

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Dienst Weg en Waterbouwkunde
Provincie Zeeland

HIS-simulatie Delta 2003

Nathalie Asselman

rapport

maart 2003

Inhoud

1	Inleiding	1-1
1.1	Aanleiding en kader	1-1
1.2	Leeswijzer	1-1
2	Projectgebied en doelstelling	2-1
2.1	Projectgebied	2-1
2.2	Doelstelling	2-1
3	Ontwikkeling van het overstromingsmodel.....	3-1
3.1	Model opzet.....	3-1
3.2	Het 1D model	3-1
3.2.1	Dijkdoorbraken	3-1
3.2.2	Kanalen	3-1
3.3	Het 2D “overland flow”-model.....	3-2
3.3.1	Inleiding	3-2
3.3.2	Beschikbare gegevens.....	3-2
3.3.3	Verwerking beschikbare data tot 2D-model.....	3-2
3.4	Koppeling 1D-2D-model	3-5
3.5	Model calibratie.....	3-5
4	Dijkdoorbraaksimulaties	4-1
5	Resultaten	5-1
5.1	Inleiding.....	5-1
5.2	Tholen.....	5-1
5.3	Zuid Beveland	5-6
5.4	Zeeuws-Vlaanderen.....	5-10

5.5	Discussie en conclusies	5-16
6	Aanbevelingen	6-1
7	Samenvatting en conclusies	7-1
8	Referenties	8-1

Bijlagen

A	Overzicht dijkdoorbraken dijkkring 27, 31, en 32	A-1
B	Overzicht berekende waterstanden voor 1953 en 2003.....	B-1

I Inleiding

I.1 Aanleiding en kader

In het kader van het Delta 2003 project is besloten voor een aantal dijkkringen in Zeeland de overstromingen van 1953 te simuleren. Deze simulatie kan worden uitgevoerd met behulp van de overstromingsmodule (OM) van HIS (Hoogwater Informatie Systeem), ook wel Delft-1D2D genaamd. Het HIS wordt door veel provincies in het rivierengebied gebruikt om inundatiesnelheden en waterdiepten als gevolg van dijkdoorbraken te simuleren. De resultaten worden gebruikt bij het opstellen van evacuatieplannen en rampenbestrijdingsplannen. Ook bij de ruimtelijke ordening kan de overstromingsmodule van het HIS een belangrijke rol spelen.

Implementatie van het HIS bij de Provincie Zeeland is op dit moment gaande. Omdat de activiteiten rondom Delta 2003 bij de Provincie Zeeland parallel lopen aan de implementatie van HIS kunnen de gebeurtenissen rondom de watersnoodramp in 1953 worden gesimuleerd als pilot project. De modelschematisatie kan vervolgens worden gebruikt om doorbraakscenario's met de huidige randvoorwaarden door te rekenen zodat een indruk wordt verkregen van de omvang van het gebied dat nu bij een dijkdoorbraak getroffen zou worden. Deze informatie kan worden gebruikt om rampenbestrijdingsplannen op te stellen (evacuatieplannen) om het aantal slachtoffers als gevolg van een mogelijke doorbraak te minimaliseren. In het kader van deze studie worden de doorbraken in Zeeuws-Vlaanderen, Zuid Beveland en Tholen zoals opgetreden in 1953 gesimuleerd. Voor dezelfde gebieden worden ook simulaties uitgevoerd met de voor 2003 geldende randvoorwaarden. De resultaten van de berekeningen voor 1953 worden tijdens de activiteiten rondom Delta 2003 aan het publiek getoond.

De studie is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat, Dienst Weg en Waterbouw en Provincie Zeeland. Namens deze instanties traden M. van der Doef en S. Korman als projectleider op. Het project is inhoudelijk begeleid door H. van der Sande (Waterschap Zeeuwse Eilanden), C. Zeijler en A. Sponselee (Waterschap Zeeuws-Vlaanderen) S. Vereeke, K. Nederlof en A. Beuns (Rijkswaterstaat Directie Zeeland). Naast de inhoudelijke begeleiding bestond hun bijdrage uit het leveren van de benodigde gegevens en randvoorwaarden.

I.2 Leeswijzer

Het voorliggende rapport brengt verslag uit van de opzet van het project en de gevolgde werkwijze. In hoofdstuk 2 wordt de doelstelling van het project verwoord. Hoofdstuk 3 geeft een uitgebreide beschrijving van de ontwikkeling van de overstromingsmodellen. Een overzicht van de uitgevoerde overstromingsberekeningen wordt gegeven in Hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 toont de resultaten. Aanbevelingen en belangrijke conclusies zijn vermeld in Hoofdstuk 6 en 7.

2 Projectgebied en doelstelling

2.1 Projectgebied

Het projectgebied bestaat uit dijkkring 27, 31, en 32. Dijkkring 27 bestaat uit Tholen en St. Philipsland. Dijkkring 31 omvat het oostelijke deel van Zuid-Beveland, ten oosten van het Kanaal door Zuid-Beveland. Dijkkring 32 beslaat geheel Zeeuws-Vlaanderen tot aan de grens met België (Figuur 2.1). De scheiding tussen het oostelijk en het westelijk deel van dijkkring 32 wordt gevormd door het Kanaal van Gent naar Terneuzen. De dijkkringgebieden maken deel uit van de beheersgebieden van Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Waterschap Zeeuws-Vlaanderen en Waterschap Zeeuwse Eilanden.



Figuur 2.1 Ligging van het projectgebied: Tholen (dijkkring 27), Zuid Beveland (dijkkring 31) en Zeeuws-Vlaanderen (dijkