordt ook een 'minimaal' debiet meegenomen in dit onderzoek. Minimaal staat hier tussen quotes omdat een ondergrens is bepaald waarbij er wel sprake is van significante overstrooming van dijkkring 14 (het echte minimum is uiteraard 0 m³/s). Een gat van 16 m² (10% van de doorsnede van de tunnelbuis) wordt als een reële mogelijkheid van falen gezien en komt overeen met een instroomdebiet van tenminste 100 m³/s wat een significante overstrooming tot gevolg heeft. De minimale debieten ten opzichte van de waterstanden zijn:

$$Q_{min\ h=0,13} = 101 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{min\ h=1,50} = 131 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{min\ h=2,37} = 146 \frac{m^3}{s}$$

A.2.5 Waterstandstatistiek

Tabel 8 toont de waterstandstatistiek die is gebruikt voor het afleiden van de maatgevende waterstanden. De dagelijkse waterstand en de eenmaal per jaar waterstand zijn ontleend aan referentie waterstanden (RWS), de overige waarden uit Hydra_zoet. Het betreft herhalingstijden van piekwaterstanden.

Hertalingstijd [jaar]	Waterstand [mNAP]
Dagelijks	0,13
1	2,37
10	2,64
25	2,77
50	2,85
100	2,92
250	2,99
500	3,07
750	3,09
1000	3,11
1250	3,15
10000	3,40

Tabel 8: Waterstandstatistiek Het Scheur



HKV IJN in water BV

Postbus 2120
8203 AC Lelystad

Botter 11-29
8232 JN Lelystad

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