

Opdrachtgever: Waterschap Groot-Salland

Bypass Kampen

Overstromingsberekeningen

Auteurs: A.M. Tonk
I.B.M. Lammers

Inhoud

1	Inleiding	1-1
1.1	Kader.....	1-1
1.2	Werkwijze.....	1-1
2	Overstromingsscenario's	2-1
2.1	Breslocaties	2-1
2.2	Hoogte en ruwheid van de bodem.....	2-1
2.3	Randvoorwaarden	2-2
2.4	Verloop waterdiepte	2-4
2.5	Overzicht scenario's	2-4
3	Overstromingspatroon	3-1
3.1	Kampen	3-1
3.2	Zalk	3-3
3.3	De Zandjes	3-6
3.4	De Zandjes, storm.....	3-8
3.5	Bypass.....	3-11
4	Schade en slachtoffers	4-1
4.1	Gebruik van HIS-SSM en aanpassingen in database.....	4-1
4.2	Kampen	4-2
4.3	Zalk	4-3
4.4	De Zandjes	4-3
4.5	De Zandjes, storm.....	4-4
4.6	Bypass.....	4-5
5	Evacuatie	5-1
6	Samenvattend.....	6-1
7	Referenties.....	7-1
Bijlage A	Rekenmethode debiet door bres	A-1
Bijlage B	Bestanden gebruikt in Delft-FLS	B-1
Bijlage C	Grafieken waterdiepten	C-1

Lijst van tabellen

Tabel 2-1	Scenario's uitgewerkt in dit rapport.	2-5
Tabel 4-1	Kentallen nieuwe woonwijken.	4-2
Tabel 4-2	Schade en slachtoffer berekening voor een bres bij Kampen.....	4-2
Tabel 4-3	Schade en slachtoffer berekening voor een bres bij Zalk.	4-3
Tabel 4-4	Schade en slachtoffer berekening voor een bres bij De Zandjes.	4-4
Tabel 4-5	Schade en slachtoffer berekening voor een bres bij De Zandjes tijdens een storm.....	4-4
Tabel 4-6	Schade en slachtoffer berekening voor een bres bij de knoop in de bypass.....	4-5

Lijst van figuren

Figuur 2-1	Breslocaties weergegeven op een hoogtekkaart.	2-1
Figuur 2-2	Bodemhoogte: huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts).	2-2
Figuur 2-3	Bodemruwheid: huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts).	2-2
Figuur 2-4	IJsselafvoer en waterstand op het Ketelmeer.	2-3
Figuur 2-5	Ligging van de punten waarvoor waterdieptes zijn uitgevoerd.	2-4
Figuur 3-1	Waterdiepte na een doorbraak bij Kampen: huidige situatie (boven) en toekomstige situatie (onder).	3-1
Figuur 3-2	Legenda gebruikt in de figuren van overstromingsverloop.	3-2
Figuur 3-3	Overstromingspatroon na een doorbraak bij Kampen: huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts).	3-3
Figuur 3-4	Waterdiepte na een doorbraak bij Zalk: Huidige situatie (boven) en toekomstige situatie (onder).	3-4
Figuur 3-5	Overstromingspatroon na een doorbraak bij Zalk. Extreem toekomstig scenario: Zonder bypass (links) en met bypass (rechts).	3-5
Figuur 3-6	Waterdiepte na een doorbraak bij De Zandjes: huidige situatie (boven) en toekomstige situatie (onder).	3-7
Figuur 3-7	Overstromingspatroon na een doorbraak bij De Zandjes: huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts).	3-8
Figuur 3-8	Waterdiepte na een doorbraak bij De Zandjes tijdens een storm op het Ketelmeer: huidige situatie (boven) en toekomstige situatie (onder).	3-9
Figuur 3-9	Overstromingspatroon na een doorbraak bij De Zandjes, tijdens een storm op het Ketelmeer: huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts).	3-10
Figuur 3-10	Afvoer door de bres in de bypass (in m ³ /s).	3-11
Figuur 3-11	Waterdiepte na een doorbraak in de dijk van de bypass bij de knoop.	3-12
Figuur 3-12	Overstromingspatroon na een doorbraak in de dijk van de bypass bij de knoop.	3-13
Figuur 4-1	Vlakindeling nieuwe woonwijken.	4-1
Figuur 5-1	Tijdstip waarop een waterdiepte van 25 cm wordt bereikt. Tijd is uitgedrukt in uren na het ontstaan van de bres.	5-4
Figuur C-1	Ligging van de punten waarvoor waterdieptes zijn uitgevoerd.	C-1
Figuur C-2	Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak Kampen, huidige situatie.	C-2
Figuur C-3	Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak Kampen, toekomstige situatie.	C-2
Figuur C-4	Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak Zalk, huidige situatie.	C-3
Figuur C-5	Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak Zalk, toekomstige situatie.	C-3
Figuur C-6	Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak De Zandjes, huidige situatie.	C-4
Figuur C-7	Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak De Zandjes, toekomstige situatie.	C-4
Figuur C-8	Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak De Zandjes storm, huidige situatie.	C-5
Figuur C-9	Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak De Zandjes storm, toekomstige situatie.	C-5
Figuur C-10	Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak in de bypass, toekomstige situatie.	C-6

1 Inleiding

1.1 Kader

In het kader van de PKB studie is een aantal maatregelen voorgesteld voor waterstandsverlaging op de IJssel. De meeste effectieve en efficiënte maatregel is baggeren en dit is ook het formele standpunt van RWS. Vanuit de Provincie en de gemeente Kampen (en ook vanuit VROM) is de bypass het gewenste alternatief. Deze bypass loopt ten zuiden van Kampen en verbindt de IJssel met het Drontermeer en Vossemeer. Vast staat dat er een bypass gaat komen, de vraag is welke variant.

In dit rapport wordt een beschouwing gegeven van de invloed van de bypass op het overstromingspatroon na doorbraak van een primaire waterkering. In de volgende paragraaf wordt de gevolgde werkwijze kort beschreven. Vervolgens beschrijven we de gebruikte overstromingsscenario's (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 wordt het overstromingspatroon voor verschillende scenario's vergeleken. Vervolgens worden de schade en slachtoffers (hoofdstuk 4) en de mogelijkheden tot evacuatie (hoofdstuk 5) beschreven. We sluiten het rapport af met een aantal conclusies en aanbevelingen.

Merk op dat risico's in termen van constructies in en rond de bypass niet in deze rapportage zijn opgenomen. Dit is in een apart rapport beschreven, zie [HKV, 2006].

1.2 Werkwijze

In het verleden zijn in opdracht van de Provincie Overijssel enkele overstromingsberekeningen uitgevoerd voor het gebied rond Kampen [Royal Haskoning, 2003a, 2003b, 2003c, 2004]. Hierbij is een model gebouwd in Delft-FLS waarmee verschillende scenario's zijn doorgerekend. In voorliggende studie is bij deze scenario's aangesloten om zo een vergelijking van de resultaten mogelijk te maken.

Per scenario zijn de belangrijkste variabelen de breslocatie en de vigerende randvoorwaarden, zoals de afvoer op de IJssel en de waterstand op het Ketelmeer. De sommen waarbij bressen ontstaan bij Zalk, Kampen en De Zandjes zijn overgenomen uit de eerdere studies. Per locatie zijn twee scenario's doorgerekend: een huidige en een toekomstige situatie. In de huidige situatie is de Hanzelijn reeds opgenomen in het bodemhoogte bestand. De toekomstige situatie bevat naast de Hanzelijn ook de bypass en een aantal nieuwe woonwijken rond Kampen. Aanvullend is een situatie doorgerekend waarbij een bres ontstaat in de dijk rond de bypass.

Aan de hand van het overstromingspatroon zijn schadeberekeningen in HIS-SSM uitgevoerd waarbij is gekeken naar economische schade, aantal getroffen en aantal slachtoffers. Daarnaast is een kwalitatieve beschrijving gemaakt van de beschikbare evacuatietijd en de mogelijke vluchtroutes.

2 Overstromingsscenario's

In deze studie project worden verschillende overstromingsscenario's beschreven. Deze sluiten zo veel mogelijk aan bij eerder uitgevoerde studies voor de Provincie Overijssel. In dit hoofdstuk worden de keuzes die gemaakt zijn besproken, waarbij aandacht wordt besteed aan breslocaties, bodemhoogte, bodemruwheid en randvoorwaarden. De berekeningen zijn uitgevoerd met Delft-FLS, versie 2.55.

2.1 Breslocaties

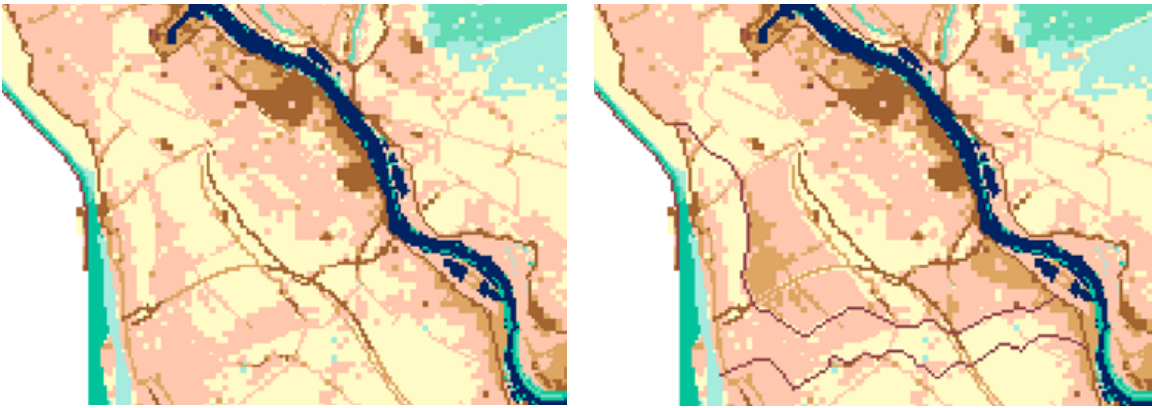
De breslocaties langs de IJssel komen overeen met de locaties gebruikt in de studies van de Provincie Overijssel: Kampen, Zalk en De Zandjes (Figuur 2-1). Locaties De Zandjes en Kampen liggen ten noorden van de bypass, terwijl Zalk ten zuiden van de bypass ligt. In de schematisatie wordt de bres 300 m breed en er ontstaat een wiel van 10 m diepte. Aanvullend is een bres geschematiseerd in de waterkering rond de bypass. De bres is gesitueerd bij "de knoop" aan de kant van Kampen (kruising van bypass en Hanzelijn).



Figuur 2-1 Breslocaties weergegeven op een hoogtekaart.

2.2 Hoogte en ruwheid van de bodem

De hoogteligging van het maaiveld beïnvloedt tezamen met de bijbehorende ruwheid de stroming en berging van water in het gebied. Daarnaast wordt het overstromingsverloop met name beïnvloed door de hoger gelegen lijnelementen, zoals de secundaire keringen en wegen. Voor de overstromingsberekeningen is gebruik gemaakt van twee verschillende grids van de bodemhoogte: huidige situatie en toekomstige situatie. In de huidige situatie wordt uitgegaan van een hoogtekaart toegeleverd door de provincie Overijssel ('BodemH'). Deze is gemaakt door DHV en de ligging van de Hanzelijn is hierin opgenomen (Figuur 2-2). In het studiegebied zijn de primaire waterkeringen, Hanzelijn, N50 en N307 op de hoogtekaart te herkennen als een verhoging in het terrein. In de toekomstige situatie wordt uitgegaan van de aanleg van de bypass en een aantal woonwijken rond Kampen. De dijken rond de bypass zijn zo hoog gemaakt dat deze niet overstromen. Ter plaatse van de woonwijken is de bodem met 1 m verhoogd (Figuur 2-2).



Figuur 2-2 Bodemhoogte: huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts).

Net als voor de bodemhoogte wordt voor de bodemruwheid gebruik gemaakt van een huidige en een toekomstige situatie. De ruwheden worden uitgedrukt met de ruwheidslengte van Nikuradse (k_N). Deze representeert de ruwheid van het land: hoe lager de ruwheidcoëfficiënt, hoe gladder de bodembegroeiing, hoe makkelijker het water erover stroomt en hoe sneller de overstroming verloopt. In de huidige situatie wordt de bodemruwheid overgenomen uit het model van de Provincie Overijssel ('r50_nw4'). In de toekomstige situatie is de ruwheid aangepast ter plaatse van de woonwijken. In de huidige situatie is een k_N -waarde van 8,0 m gebruikt voor stedelijke bebouwd gebied, en 5,0 m voor bebouwing in het buitengebied. Omdat de nieuwe woonwijken rond Kampen ruim opgezet gaan worden, met 17 woningen per hectare is hier gekozen voor een ruwheid tussen 5,0 en 8,0 m in. Een k_N -waarde van 6,5 m is aangenomen voor de bodem ter plaatse van de nieuw te bouwen woonwijken (Figuur 2-3).



Figuur 2-3 Bodemruwheid: huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts).

2.3 Randvoorwaarden

Met de keuze van randvoorwaarden zijn de invloeden van verschillende Ausgangssituaties, bijvoorbeeld een variatie in de afvoer van de IJssel, door te rekenen. Het gebruikte model bevat vier randen:

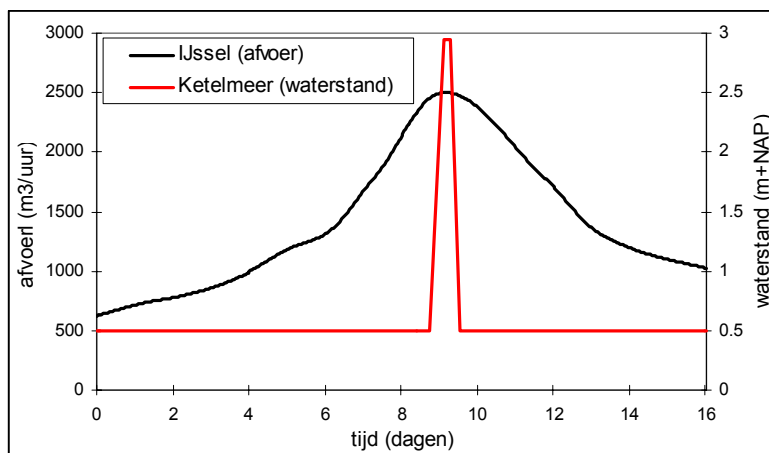
- Ketelmeer (waterstand);
- IJssel (afvoer aan bovenstroomse zijde);
- Vecht (afvoer constant op 25 m³/s);
- Sallandse Weteringen (afvoer constant op 10 m³/s).

Voor deze studie wordt aangesloten bij de randen gebruikt in de studies van Provincie Overijssel, waarbij gebruik gemaakt is van de hydraulische randvoorwaarden uit 1996 [DWW, 1996]. Volgens deze gegevens is de waterstand in het Keteldiep bij toetspeil gelijk aan NAP + 2,95 m (normfrequentie = 1/2000 jaar). Bij een herhalingstijd van ¼ jaar is deze waterstand NAP + 1,20 m. Vergelijken met de hydraulische randvoorwaarden van 2001 zijn deze waterstanden iets te laag, het toetspeil volgens 2001 komt namelijk overeen met NAP + 3,0 m. [DWW, 2001].

Hetzelfde geldt voor de afvoer op de IJssel. In de berekeningen van de Provincie Overijssel wordt gesteld dat een afvoer van 2500 m³/s overeen komt met "de maatgevende afvoer met een herhalingstijd van 1/2000 per jaar" [Royal Haskoning, 2003a]. Na controle met de werklijnen volgens de hydraulische randvoorwaarden van 2001 blijkt dat deze afvoer te laag is. Zo is de afvoer bij Olst volgens deze werklijnen 2751 m³/s (herhalingsfrequentie 1/2000 jaar) of 2414 m³/s (voor 1/500 jaar).

Er is besloten aan te sluiten bij randvoorwaarden gebruikt in eerdere studies, ondanks het feit dat de waterstanden hierdoor lager zijn dan behorend bij de normfrequentie. Voor de breslocaties Zalk, Kampen en De Zandjes is uitgegaan van een maximale IJsselafvoer van 2500 m³/s en een constante waterstand op het Ketelmeer van NAP + 1,20 m. De afvoer op de Vecht (25 m³/s) en de Sallandse Weteringen (10 m³/s) wordt tijdens de berekeningen constant gehouden. De IJsselafvoer gebruikt in deze scenario's is weergegeven in Figuur 2-4, de afvoer is over een periode van twee weken verhoogd. In de schematisatie ontstaat de bres op het moment van de maximale IJsselafvoer.

Aanvullend zijn bij De Zandjes sommen uitgevoerd waarbij is uitgegaan van een storm op het Ketelmeer. De bijbehorende randvoorwaarden zijn een maximale waterstand op het Ketelmeer van NAP + 2,95 m en een IJsselafvoer van 840 m³/s. Omdat een storm van kortere duur is dan een piekafvoer op een rivier neemt de waterstand op het Ketelmeer maar voor één dag toe (Figuur 2-4). Ook hier geldt een constante afvoer op de Vecht (25 m³/s) en de Sallandse Weteringen (10 m³/s).



Figuur 2-4 IJsselafvoer en waterstand op het Ketelmeer.

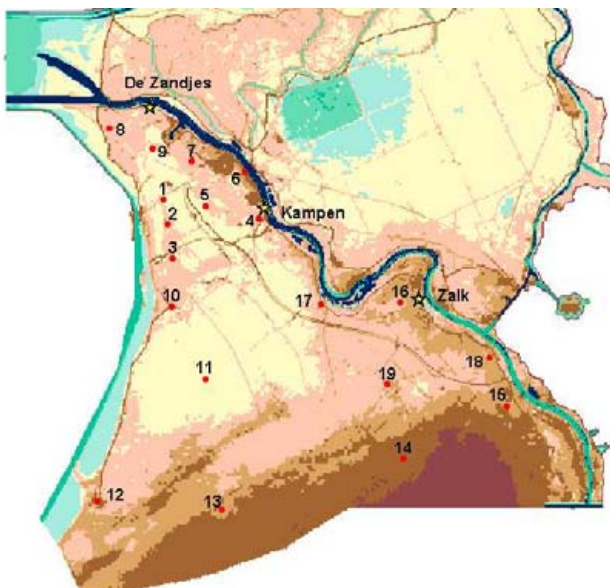
Als extreem toekomstig scenario zijn ook enkele sommen gedraaid waarbij gebruik is gemaakt van een combinatie van hoge IJsselafvoer (2500 m³/s) en een storm op het Ketelmeer (NAP + 2,95 m). De Roggebotsluis werd in deze berekeningen niet gesloten, waardoor water over de

kering langs het Drontermeer de dijkkring in loopt. Verder overstroomt het Kampereiland en omliggende gebieden. Omdat de kans van voorkomen van dit scenario is erg klein is (1/4.000.000 jaar), zijn deze overstromingsberekeningen verder niet uitgewerkt.

Als laatste is een bres in de kering rond de bypass geschematiseerd. Tijdens de schematisatie van bressen langs de IJssel wordt het bresdebiet bepaald door het model. Deze is afhankelijk van de geometrie, waterstand en afvoer van de IJssel. Voor de bypass zijn deze gegevens nog niet bekend, waardoor de schematisatie van een overstroming vanuit de bypass op een andere manier is uitgevoerd. De groei van de bres is hetzelfde gehouden als bij voorgaande berekeningen waarbij een bres langs de IJssel ontstaat. Verder is uitgegaan van een waterstand in de bypass van NAP + 2,5 m en het bodemniveau van de bres is gezet op NAP + 1 m, waarna het bresdebiet is bepaald volgens de methode omschreven in Bijlage A.

2.4 Verloop waterdiepte

Op verschillende locaties binnen het studiegebied zijn gegevens over het verloop van de waterdiepte uitgevoerd (Figuur 2-5). Per scenario zijn deze gegevens in een grafiek weergegeven.



Figuur 2-5 Ligging van de punten waarvoor waterdieptes zijn uitgevoerd.

ID	Naam
1	Erf 78
2	Erf 82
3	Reevhoeve
4	Kampen 1
5	Kampen 3
6	Kampen 6
7	Kampen 7
8	Erf 71
9	Erf 69
10	Noordeinde
11	Kerkdorp
12	Elburg
13	Oldebroek
14	Wezep
15	Kberg
16	Zalk 2
17	De Zande
18	A28
19	Voskuil

2.5 Overzicht scenario's

Bovenstaande keuzes hebben geleid tot negen verschillende doorbraakscenario's die in de volgende hoofdstukken worden besproken (Tabel 2-1).

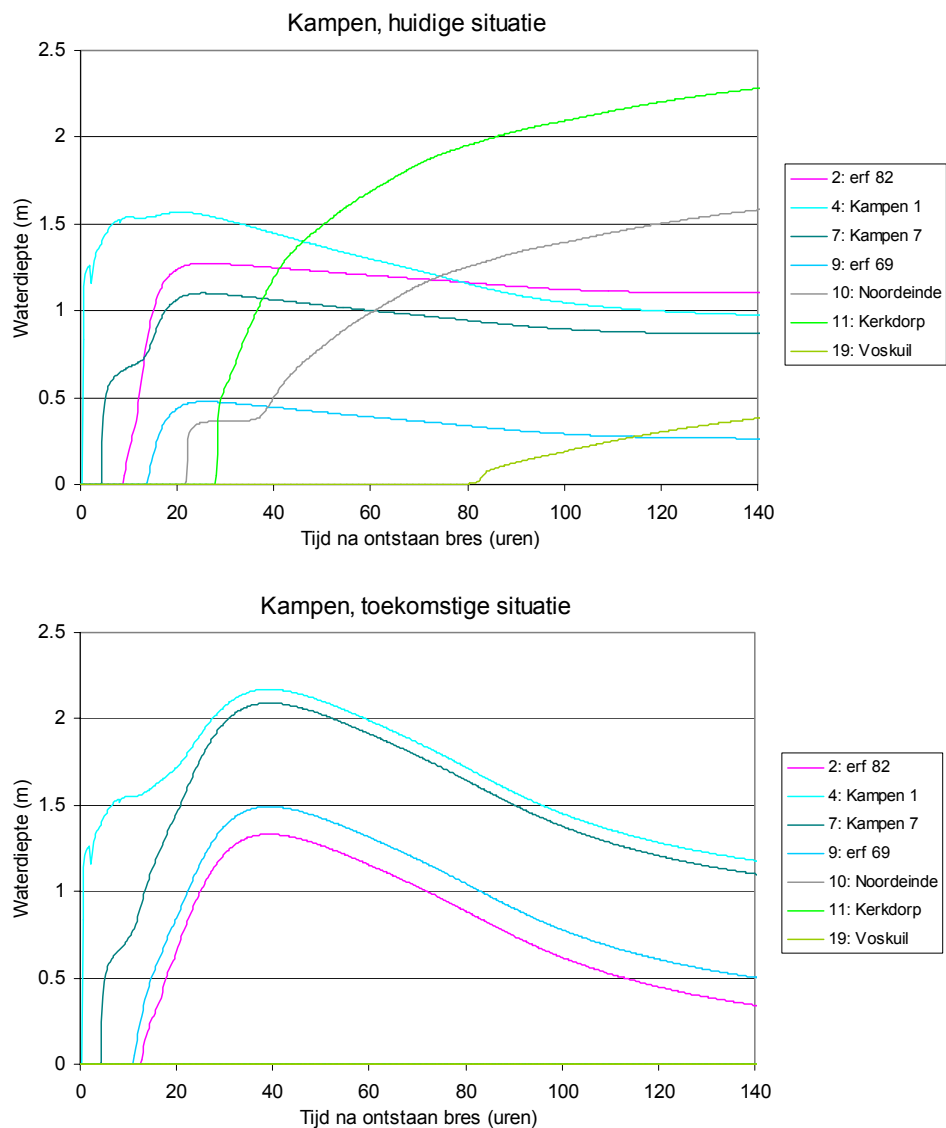
Breslocatie	Bodemhoogte & ruwheid	Afvoer IJssel (m³/s)	Waterstand Ketelmeer (m+NAP)	Referentie Delft-FLS
Kampen	Hanzelijn	2500	1,20	Apr5a
Kampen	Hanzelijn, bypass & woningen	2500	1,20	Fe28a
Zalk	Hanzelijn	2500	1,20	Apr9a
Zalk	Hanzelijn, bypass & woningen	2500	1,20	Fe28d
De Zandjes	Hanzelijn	2500	1,20	Apr6a
De Zandjes	Hanzelijn, bypass & woningen	2500	1,20	Fe28g
De Zandjes, storm	Hanzelijn	840	2,95	Apr7a
De Zandjes, storm	Hanzelijn, bypass & woningen	840	2,95	Apr7w
Bypass	Hanzelijn, bypass & woningen	n.v.t.	n.v.t.	Byp01

Tabel 2-1 Scenario's uitgewerkt in dit rapport.

3 Overstromingspatroon

3.1 Kampen

Er zijn twee berekeningen uitgevoerd waarbij een bres ontstaat bij Kampen. In beide berekeningen is uitgegaan van een maximale IJsselafvoer van 2500 m³/s en een waterstand op het Ketelmeer van NAP + 1,20 m (Figuur 2-4). In de schematisatie van de huidige situatie is de Hanzelijn opgenomen in de bodemhoogte, in het toekomstige scenario zijn daarnaast ook de bypass en nieuwe woonwijken in de bodemhoogte en ruwheid verwerkt. De dijken rond de bypass overstromen in dit model niet waardoor het overstromde gebied beperkt blijft tot het deel ten noorden van de bypass. In deze paragraaf wordt het overstromingspatroon voor deze twee berekeningen beschreven en vergeleken.



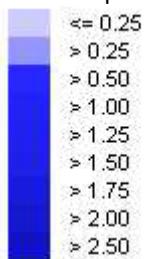
Figuur 3-1 Waterdiepte na een doorbraak bij Kampen: huidige situatie (boven) en toekomstige situatie (onder).

In Figuur 3-1 is het verloop van de waterdiepte op een aantal plaatsen in het gebied weergegeven, zie paragraaf 2.4 voor de locaties van de punten (meer uitgebreide grafieken staan in Bijlage C). De punten 'Kampen 1' en 'Kampen 7' liggen in de omgeving van de bres. Punten 'erf 82' en 'erf 69' liggen op een grotere afstand en 'Noordeinde', 'Kerkdorp' en 'Voskuil' liggen ten zuiden van de bypass. In de huidige situatie begint locatie 'Kampen 1' na 30 minuten te inunderen, waarna de waterdiepte snel stijgt tot 1,6 meter (Figuur 3-1).

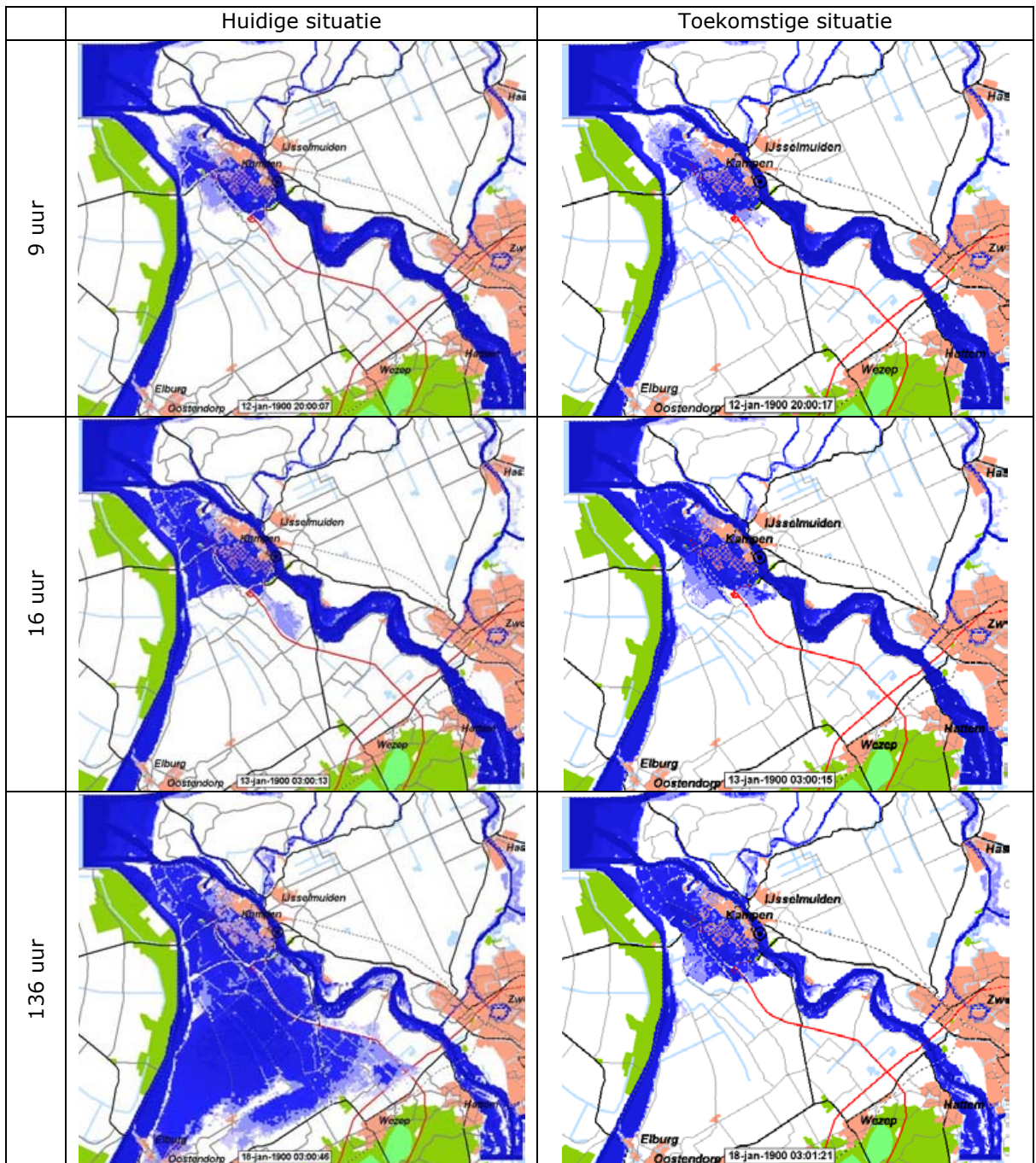
In het toekomstige scenario heeft de waterdiepte hetzelfde verloop aan het begin van de inundatie maar de waterdiepte stijgt door tot 2,2 m. Ook voor 'Kampen 7' is het verloop van de waterdiepte in het begin vergelijkbaar, maar in het toekomstige scenario stijgt het water tot een grotere diepte. In de wijken Cellesbroek/Middenwetering en Flevowijk/De Maten neemt in de toekomstige situatie de gemiddelde waterdiepte toe met 0,8 m. Het tijdstip van overstromen op 'erf 82' en 'erf 69' verandert in het toekomstige scenario en de waterdiepte neemt verder toe, maar de stijgsnelheid aan het begin van de overstroming blijft gelijk. Dus vlakbij de bres blijft de stijgsnelheid aan het begin van de overstroming hetzelfde, maar de waterdiepte neemt verder toe in het toekomstige scenario. De locaties ten zuiden van de bypass blijven in het toekomstige scenario droog.

Het overstromingspatroon laat zien dat de verhoogde wegen keer op keer de doorstroom van water belemmeren, net zo lang totdat de waterspiegel ver genoeg is gestegen en over de weg verder kan stromen (Figuur 3-3). (De legenda gebruikt in deze figuren is weergegeven in Figuur 3-2). In beide situaties loopt het water eerst naar het noordwesten om Kampen heen tot voorbij de N307, hierna stroomt het water naar het zuiden via Polder Dronthen. In de huidige situatie stroomt het water over de Hanzelijn naar Kamperveen en Polder Oosterwolde tot aan Elburg (westen) en knooppunt Hattemerbroek (oosten). Ook het Onderdijks, ten oosten van de N50, overstroomt. Het oude centrum van Kampen en de wijk Brunnepe blijven droog. In het toekomstige scenario is in polder Dronthen een woonwijk gerealiseerd en ligt een dijk rond de bypass. Het water bereikt na 9 uur deze dijk ten oosten van het knooppunt met de Hanzelijn & N50, en na 14 uur de dijk ten zuiden van Polder Dronthen.

Waterdiepte (m)



Figuur 3-2 Legenda gebruikt in de figuren van overstromingsverloop.

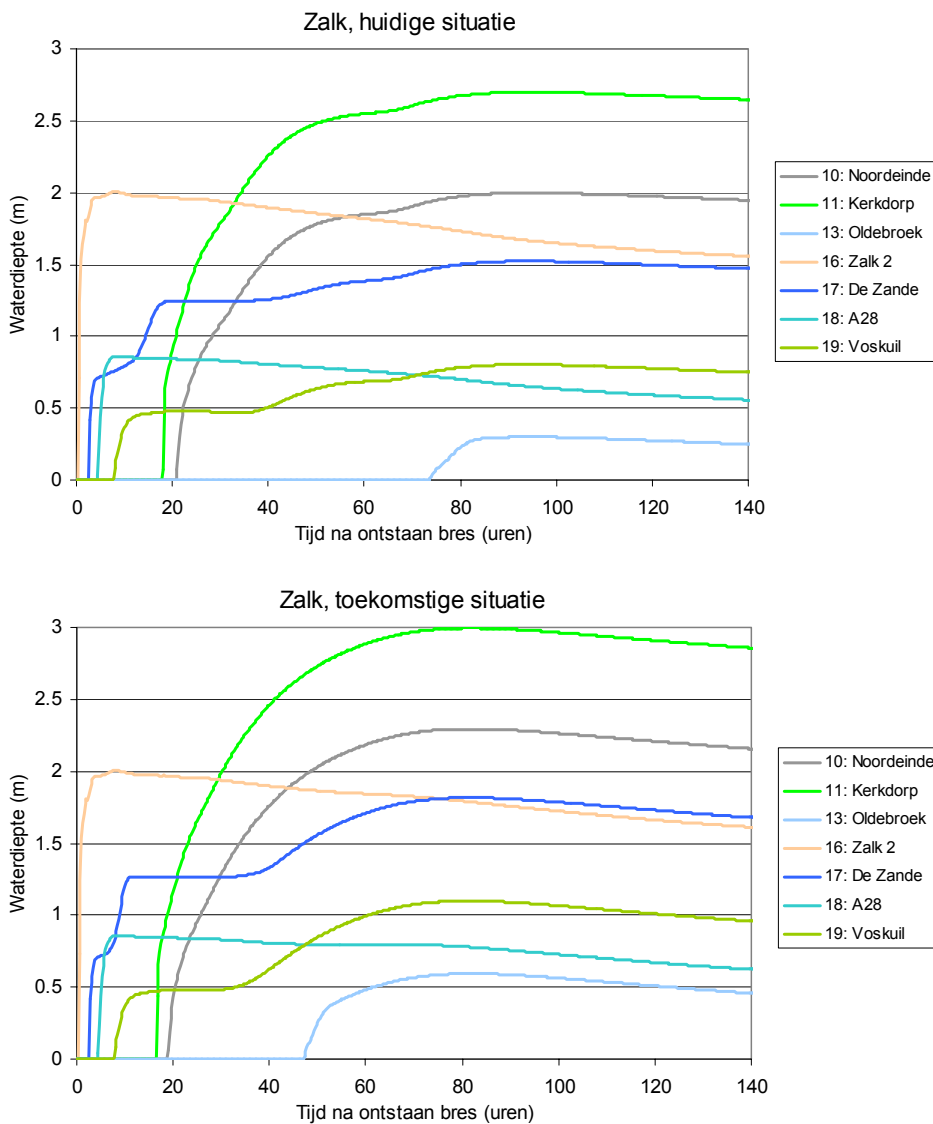


Figuur 3-3 Overstromingspatroon na een doorbraak bij Kampen: huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts).

3.2 Zalk

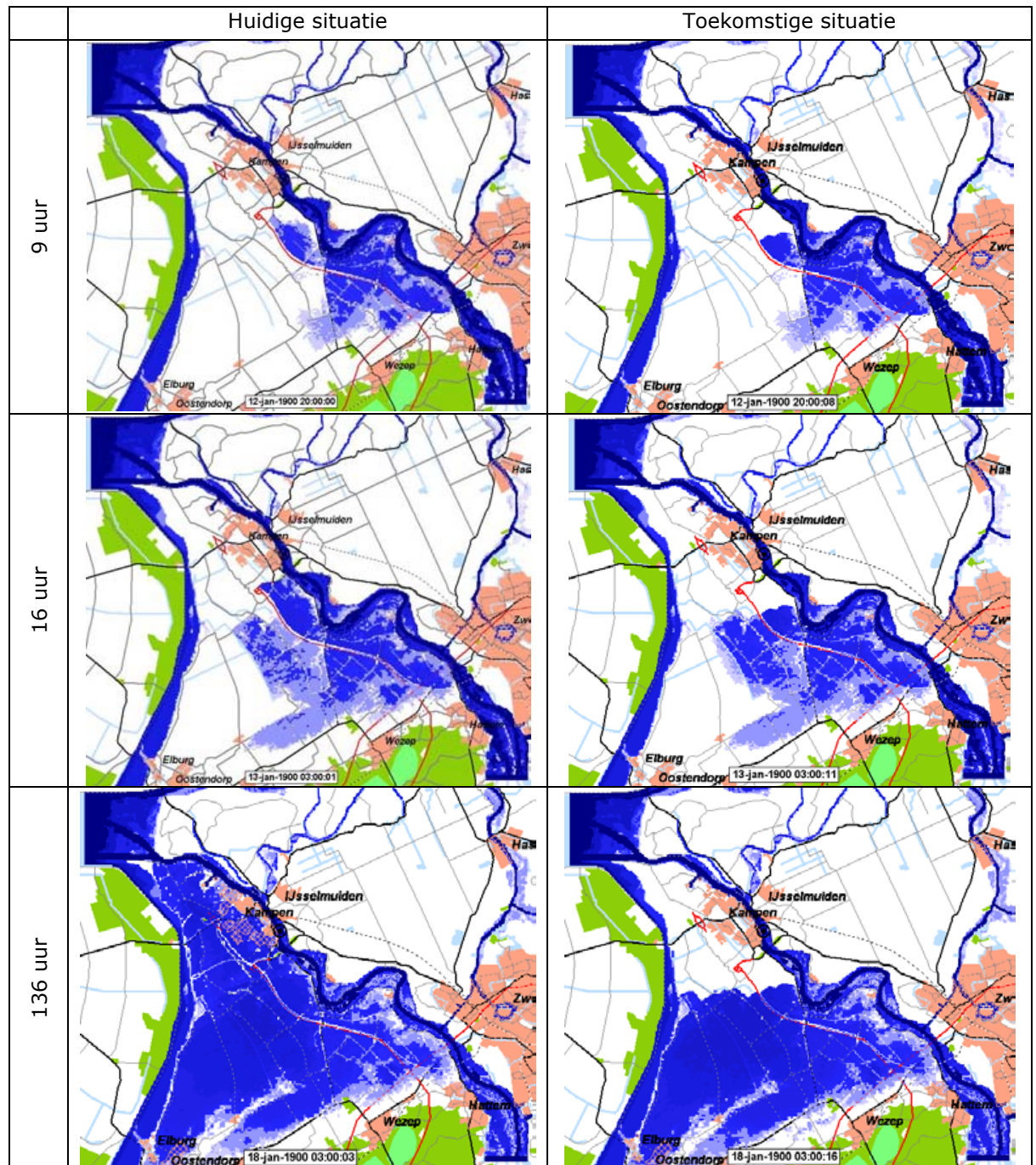
Er zijn twee berekeningen uitgevoerd waarbij een bres ontstaat bij Zalk. In beide berekeningen is uitgegaan van een maximale IJsselafvoer van 2500 m³/s en een waterstand op het Ketelmeer van NAP + 1,20 m (Figuur 2-4). In de schematisatie van de huidige situatie is de Hanzelijn opgenomen in de bodemhoogte, in het toekomstige scenario zijn daarnaast ook de bypass en nieuwe woonwijken in de bodemhoogte en ruwheid verwerkt. In deze paragraaf wordt het overstromingspatroon voor deze twee berekeningen beschreven en vergeleken.

In Figuur 3-4 is het verloop van de waterdiepte op een aantal plaatsen in het gebied weergegeven, zie paragraaf 2.4 voor de locaties van de punten (meer uitgebreide grafieken staan in Bijlage C). Het waterdiepteverloop bij punt 'Zalk 2', vlakbij de bres, komt overeen in de huidige en toekomstige situatie. In beide gevallen begint de overstroming 30 minuten na het ontstaan van de bres, en stijgt de waterdiepte tot 2,0 meter. Vervolgens beginnen punten 'De Zande', 'A28' en 'Voskuil' te overstromen. Het begin van de overstroming komt overeen voor de huidige en toekomstige situatie, maar de waterdiepte in de toekomstige situatie neemt verder toe. 'Kerkdorp' ligt in op een laag punt in het gebied, waar dus veel water komt te staan. Door de aanwezigheid van de bypass in de toekomstige situatie neemt de maximale waterdiepte verder toe (dit geldt ook voor punt 'Noordeinde'). De inundatie van 'Oldebroek' begint in het toekomstige scenario eerder omdat water door de bypass wordt opgestuwd richting het zuiden. De stijgsnelheid is maximaal aan het begin van de inundatie en hierin komen de twee scenario's overeen. Verder blijven de locaties ten noorden van de bypass droog.



Figuur 3-4 Waterdiepte na een doorbraak bij Zalk: huidige situatie (boven) en toekomstige situatie (onder).

In beide situaties inundeert allereerst Hoog-Zalk ten oosten van de N50 (Figuur 3-5). (De legenda gebruikt in deze figuren is weergegeven in Figuur 3-2.) Vervolgens stroomt het water richting het westen over de N50 en naar het noorden over de N763 bij De Zande. In het toekomstige scenario bereikt het water na 5 uur de zuidelijke dijk van de bypass bij het Onderdijks, waarna uitbreiding van het overstroomde gebied alleen nog richting het (zuid)westen plaats kan vinden. In de huidige situatie vormen de N50 bij Kampen en het deel van de Hanzelijn in Polder Dronthen een tijdelijke barrière tegen de verspreiding van het water richting het noorden. Uiteindelijk blijven in het noorden, in de huidige situatie, alleen het stadscentrum van Kampen en de wijk Brunnepe droog. In beide situaties reikt het water in het zuiden van Elburg tot voorbij knooppunt Hattermerbroek.



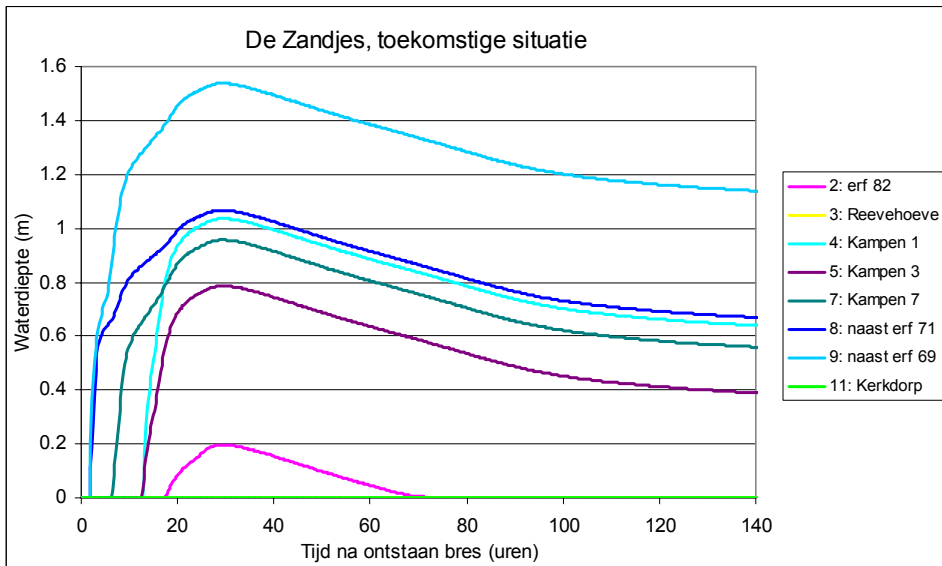
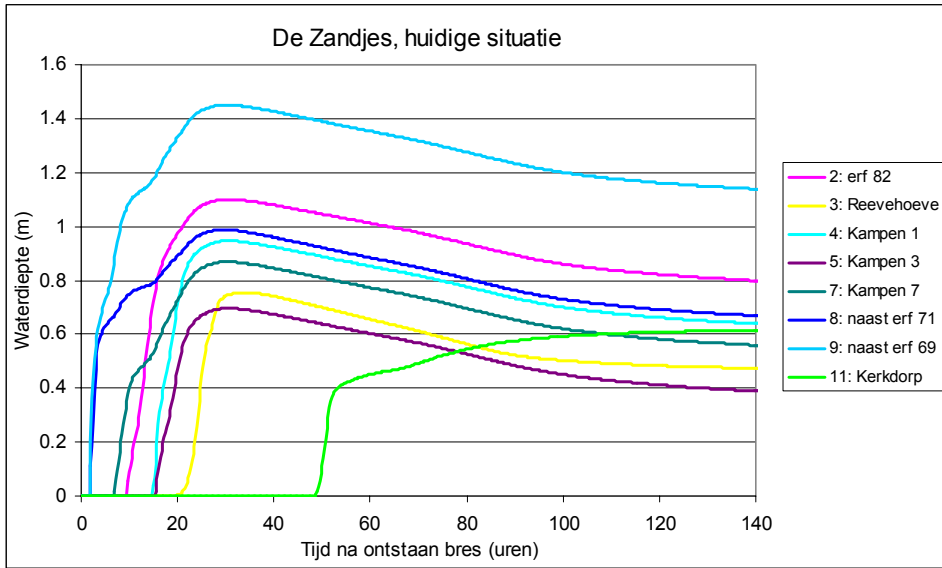
Figuur 3-5 Overstromingspatroon na een doorbraak bij Zalk. Extreem toekomstig scenario: Zonder bypass (links) en met bypass (rechts).

3.3 De Zandjes

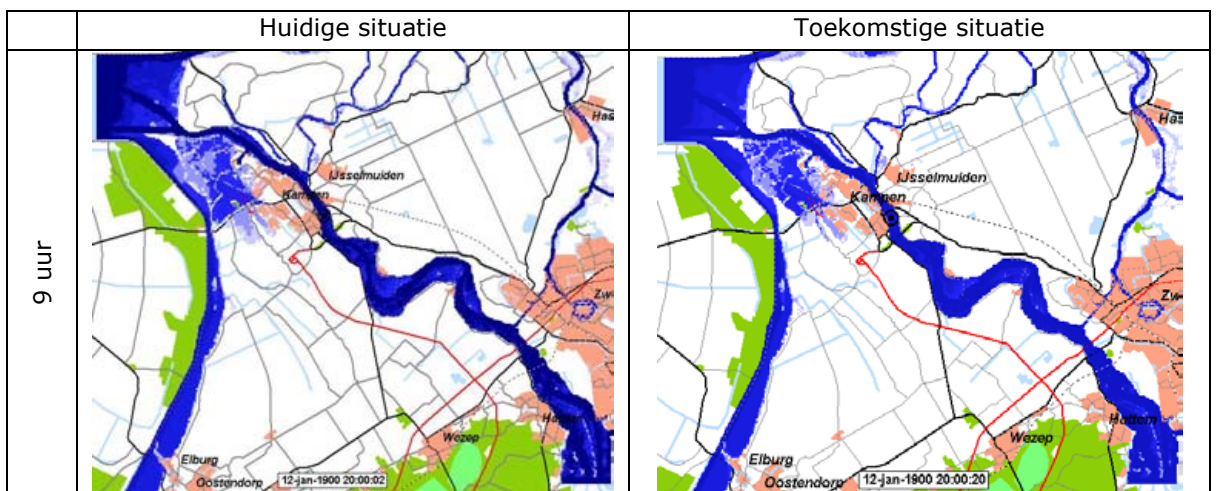
Er zijn vier berekeningen uitgevoerd waarbij een bres ontstaat bij De Zandjes. In deze paragraaf worden de resultaten van twee berekeningen met een maximale IJsselafvoer van 2500 m³/s en een waterstand op het Ketelmeer van NAP + 1,20 m uitgewerkt (Figuur 2-4). In de volgende paragraaf worden de resultaten van twee sommen met een storm op het Ketelmeer uitgewerkt. In de schematisatie van de huidige situatie is de Hanzelijn opgenomen in de bodemhoogte, in het toekomstige scenario zijn daarnaast ook de bypass en nieuwe woonwijken in de bodemhoogte en ruwheid verwerkt.

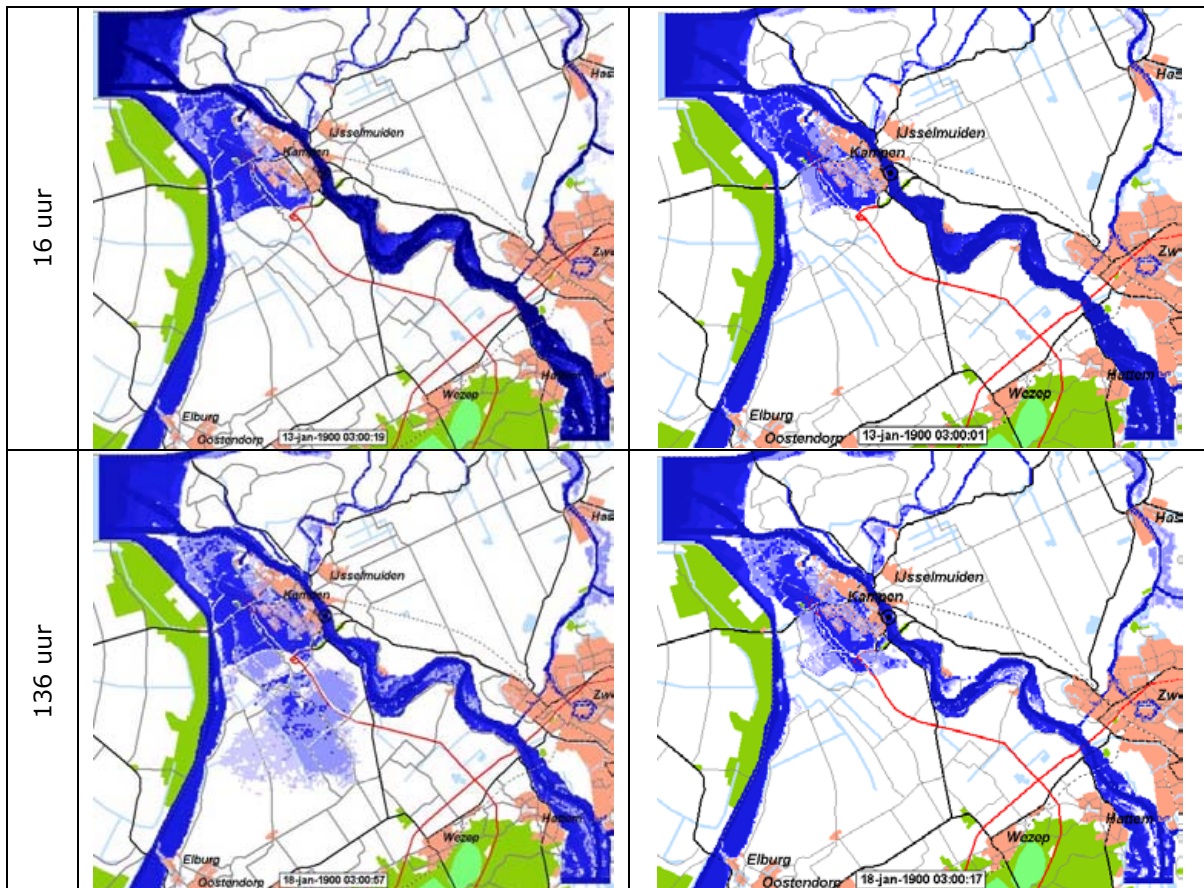
In Figuur 3-6 is het verloop van de waterdiepte op een aantal plaatsen in het gebied weergegeven, zie paragraaf 2.4 voor de locaties van de punten (meer uitgebreide grafieken staan in Bijlage C). Locaties 'erf 71' en 'erf 69' liggen nabij de bres en beginnen drie uur na het ontstaan van de bres te overstromen, vervolgens wordt 'Kampen 7' bereikt. 'Erf 82' wordt in de huidige situatie al na 10,5 uur bereikt maar in de toekomstige situatie pas na 18,5 uur ook is de maximale waterdiepte in de toekomstige situatie ongeveer 0,9 m lager. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat de bodem onder de nieuwe woonwijken een meter is opgehoogd. De locaties 'Kampen 1' en 'Kampen 3' overstromen gelijktijdig en het verloop van de waterdiepte komt ongeveer overeen voor de huidige en toekomstige situatie, maar de maximale diepte is 0,1 m hoger in het toekomstige scenario.

Wanneer een bres bij De Zandjes ontstaat stroomt het water via de westzijde van het dijkkringgebied richting het zuiden (Figuur 3-7). (De legenda gebruikt in deze figuren is weergegeven in Figuur 3-2). Wanneer het waterfront de Hanzelijn heeft bereikt, wordt het water opgestuwd, nemen de waterdieptes toe en overstromt het westelijk deel van Kampen. In de huidige situatie stroomt het water over de Hanzelijn naar Polder Dronthen, vervolgens Kamperveen. Tegelijkertijd inundeert het gebied ten oosten van de N50. Aan het einde van de berekening (6,5 dagen na het ontstaan van de bres) beginnen net Polder Oosterwolde en Het Onderdijks te overstromen. In de toekomstige situatie loopt het water niet verder dan tot tegen de dijk van de bypass aan. In de huidige én toekomstige situatie blijven het oude centrum van Kampen en de wijk Brunnepe droog (onderste rij in Figuur 3-7).



Figuur 3-6 Waterdiepte na een doorbraak bij De Zandjes: huidige situatie (boven) en toekomstige situatie (onder).





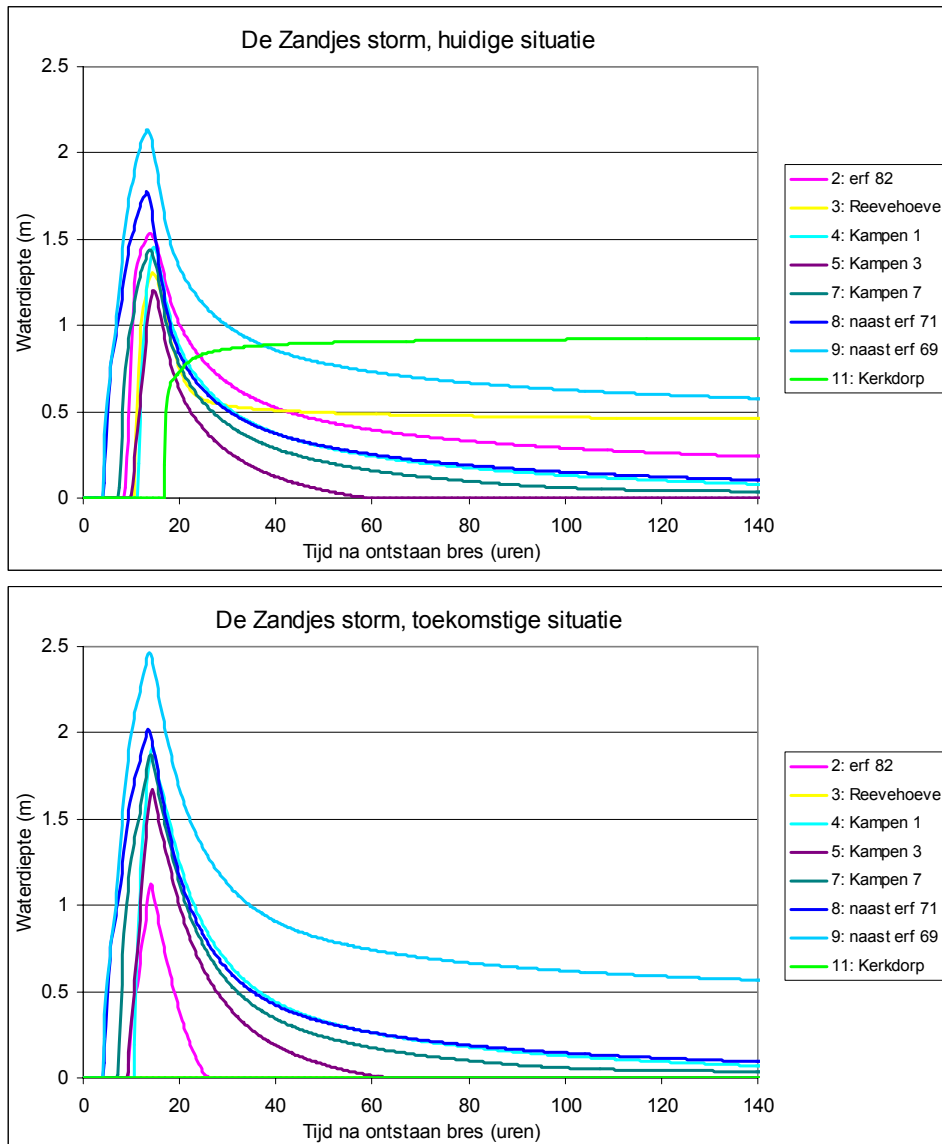
Figuur 3-7 Overstromingspatroon na een doorbraak bij De Zandjes: huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts).

3.4 De Zandjes, storm

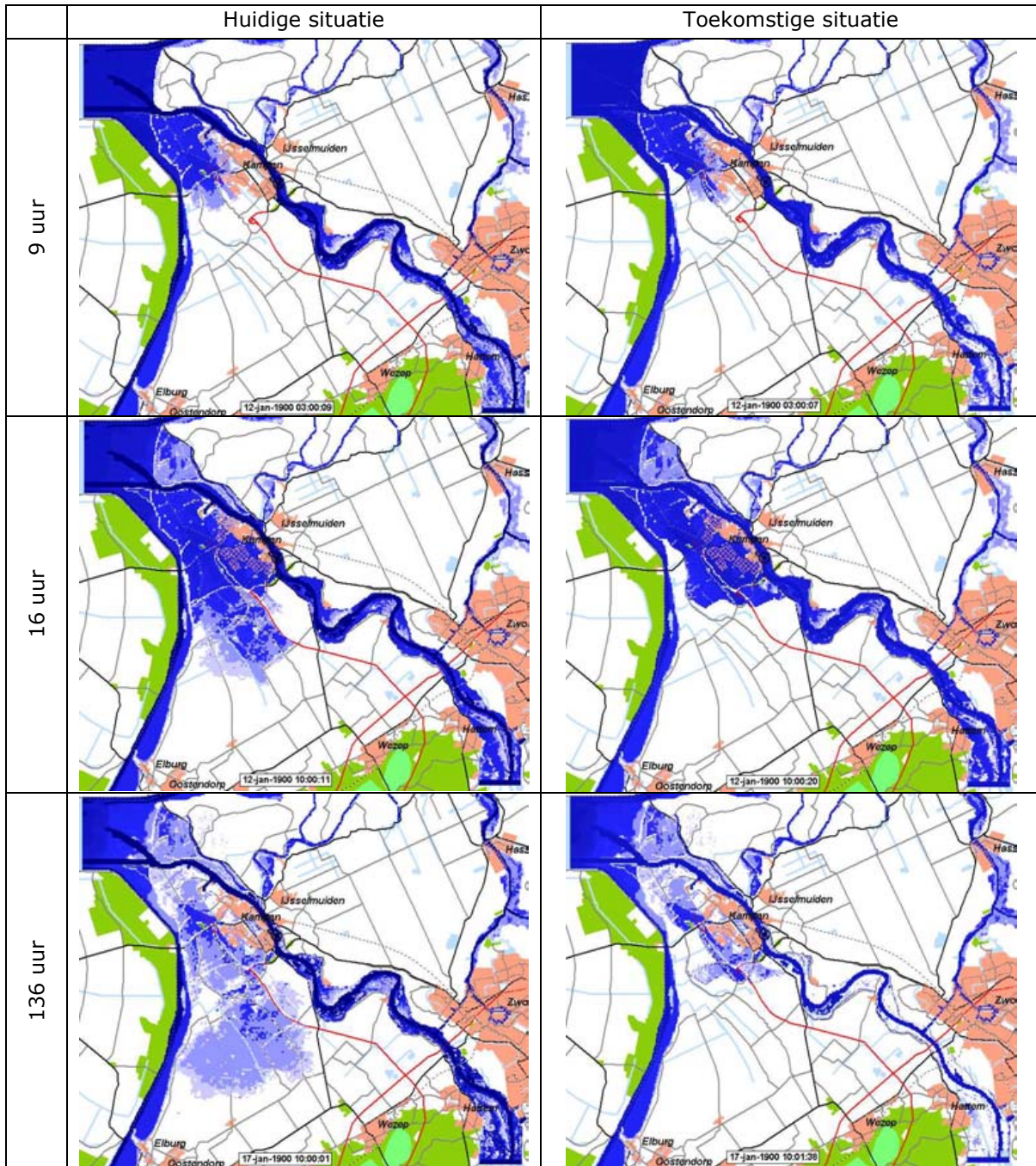
In deze paragraaf worden sommen uitgewerkt waarbij een bres ontstaat bij De Zandjes tijdens een storm op het Ketelmeer. Hierbij wordt uitgegaan van een maximale waterstand op het Ketelmeer van NAP + 2,95 m en een afvoer op de IJssel van 840 m³/s (Figuur 2-4). De twee scenario's die zijn uitgevoerd beschrijven de huidige en de toekomstige situatie. In de huidige situatie is de Hanzelijn opgenomen in de bodemhoogte, in het toekomstige scenario zijn daarnaast ook de bypass en nieuwe woonwijken in de bodemhoogte en ruwheid verwerkt.

In Figuur 3-8 is het verloop van de waterdiepte op een aantal plaatsen in het gebied weergegeven, zie paragraaf 2.4 voor de locaties van de punten (meer uitgebreide grafieken staan in Bijlage C). Eerst wordt het waterdiepte verloop van de huidige situatie beschreven. Locaties 'erf 71' en 'erf 69' liggen nabij de bres en het water bereikt deze locaties vier uur na het begin van de overstroming, vervolgens wordt 'Kampen 7' bereikt. Acht uur na het begin begint 'erf 82' te overstromen, en binnen drie uur overstromen ook 'Reevhoeve', 'Kampen 1' en 'Kampen 3'. 'Kerkdorp' ligt ten zuiden van de geplande bypass en wordt na 17 uur bereikt. 'Kerkdorp' is gesitueerd in een laaggelegen gebied wat volloopt waarna de waterdiepte stijgt tot 0,9 m. De overige locaties in de grafiek reflecteren met de korte piek het waterstandsverloop op het Ketelmeer (snelle stijging en daling van de waterstand). Bij een overstroming als gevolg van een hoge IJsselafoer is de piek veel breder; vergelijk Figuur 3-6 met Figuur 3-8. In de toekomstige situatie blijven 'Reevhoeve' en 'Kerkdorp' droog. Behalve voor 'erf 82' zijn de maximale waterdiepten in de toekomstige situatie tientallen centimeters hoger dan in de

huidige situatie. Het punt 'erf 82' ligt ter plaatse van een nieuwe woonwijk waarvan de bodem verhoogd is.



Figuur 3-8 Waterdiepte na een doorbraak bij De Zandjes tijdens een storm op het Ketelmeer: huidige situatie (boven) en toekomstige situatie (onder).



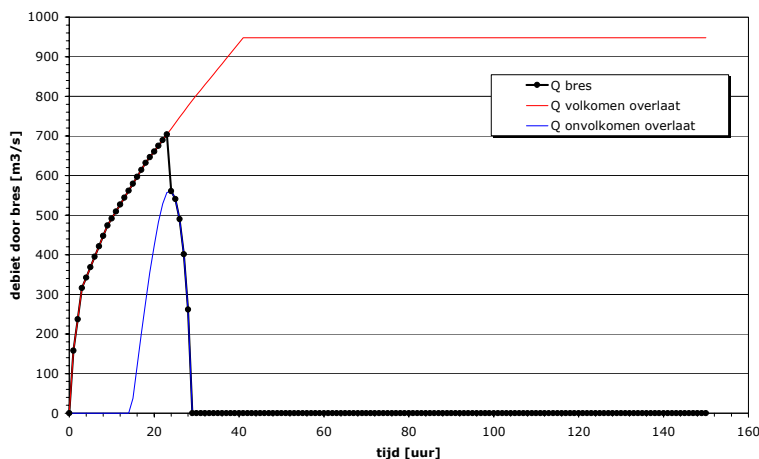
Figuur 3-9 Overstromingspatroon na een doorbraak bij De Zandjes, tijdens een storm op het Ketelmeer: huidige situatie (links) en toekomstige situatie (rechts).

Het overstromingspatroon is verder beschreven met behulp van de screenshots in Figuur 3-9. (De legenda gebruikt in deze figuren is weergegeven in Figuur 3-2). Het water verspreidt zich naar het zuiden om Kampen heen. Wanneer het water de Hanzelijn bereikt, wordt het opgestuwd en overstromt het westelijk deel van Kampen. In de huidige situatie stroomt het water over de Hanzelijn naar Polder Dronthen, vervolgens Kamperveen. Tegelijkertijd inundeert het gebied ten oosten van de N50. In de toekomstige situatie loopt het water niet verder dan tot tegen de dijk van de bypass aan. In de huidige én de toekomstige situatie blijven het oude centrum van Kampen en de wijk Brunnepe droog. Vergeleken met het verloop van de waterdiepte in de situatie zonder storm (zie Figuur 3-6) overstromt tijdens de storm een groter

gebied in een kortere tijd. Door de kortere duur van de waterstandspiek op de IJssel nemen waterdieptes in het gebied na 19 uur af.

3.5 Bypass

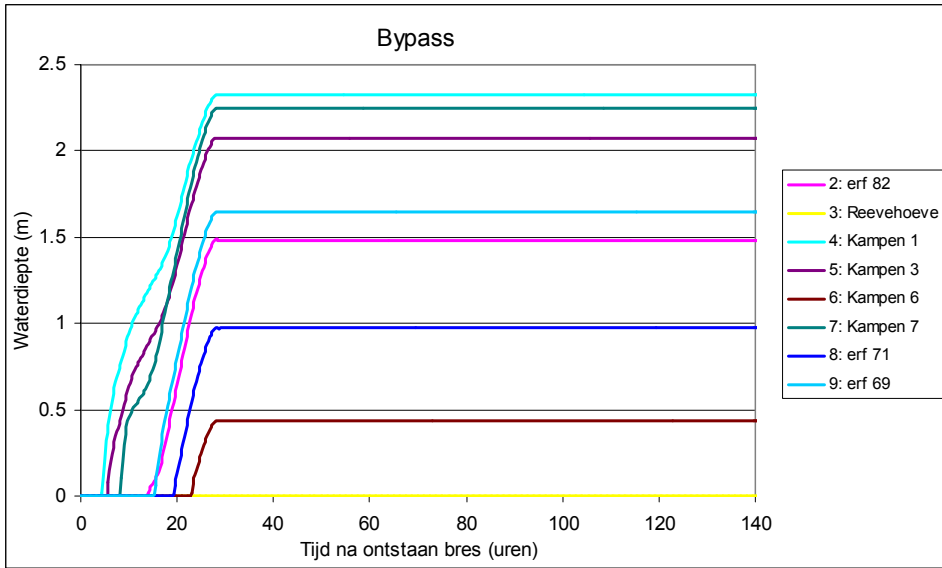
In deze paragraaf wordt het overstromingspatroon beschreven van de som waarbij een bres ontstaat in de bypass. Deze bres is gesitueerd in de noordelijke dijk van de bypass, ten oosten van het knooppunt met de Hanzelijn, waardoor alleen het gebied ten noorden van de bypass overstroomt (Figuur 2-1). Naast de bypass zijn ook de Hanzelijn en de nieuwbouwwijken rond Kampen opgenomen in de schematisatie. Het debiet door de bres is weergegeven als een zwarte lijn in Figuur 3-10.



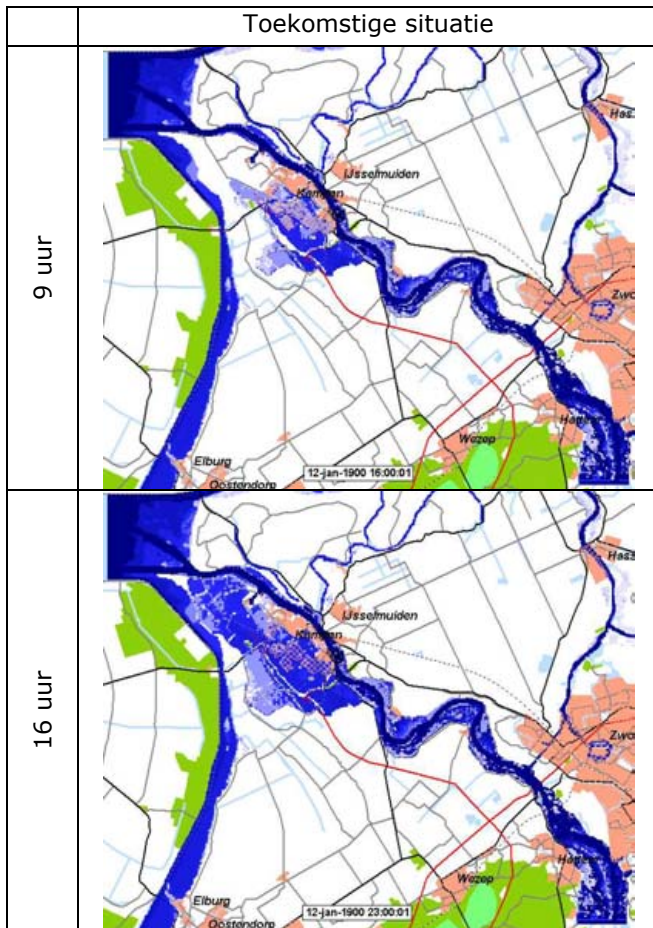
Figuur 3-10 Afvoer door de bres in de bypass (in m^3/s).

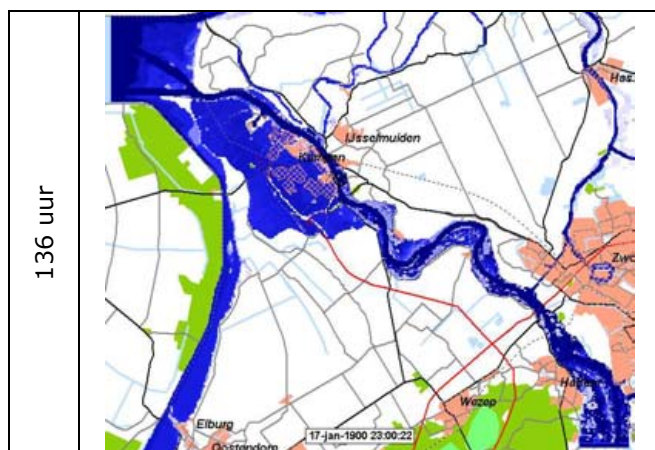
In Figuur 3-11 is het verloop van de waterdiepte op een aantal plaatsen in het gebied weergegeven, zie paragraaf 2.4 voor de locaties van de punten (een meer uitgebreide grafiek staat in Bijlage C). Het punt 'Kampen 1' ligt dicht bij de bres en wordt na 4,5 uur bereikt door het water. Vervolgens stroomt het water aan de oostzijde van de N50 verder naar het noorden en overstroomt 'Kampen 7' en 'Kampen 3' (Figuur 3-12). (De legenda gebruikt in deze figuren is weergegeven in Figuur 3-2). Door de uitbreiding van het overstroomde gebied naar het westen overstroomt 'erf 69', 'erf 82' en 'erf 71' waarna ook de binnenstad van Kampen inundeert ('Kampen 6').

Omdat de waterstand in de bypass als constant is verondersteld, stijgt het waterdiepte in het overstroomde gebied tot op een gelijk peil met de bypass. Hierna loopt het bresdebit terug naar $0 m^3/s$ en blijft de waterdiepte in het overstroomde gebied constant. Bij de schematisatie van overstromingen vanuit de IJssel blijft de waterdiepte variabel en daalt de waterstand na het behalen van het maximum (zie bijvoorbeeld Figuur 3-1). Vergelijken met het scenario 'Kampen, toekomstige situatie' stijgt het water bij een bres in de bypass tot een 0,2 m grotere diepte. Hierdoor is de maximale waterdiepte in de wijken Cellesbroek/Middenwetering en Flevowijk/De Maten door een bres in de bypass respectievelijk 2,4 en 2,6 m, tegen 2,2 en 2,4 m bij het toekomstige scenario met een bres bij Kampen. De waterdieptes worden dus overschat in vergelijking met de overige berekende scenario's wat van invloed zal zijn op de berekende schade en het aantal slachtoffers (zie paragraaf 4.6).



Figuur 3-11 Waterdiepte na een doorbraak in de dijk van de bypass bij de knoop.





Figuur 3-12 Overstromingspatroon na een doorbraak in de dijk van de bypass bij de knoop.

4 Schade en slachtoffers

4.1 Gebruik van HIS-SSM en aanpassingen in database

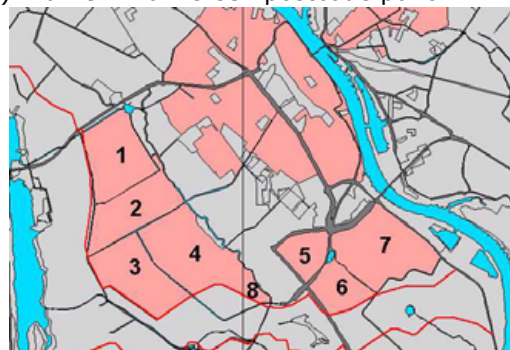
De resultaten van de overstromingsberekeningen worden gebruikt om economische schade en slachtoffers te bepalen met HIS-SSM (Schade en Slachtoffer Module van Rijkswaterstaat DWW). Bij de berekening wordt gebruik gemaakt van de standaardmethode met per locatie de maximale overstromingsdiepte, maximale stroomsnelheid en stijgsnelheid. Daarnaast is er geen sprake van stormgolven en wordt een gemiddelde waarden gebruikt voor de kritieke stroomsnelheid (8 m/s). De kritieke stroomsnelheid is de snelheid waarbij de maximale schade aan woningen optreedt. Stormgolven spelen een rol bij hogere waterstanden en kunnen schade aan huizen veroorzaken, deze schade heeft een maximaal aandeel in de totale schade van 1 %. Er wordt geen rekening gehouden met een eventuele evacuatie (evacuatiefactor = 0). Dit betekent dat 0% van de inwoners is geëvacueerd voor de daadwerkelijke overstroming plaatsvindt. Dit is van invloed op het uiteindelijke aantal slachtoffers.

Er is gebruik gemaakt van de dataset 'SSM100NL2004' met het model 'Standaardmethode2004'. In de dataset staan bestanden met geografisch georiënteerde gegevens, zoals landgebruik, inwoners en arbeidsplaatsen. De verwijzingen naar de geografische bestanden staan in het model, deze bevat ook de koppeling middels schaderelaties. De totale schade die wordt berekend is de som van de directe schade (vanwege direct contact van objecten met water), directe schade door bedrijfsuitval en indirecte schade (bij toeleverende en afnemende bedrijven door doorsnijden van aan- en afvoerroutes).

De module bevat een database met hierin het grondgebruik, maar ook gegevens over bijvoorbeeld bewoning en arbeidsplaatsen. Door het grondgebruik aan te passen kan ook voor de toekomstige situatie met nieuwe woonwijken de berekening uitgevoerd worden. Door het vergelijken van de resultaten kan het effect van de bypass op de schade en het aantal slachtoffers bepaald worden.

Voor de scenario's van de huidige situatie is gebruik gemaakt van de bestaande dataset 'SSM100NL2004'. Voor de toekomstige scenario's waarin de nieuwe woonwijken zijn opgenomen is een nieuwe dataset gemaakt. De nieuwe woonwijken zijn ingedeeld in acht vlakken waaraan kentallen zijn toegekend (Figuur 4-1 & Tabel 4-1). Aan elk vlak is een postcode punt toegevoegd met hieraan gekoppeld woontype, aantal woningen, aantal inwoners en het aantal auto's. Hierbij is uitgegaan van:

- Eengezinswoningen;
- 17 woningen per hectare;
- 1,8 inwoners per woning;
- 0,38 auto per inwoner.



Figuur 4-1 Vlakindeling nieuwe woonwijken.

vlak	Oppervlak (m ²)	Aantal woningen	Aantal inwoners	Aantal auto's
1	826.840	1.406	2.531	962
2	748.996	1.273	2.291	871
3	837.814	1.424	2.563	974
4	1.048.356	1.782	3.208	1.219
5	334.531	569	1.024	389
6	399.436	679	1.222	464
7	1.045.101	1.777	3.199	1.216
8	98.514	167	301	114
totaal	5.339.588	9.077	16.339	6.209

Tabel 4-1 Kentallen nieuwe woonwijken.

4.2 Kampen

De resultaten van de schade- en slachtofferberekening zijn weergegeven in onderstaande tabel (Tabel 4-2). De schade is het totaal bedrag in miljoenen euro berekend voor de categorieën stedelijk gebied, vervoermiddelen en eengezinswoningen. Het aantal getroffen en reflecteert het aantal inwoners met overlast als gevolg van de overstroming. Het aantal slachtoffers geeft weer hoeveel mensen er omkomen als gevolg van de overstroming. Hierbij spelen factoren als waterdiepte, stroomsnelheid en stijgsnelheid een rol. Ook het instorten van gebouwen als gevolg van de overstroming is hierop van invloed. Om de analyse van de gevolgen van de aanleg van de bypass te vergemakkelijken is het gebied opgedeeld in drie delen: deel ten noorden van de bypass (zijde Kampen), deel ten zuiden van de bypass (zijde Elburg) en deel in de bypass. De bovenste regels geven de aantallen voor de huidige situatie, daaronder staan de resultaten voor de toekomstige situatie en daaronder staat het verschil (toekomst minus huidig).

Scenario	Zone	Schade (MEuro)	Getroffenen	Slachtoffers
Huidig	Zijde Kampen	378	18761	111
	Zijde Elburg	136	10240	22
	bypass	0	21	0
	totaal	514	29022	133
Toekomst	Zijde Kampen	1249	39882	459
	Zijde Elburg	0	0	0
	bypass	0	0	0
	totaal	1249	39882	459
Toename	Zijde Kampen	871	21121	348
	Zijde Elburg	-136	-10240	-22
	bypass	0	-21	0
	totaal	735	10860	326

Tabel 4-2 Schade en slachtoffer berekening voor een bres bij Kampen.

De totale schade, getroffen en slachtoffers neemt toe in de toekomstige situatie terwijl door de ligging van de bypass de schade in de zones 'zijde Elburg' en 'bypass' gereduceerd wordt tot nul (De bypass keert het water waardoor het gebied in de bypass in deze berekeningen droog

blijft). De schade aan 'zijde Kampen' neemt dus meer toe dan de afname in de overige twee zones. Dit komt door de toevoeging van een aantal woonwijken ten noorden van de bypass waardoor de economische waarde van het gebied en het aantal inwoners toeneemt. Overstroming van deze woonwijken zal dus leiden tot grotere schadegetallen.

4.3 Zalk

Tijdens deze overstromingssommen ontstaat een bres bij Zalk, ten zuiden van de bypass, waardoor in het toekomstige scenario de zones in en ten noorden van de bypass droog blijven. Vandaar dat er in de toekomstige situatie geen schade ontstaat in de zones 'zijde Kampen' en 'bypass'. Aan de Elburgzijde neemt de schade, het aantal getroffen en de slachtoffers toe, maar deze toename is kleiner dan de afname in schade en slachtoffers in de overige zones.

Vergeleken met de schadegetallen als gevolg van een bres bij Kampen blijkt de breslocatie weinig invloed te hebben op de schade aan de zijde Kampen. Wel neemt de schade aan zijde Elburg toe wanneer een bres op een meer stroomopwaartse locatie langs de IJssel ontstaat, zoals een bres bij Zalk.

Scenario	Zone	Schade (MEuro)	Getroffenen	Slachtoffers
Huidig	Zijde Kampen	363	18513	55
	Zijde Elburg	221	16202	41
	bypass	0	46	0
	totaal	584	34761	96
Toekomst	Zijde Kampen	0	0	0
	Zijde Elburg	283	19831	53
	bypass	0	0	0
	totaal	283	19831	53
Toename	Zijde Kampen	-363	-18513	-55
	Zijde Elburg	62	3629	12
	bypass	0	-46	0
	totaal	-301	-14930	-43

Tabel 4-3 Schade en slachtoffer berekening voor een bres bij Zalk.

4.4 De Zandjes

De bres 'De Zandjes' bevindt zich in het noorden van het gebied. In de toekomstige situatie zal het gebied in en ten zuiden van de bypass droog blijven (zones 'bypass' en 'zijde Elburg'). Door de aanleg van nieuwbouwwijken in het toekomstige scenario neemt de schade aan de zijde Kampen sterk toe. Toch is de schade beperkter dan tijdens een bres bij Kampen omdat een deel van het gebied ten noorden van de bypass droog blijft.

Scenario	Zone	Schade (MEuro)	Getroffenen	Slachtoffers
Huidig	Zijde Kampen	313	17662	47
	Zijde Elburg	1	364	1
	bypass	0	21	0
	totaal	314	18047	48
Toekomst	Zijde Kampen	793	33817	84
	Zijde Elburg	0	0	0
	bypass	0	0	0
	totaal	793	33817	84
Toename	Zijde Kampen	480	16155	37
	Zijde Elburg	-1	-364	-1
	bypass	0	-21	0
	totaal	479	15770	36

Tabel 4-4 Schade en slachtoffer berekening voor een bres bij De Zandjes.

4.5 De Zandjes, storm

Wanneer een bres ontstaat bij de Zandjes tijdens een storm op het Ketelmeer overstroomt een groot gebied snel. Door de aanleg van de bypass overstroomt in de toekomstige situatie alleen het gebied ten noorden van de bypass (zone Kampen). Doordat de bypass het water opstuwt, stijgen de waterdieptes in de toekomstige situatie verder dan in de huidige situatie. Hierdoor, en door de toename van het aantal inwoners, neemt de schade toe. De schade en het aantal getroffen in de zones Elburg en bypass zijn in de huidige én toekomstige situatie beperkt. De schade in zone Kampen is vergelijkbaar met die in de overige scenario's.

Scenario	Zone	Schade (MEuro)	Getroffenen	Slachtoffers
Huidig	Zijde Kampen	393	19202	121
	Zijde Elburg	2	432	1
	bypass	0	21	0
	totaal	396	19655	122
Toekomst	Zijde Kampen	1125	36617	506
	Zijde Elburg	0	0	0
	bypass	0	0	0
	totaal	1125	36617	506
Toename	Zijde Kampen	732	17415	385
	Zijde Elburg	-2	-432	-1
	bypass	0	-21	0
	totaal	730	16962	384

Tabel 4-5 Schade en slachtoffer berekening voor een bres bij De Zandjes tijdens een storm.

4.6 Bypass

De bres in de bypass bevindt zich in de noordelijke dijk bij het knooppunt met de Hanzelijn. Het gebied ten zuiden van de bypass blijft in dit scenario droog. Omdat dit het toekomstige scenario is, is een enkele berekening van de schade en het aantal slachtoffers uitgevoerd.

Vergeleken met de toekomstige situatie bij bres 'Kampen' nemen de schade, het aantal getroffen en slachtoffers toe wanneer een bres in de bypass ontstaat bij het knooppunt met de Hanzelijn. Het aantal getroffen neemt toe met ongeveer 5 % en het aantal slachtoffers neemt toe met 15 %. Dit verschil wordt veroorzaakt door het overstromen van een groter gebied, waaronder een deel van de binnenstad van Kampen, en een toename van de waterdieptes.

Scenario	Zone	Schade (MEuro)	Getroffenen	Slachtoffers
Toekomst	Zijde Kampen	1410	41866	533
	Zijde Elburg	0	0	0
	bypass	0	0	0
	totaal	1410	41866	533

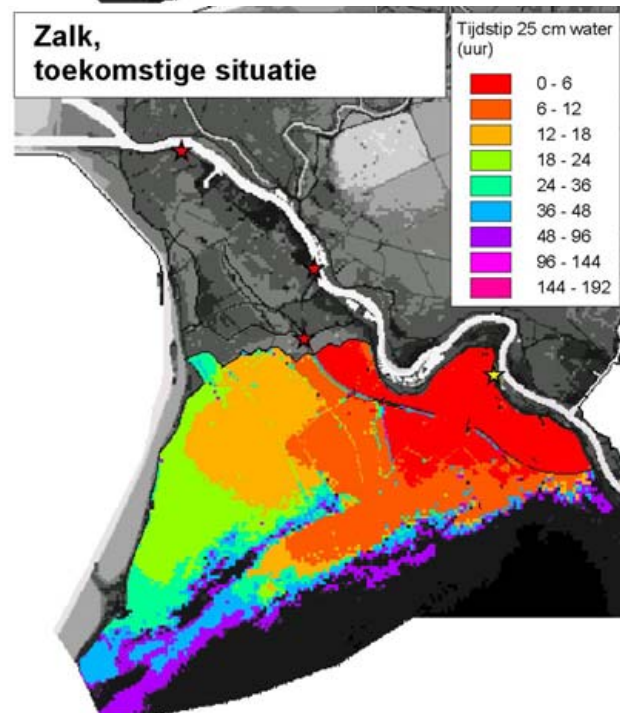
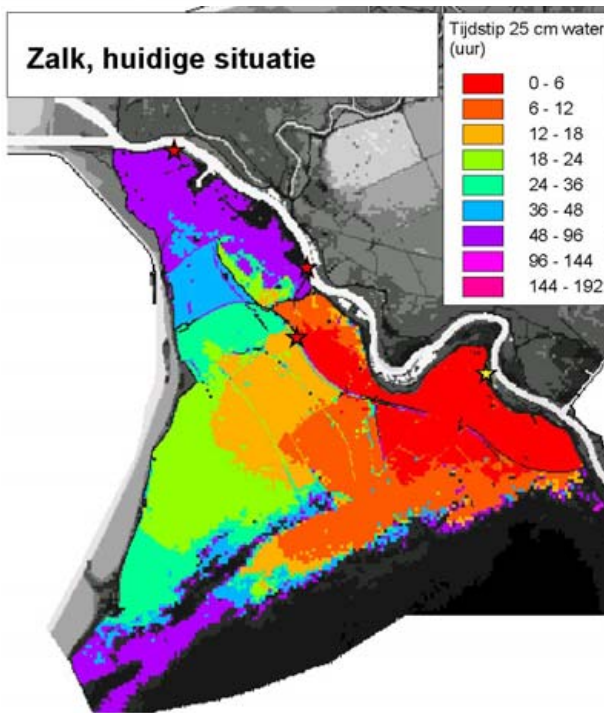
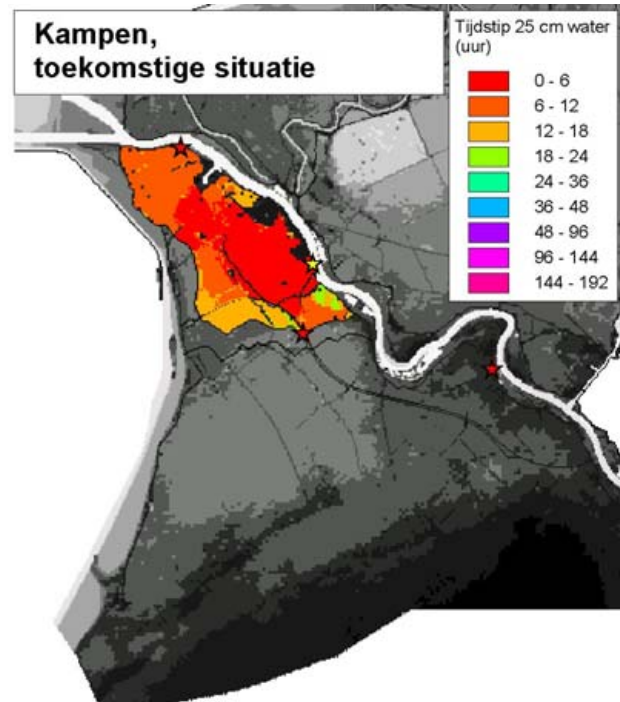
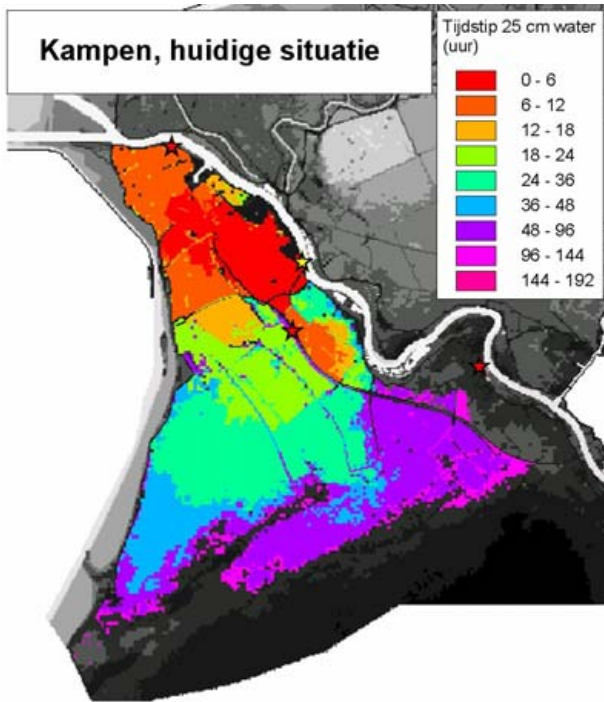
Tabel 4-6 Schade en slachtoffer berekening voor een bres bij de knoop in de bypass.

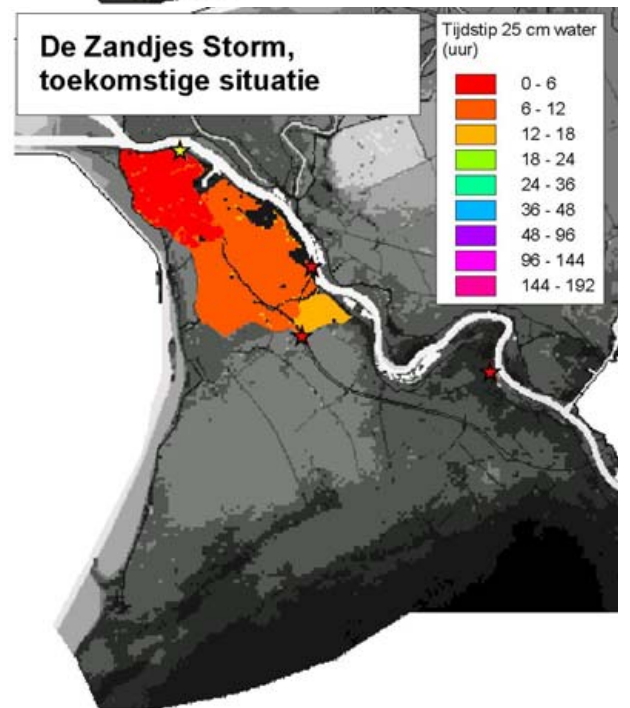
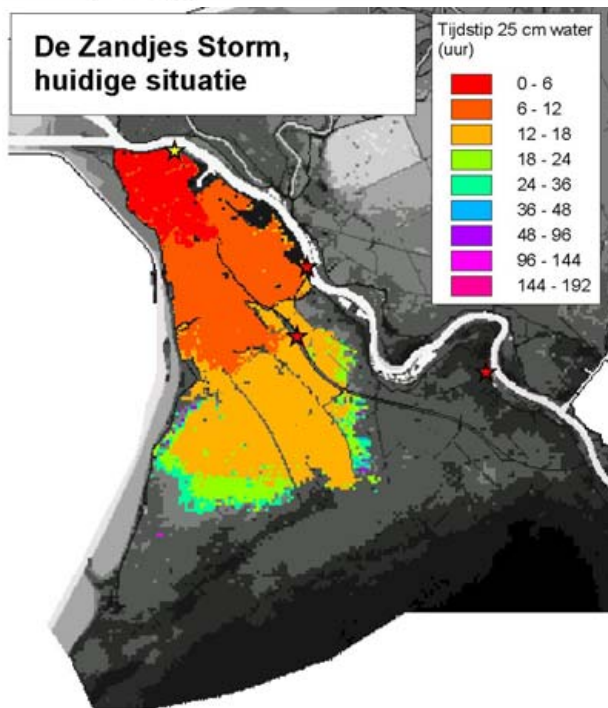
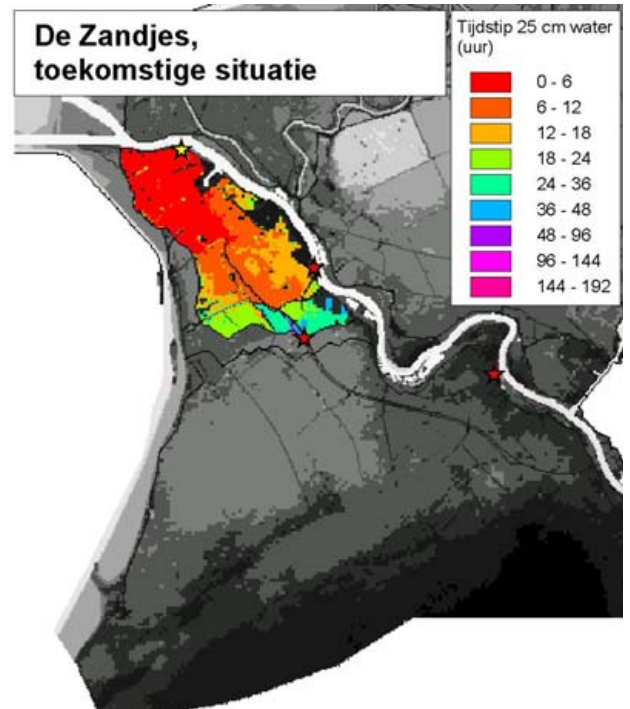
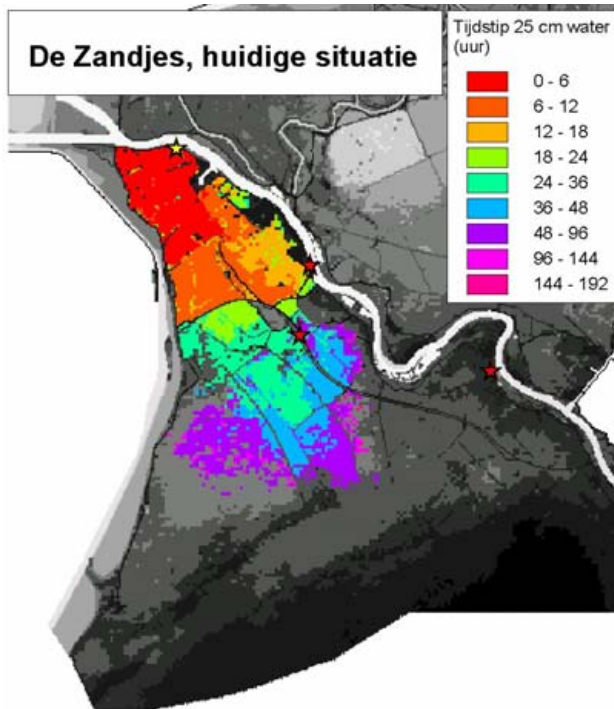
5 Evacuatie

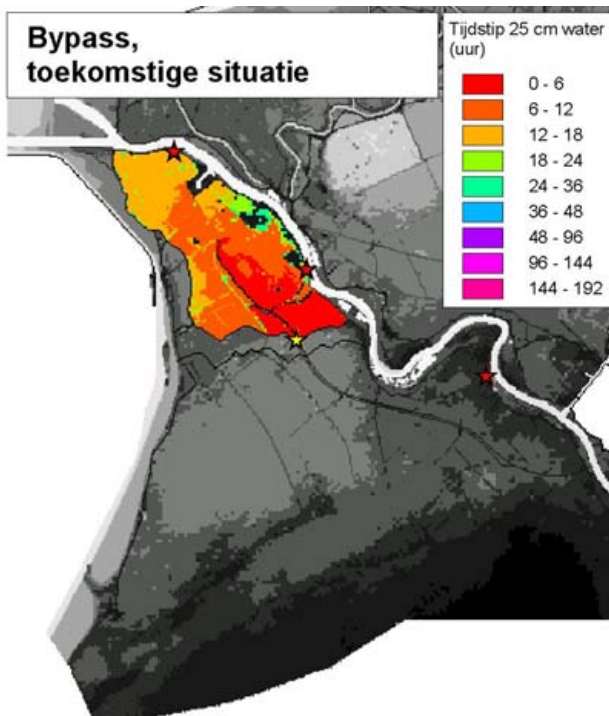
Bij de berekeningen van schade en slachtoffers is geen rekening gehouden met de mogelijkheid tot evacueren van inwoners en werknemers binnen het getroffen gebied. Het aantal slachtoffers geeft dus een pessimistische indicatie van de gevolgen van een overstroming. Door het uitvoeren van een evacuatie kan het aantal slachtoffers worden teruggebracht. In dit hoofdstuk is het effect van de bypass op de mogelijkheden om te evacueren besproken.

Uit het beschreven overstromingspatroon (Hoofdstuk 3) blijkt dat na het ontstaan van een bres in de primaire kering een groot gebied overstromt waarbij waterdieptes tot meer dan 2 m geen uitzondering zijn. De berekende stijgsnelheden zijn vooral aan het begin van de inundatie groot en enkele uren na het ontstaan van een bres staat al een aanzienlijk gebied onder water. Wanneer in de toekomst de bypass wordt aangelegd en Kampen wordt uitgebreid met enkele woonwijken ontstaat ten noorden van de bypass een klein dichtbevolkt gebied. De berekening van het aantal slachtoffers geeft een indicatie van de gevolgen van een dijkdoorbraak in dit gebied (Hoofdstuk 4).

Het evacueren van een gebied wordt bemoeilijkt wanneer de waterdieptes stijgen boven 25 cm. Bij grotere waterdieptes kunnen auto's niet meer functioneren en moeten andere middelen worden gebruikt om mensen uit het gebied te krijgen. Onderstaande figuren tonen de tijd tussen het ontstaan van de bres en het bereiken van een waterdiepte van 25 cm (Figuur 5-1). Hieruit blijkt dat de tijd tussen het ontstaan van de bres en de mogelijkheid tot evacueren beperkt is (binnen 6 uur staan er al vrij grote gebieden onder water), maar dat dit voor de huidige en de toekomstige situatie nauwelijks verschilt. Dit is te verklaren doordat in de eerste uren de bypass geen invloed heeft op het overstromingspatroon. De invloed wordt pas merkbaar zodra het water de dijk rond de bypass bereikt. Vanaf dat moment zal er opstuwning gaan plaatsvinden. Om het aantal slachtoffers te beperken is het preventief evacueren van inwoners een oplossing.







Figuur 5-1 Tijdstip waarop een waterdiepte van 25 cm wordt bereikt. Tijd is uitgedrukt in uren na het ontstaan van de bres.

6 Samenvattend

Overeenkomsten huidige en toekomstige situatie

- De maximale stijgsnelheid treedt op binnen de eerste 10 uur na de doorbraak. De stijgsnelheden blijven nagenoeg gelijk.
- De tijd tussen het ontstaan van de bres en de mogelijkheid tot evacueren is beperkt (binnen 6 uur staan er al vrij grote gebieden onder water). In de eerste uren heeft de bypass op het overstromingspatroon geen invloed. De invloed wordt pas merkbaar zodra het water de dijk rond de bypass bereikt. Vanaf dat moment zal er opstuwing gaan plaatsvinden. Eigenlijk is alleen preventief evacueren effectief.

Verschillen huidige en toekomstige situatie

- Door opstuwing van het water door de dijk van de bypass nemen de maximale waterdieptes in het overstroomde gebied toe.
- Door de aanleg van de bypass en de stedelijke ontwikkeling neemt, bij een bres in de IJsseldijk, de schade met een factor 2 à 3 toe en het aantal slachtoffers met een factor 2 à 5. Dit geldt voor de Kampenzijde. Voor de Elburgzijde is er marginaal verschil.
- De schade en het aantal slachtoffers als gevolg van een bres in de bypass zijn vergelijkbaar met een bres in de IJsseldijk bij Kampen.
- Als door de aanleg van de bypass huidige uitvalswegen worden vergraven of verwijderd, dan nemen de evacuatiemogelijkheden naar het zuiden af.

7 Referenties

[DWW, 1996]

Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen. ISBN-90-3693-718-3.
Rijkswaterstaat DWW, september 1996.

[DWW, 2001]

Hydraulische randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen.
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Weg-
en Waterbouwkunde. Delft, december 2001.

[HKV, 2006]

Bypass Kampen. Risico-inventarisatie op basis van faalmechanismen. HKV LIJN IN WATER PR
1075.30 in opdracht van Waterschap Groot-Salland. Juni 2006.

[Nortier, I.W. en de Koning, P., 1991]

Toegepaste vloeistofmechanica – Hydraulica voor waterbouwkundigen. Zevende druk, Stam
Techniek.

[Royal Haskoning, 2003a]

Overstromingsberekeningen provincie Overijssel. Deel 7: Modelopbouw en calibratie
dijkkringgebied 10 en 11. Provincie Overijssel. Eindrapport 4H1707, 21 maart 2003.

[Royal Haskoning, 2003b]

Resultaten dijkkringgebied 11: doorbraakscenario's Provincie Overijssel. Eindrapport
4H1707, 21 maart 2003.

[Royal Haskoning, 2003c]

Resultaten doorbraakscenario 'De Zandjes 300 m Storm en hoge IJsselafvoer' en Groene
Rivier ten zuiden van Kampen. Provincie Overijssel. Eindrapport 4H1707, 3 april 2003.

[Royal Haskoning, 2004]

Resultaten doorbraakscenario 'De Zandjes 300 m Superstorm'. Provincie Overijssel.
Eindrapport 4H1707, 26 oktober 2004.

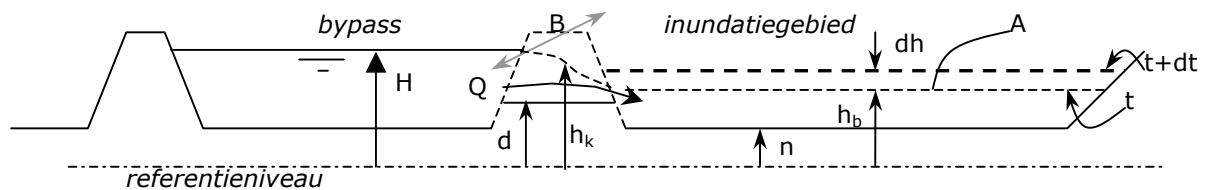
Bijlagen

Bijlage A Rekenmethode debiet door bres

Een eenvoudige methode om het volstromen van het gebied tussen de bypass en Kampen bij een dijkbreuk rond de Knoop te berekenen, is hieronder beschreven. De formules zijn afgeleid uit [Nortier, I.W. en de Koning, P., 1991]. De uitgangspunten van de methode zijn:

- de waterstand in de bypass blijft constant,
- de groei van de bresbreedte in de tijd is voorgeschreven,
- het bodemniveau in de bres is constant in de tijd.

Het vullen van het gebied is geschematiseerd als onderstaand geschetst.



De grootheden zijn als volgt gedefinieerd:

- H = energiehoogte (\approx waterstand) in de bypass [m],
d = drempelniveau onder in de bres [m+NAP],
B = breedte van de bres (dwars op de bypass) [m],
Q = debiet door de bres [m³/s],
n = bodemniveau in het inundatiegebied [m+NAP],
h_b = waterstand in het inundatiegebied [m+NAP],
h_k = waterstand in de bres (kruin van de drempel) [m+NAP],
A = oppervlak van het inundatiegebied [m²],
dh = toename van de waterstand per tijdseenheid in het gebied [m],
t = tijd [s],
dt = tijdstap [s].

De rekenmethode is als volgt:

- De waterstand in het inundatiegebied neemt per tijdseenheid toe door de toestroom Q van water vanuit de bypass. In formulevorm,

$$Q \cdot dt = A \cdot dh \quad .$$

De waterstandstijging in het gebied is dus,

$$dh = Q / A \cdot dt \quad .$$

- De bres is geschematiseerd als een lange overlaat die volkomen of onvolkomen kan zijn. De afvoerformule van een volkomen overlaat, hangt niet af van de waterstand in het inundatiegebied en luidt,

$$Q = c_v \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} \cdot B \cdot (H - d)^{3/2} \quad . \quad (A)$$

De coëfficiënt is voor een volkomen overlaat $c_v = 1$ voor zeer gladde gestroomlijnde overlaten, anders is $c_v = 0,64$ voor ruwe overlaten (veel verlies).

De afvoerformule van een onvolkomen overlaat, hangt wel af van de waterstand in het inundatiegebied en luidt,

$$Q = B \cdot (h_k - d) \sqrt{2g \cdot (H - h_k)} . \quad (B)$$

De waterstand h_k in de bres, boven de kruin van de drempel is ongeveer 10 % kleiner dan de benedenwaterstand h_b in het inundatiegebied. In de praktijk is h_b veelal bekend, maar h_k niet. Daarom gebruikt men vaak de formule:

$$Q = c_o \cdot B \cdot (h_b - d) \sqrt{2g \cdot (H - h_b)} . \quad (C)$$

De coëfficiënt is voor een onvolkomen lange overlaat c_o 0,7 tot 1,4 waarbij $c_o = 1,3$ voor een glooiend benedenbeloop met een klein verval en $c_o = 0,9$ voor ruwe scherpe drempel (steen) met een groot verval.

- Na het ontstaan van de bres is de overlaat volkomen. Naar mate het gebied zich vult, wordt de overlaat onvolkomen. Het omslagpunt waarbij de overlaat van volkomen naar onvolkomen gaat, wordt bepaald door de stroomsnelheid op de drempel van de bres. Bij een volkomen overlaat is de snelheid op de drempel dusdanig dat het Froudegetal op de drempel één is. Voor een onvolkomen overlaat is het Froudegetal op de drempel kleiner dan één. De situatie met volkomen overlaat levert een Froudegetal op dat één of groter is. Zolang dat het geval is, is de stroming door de bres volkomen en geldt formule A. Is bij toenemende waterstand in het inundatiegebied het Froudegetal van de onvolkomen overlaat lager dan één, dan is de overlaat onvolkomen en geldt formule B. In de rekenmethode wordt iedere tijdstap gecontroleerd of het Froudegetal van de onvolkomen overlaat groter of kleiner dan één is. Op basis van die controle wordt gekozen voor de juiste formule.
- Gegeven de waterstanden op een tijdstip t en de juiste formule voor het debiet door de bres, wordt de waterstandstoename dh in het inundatiegebied berekend op tijdstip $t+dt$. De waterstandstoename wordt dan bij de waterstand (van tijdstip t) geteld; $h+dh$. Daarna wordt de gehele procedure herhaald voor de volgende tijdstap.

Bijlage B Bestanden gebruikt in Delft-FLS

Nr.	Breslocatie	Randen	Bodem	Ruwheid	Referentie Delft-FLS
1	Kampen	km.txt; ys_o.txt	bodemH.asc	r50_nw4.asc	Apr5a
2	Kampen	km.txt; ys_o.txt	bodemW.asc	r50_nw4W.asc	Fe28a
3	Kampen	km295.txt; ys_o.txt	bodemH.asc	r50_nw4.asc	Fe28b
4	Kampen	km295.txt; ys_o.txt	bodemW.asc	r50_nw4W.asc	Fe28c
5	Zalk	km.txt; ys_o.txt	bodemH.asc	r50_nw4.asc	Apr9a
6	Zalk	km.txt; ys_o.txt	bodemW.asc	r50_nw4W.asc	Fe28d
7	Zalk	km295.txt; ys_o.txt	bodemH.asc	r50_nw4.asc	Fe28e
8	Zalk	km295.txt; ys_o.txt	bodemW.asc	r50_nw4W.asc	Fe28f
9	De Zandjes	km.txt; ys_o.txt	bodemH.asc	r50_nw4.asc	Apr6a
10	De Zandjes	km.txt; ys_o.txt	bodemW.asc	r50_nw4W.asc	Fe28g
11	De Zandjes	km295.txt; ys_o.txt	bodemH.asc	r50_nw4.asc	Fe28h
12	De Zandjes	km295.txt; ys_o.txt	bodemW.asc	r50_nw4W.asc	Fe28i
13	De Zandjes, storm	km295.txt; ys840.txt	bodemHR.asc	r50_nw4.asc	Apr7a
14	De Zandjes, storm	km295.txt; ys840.txt	bodemWR.asc	r50_nw4W.asc	Apr7w
15	Bypass	bypa.txt	bodemWBK.asc	r50_nw4W.asc	Byp01

Verklaring bestanden:

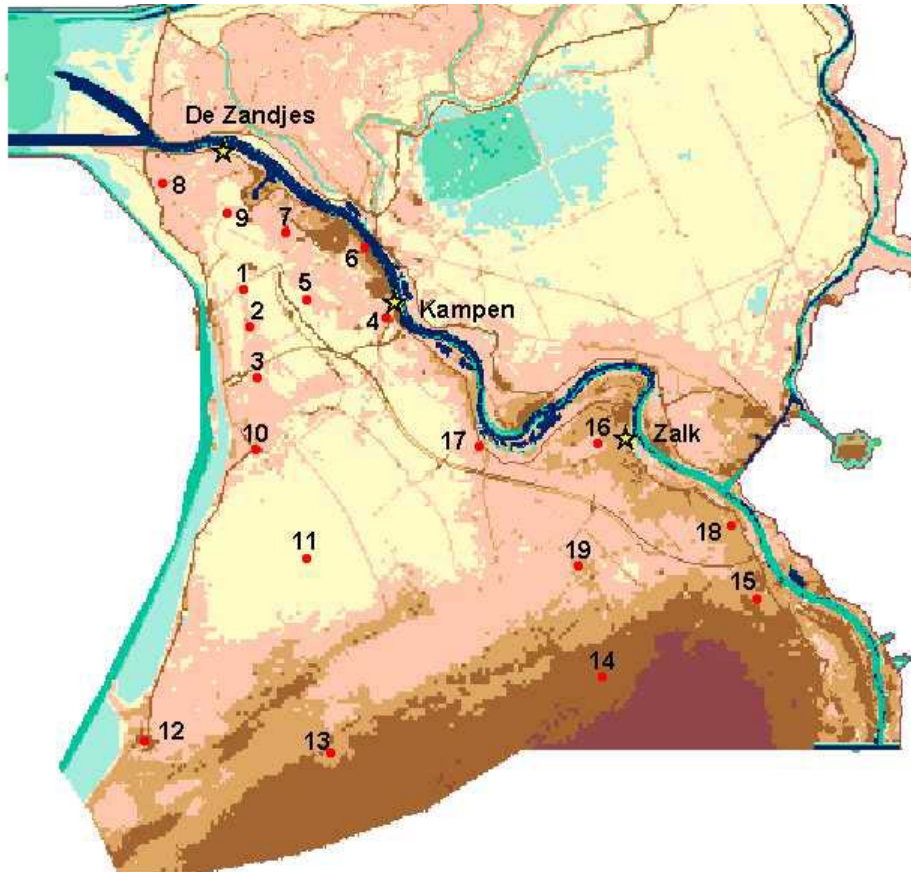
km.txt	Waterstand Ketelmeer: NAP +1,20 m
km295.txt	Waterstand Ketelmeer: NAP +2,95 m
ys_o.txt	Maximale IJsselafvoer: 2500 m ³ /s
ys840.txt	Maximale IJsselafvoer: 840 m ³ /s
bypa.txt	Afvoer door de bres
bodemH.asc	Bodemhoogte incl. Hanzelijn (Huidige situatie)
bodemW.asc	Bodemhoogte incl. Hanzelijn, bypass & woningen (Toekomstige situatie)
bodemHR.asc	Bodemhoogte incl. Hanzelijn. Roggebotsluis gesloten (Huidige situatie)
bodemWR.asc	Bodemhoogte incl. Hanzelijn, bypass & woningen. Roggebotsluis gesloten (Toekomstige situatie)
bodemWBK.asc	Bodemhoogte incl. Hanzelijn, bypass & woningen met aanpassingen voor schematiseren bres in de bypass
r50_nw4.asc	Bodem ruwheid (Huidige situatie)
r50_nw4W.asc	Bodemruwheid incl. woningen (Toekomstige situatie)

Bij elke schematisatie gebruiken:

swla.txt	Afvoer Sallandse Weteringen: 10 m ³ /s
vela.txt	Afvoer Vecht: 25 m ³ /s

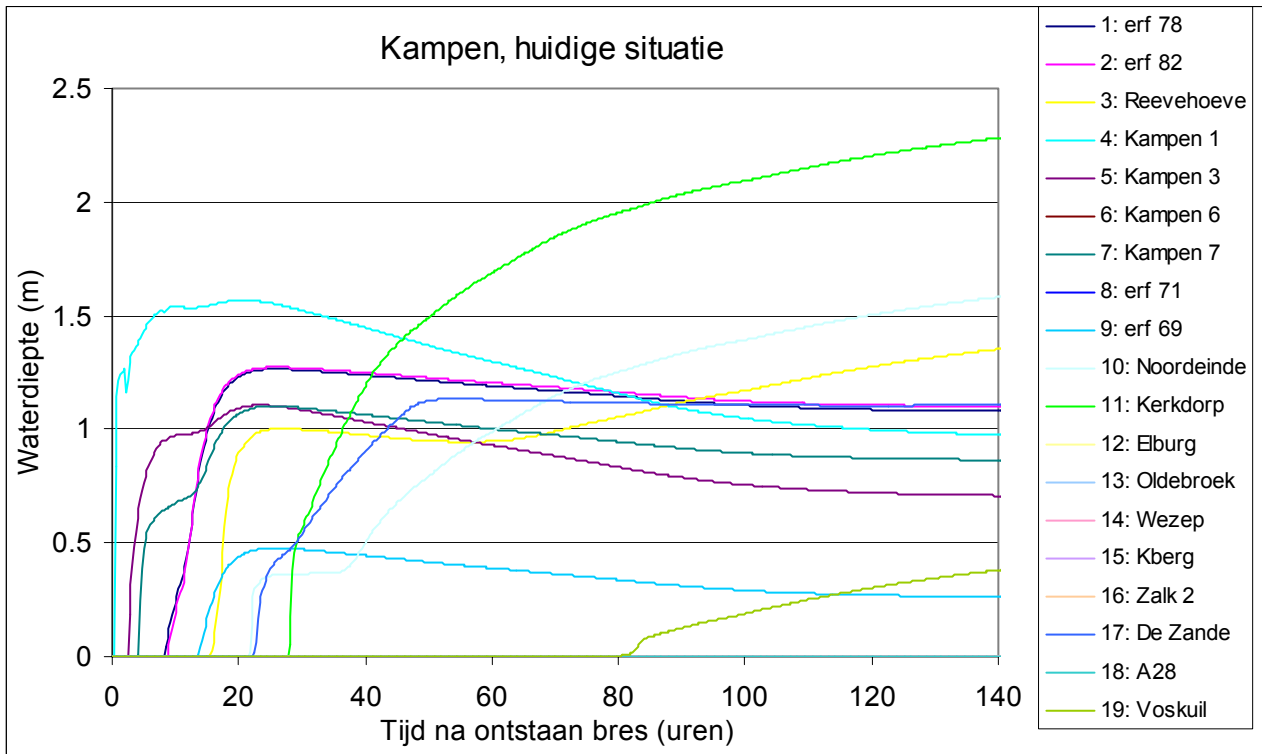
Bijlage C Grafieken waterdiepten

Op verschillende locaties binnen het studiegebied zijn gegevens over de waterdiepte uitgevoerd (Figuur C-1). Per scenario zijn deze gegevens in een grafiek weergegeven.

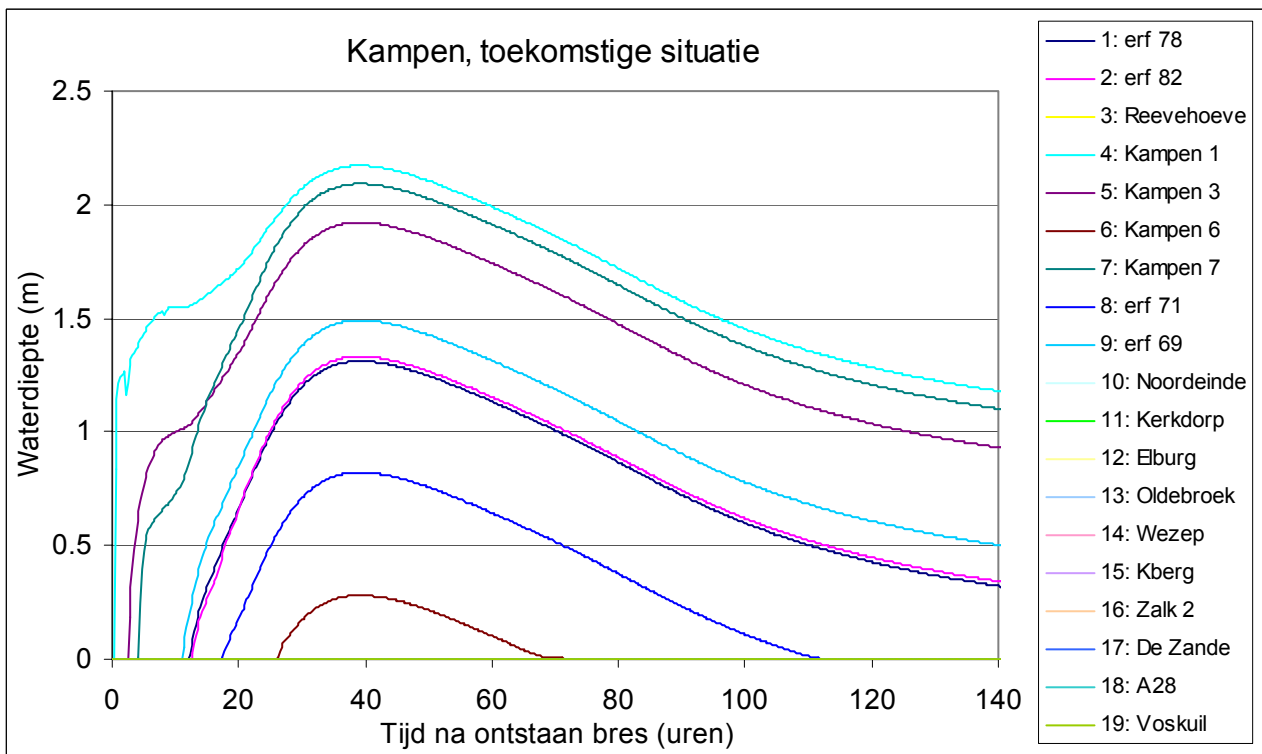


Figuur C-1 Ligging van de punten waarvoor waterdieptes zijn uitgevoerd.

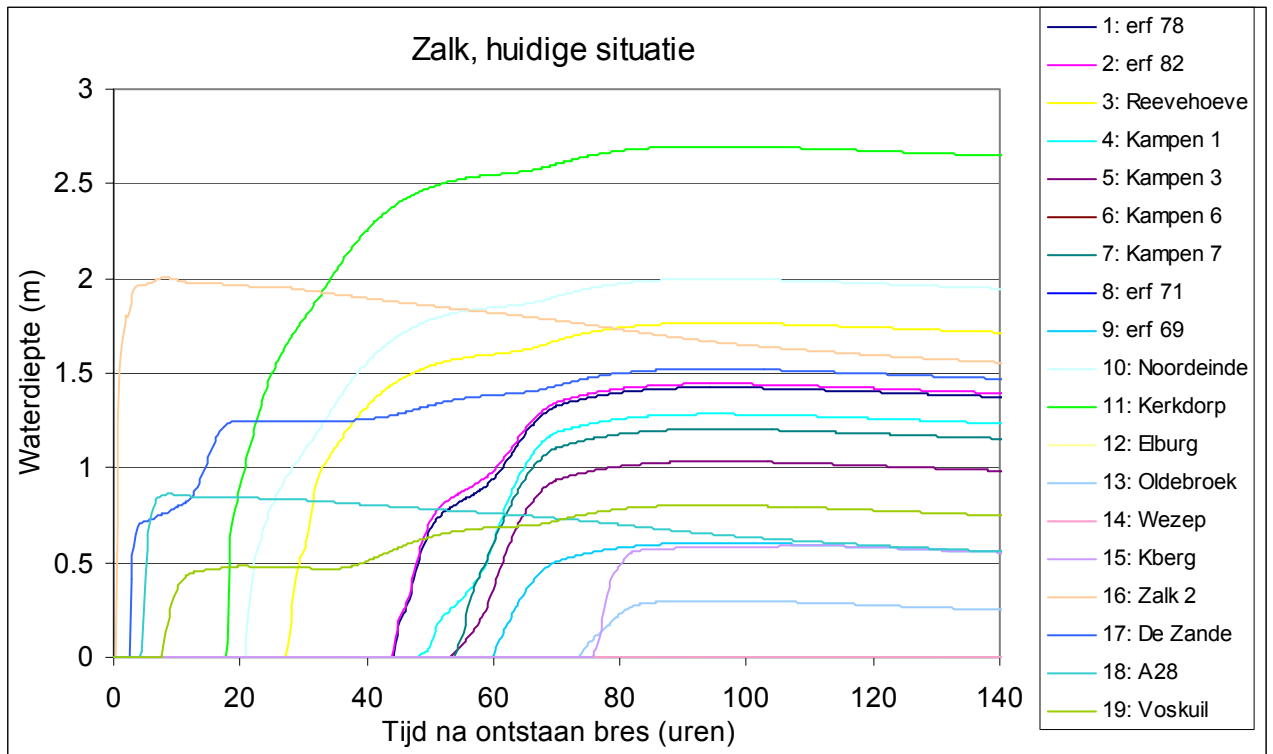
ID	naam	ID	naam
1	Erf 78	11	Kerkdorp
2	Erf 82	12	Elburg
3	Reevhoeve	13	Oldebroek
4	Kampen 1	14	Wezep
5	Kampen 3	15	Kberg
6	Kampen 6	16	Zalk 2
7	Kampen 7	17	De Zande
8	Erf 71	18	A28
9	Erf 69	19	Voskuil
10	Noordeinde		



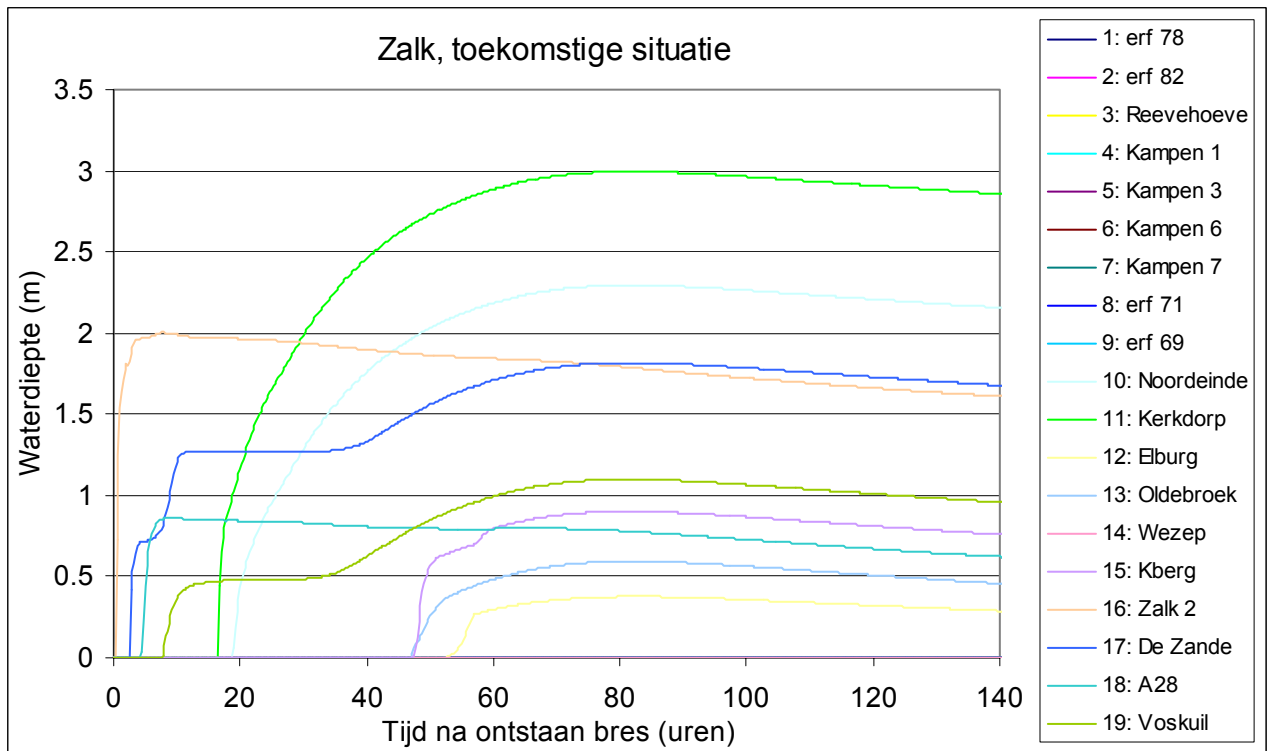
Figuur C-2 Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak Kampen, huidige situatie.



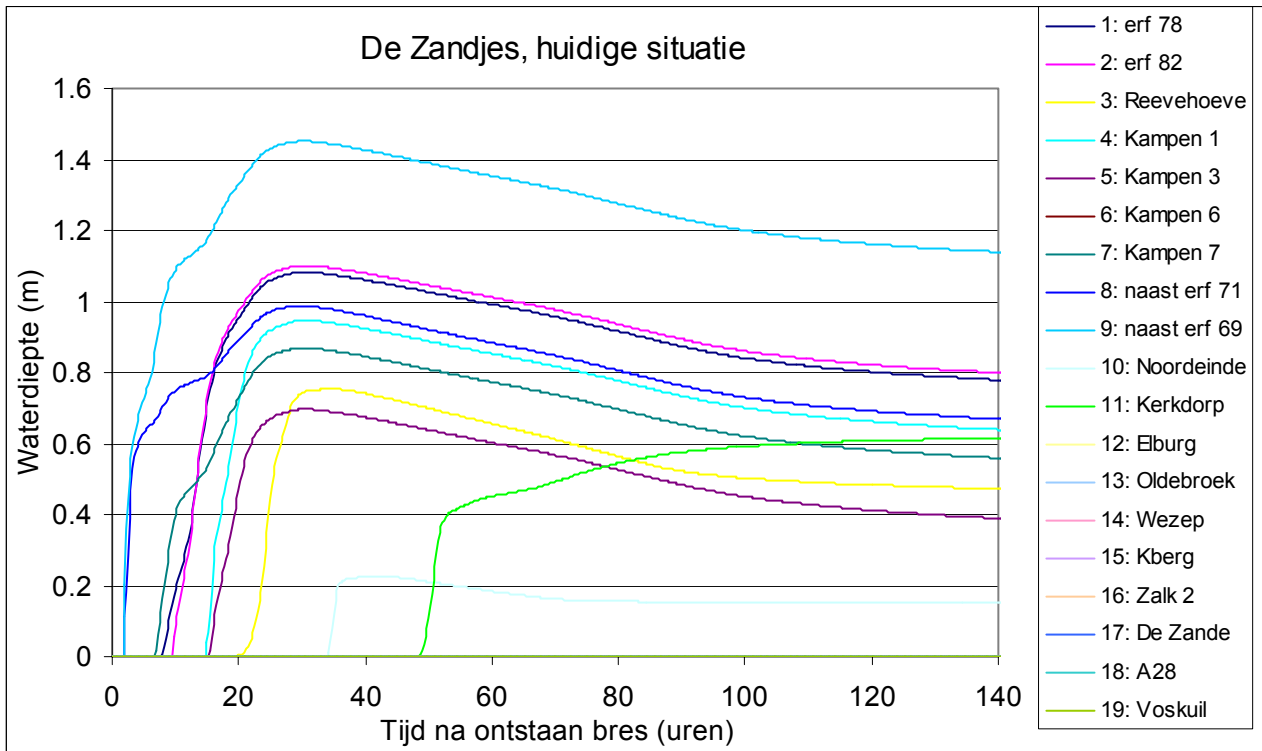
Figuur C-3 Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak Kampen, toekomstige situatie.



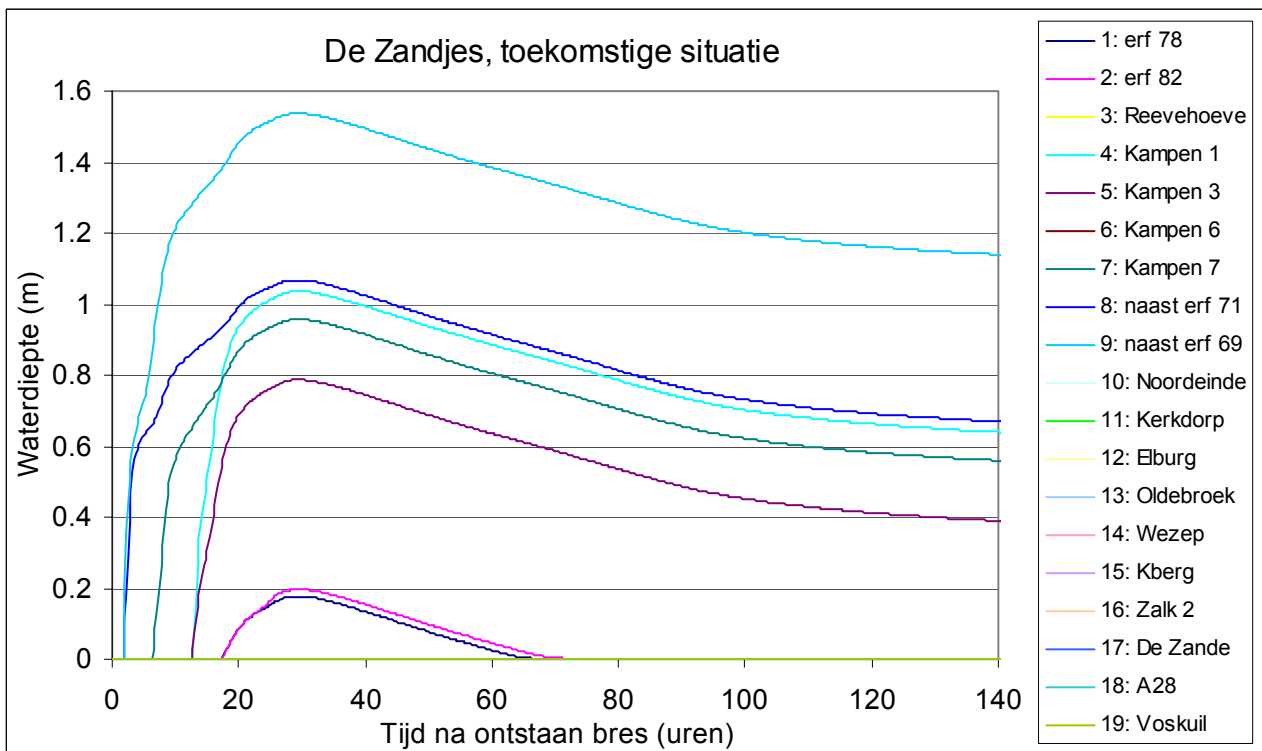
Figuur C-4 Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak Zalk, huidige situatie.



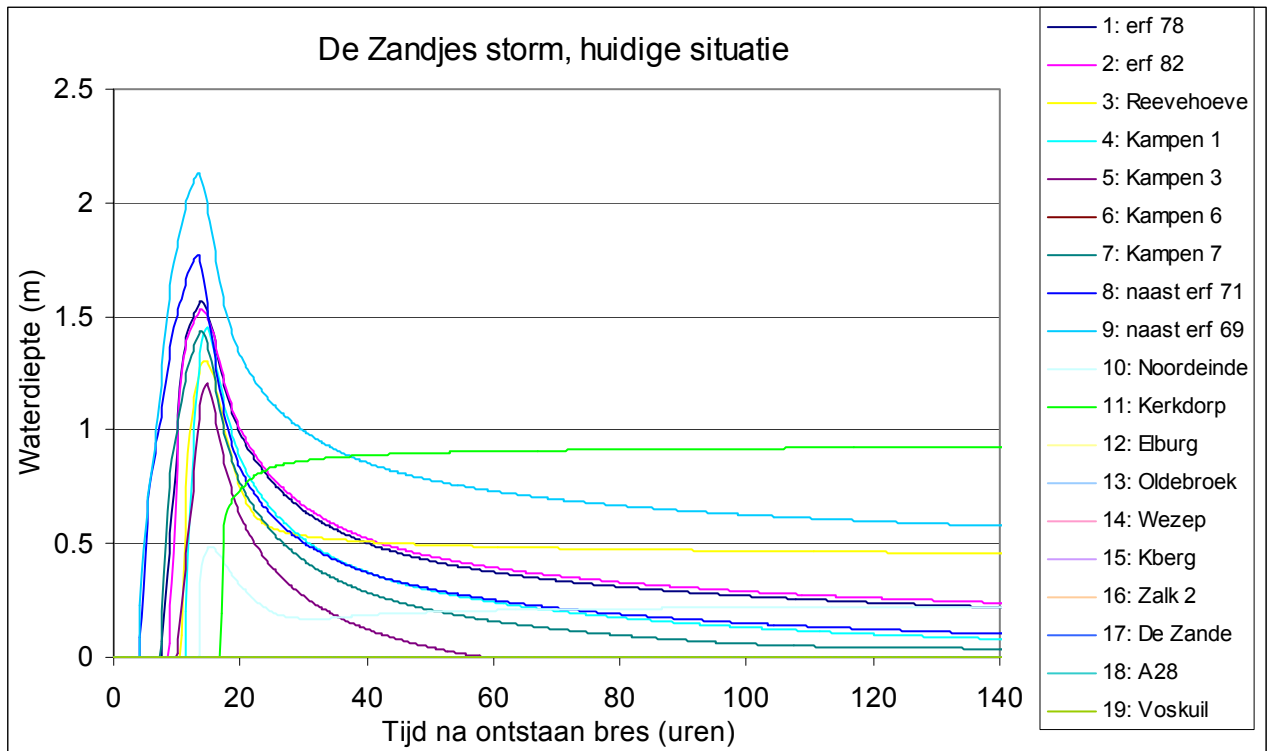
Figuur C-5 Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak Zalk, toekomstige situatie.



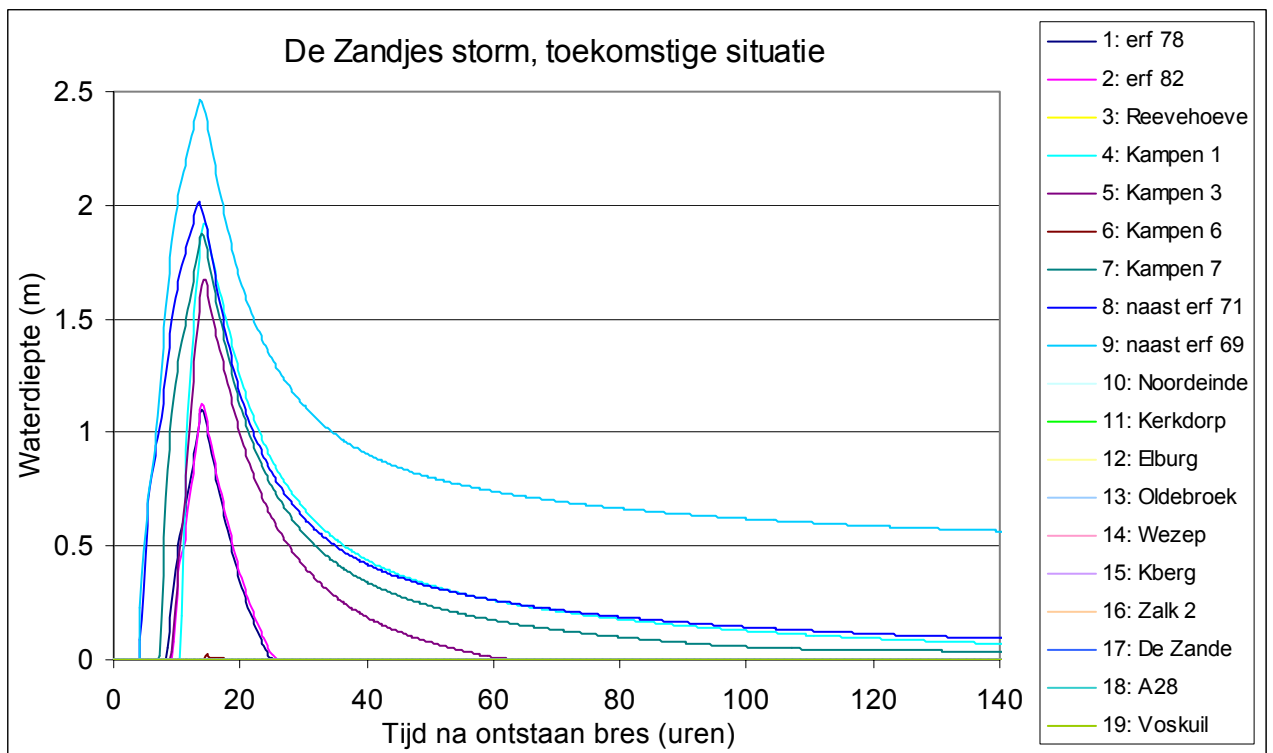
Figuur C-6 Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak De Zandjes, huidige situatie.



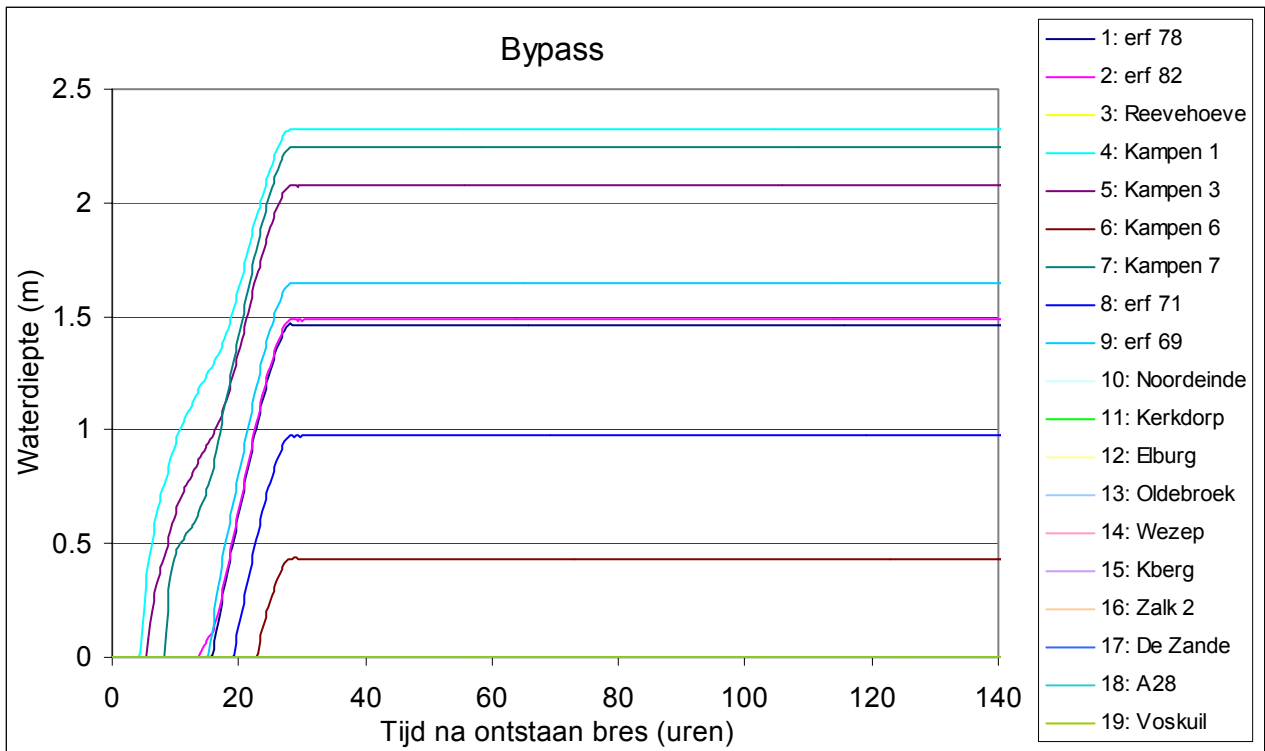
Figuur C-7 Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak De Zandjes, toekomstige situatie.



Figuur C-8 Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak De Zandjes storm, huidige situatie.



Figuur C-9 Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak De Zandjes storm, toekomstige situatie.



Figuur C-10 Verloop waterdiepte na dijkdoorbraak in de bypass, toekomstige situatie.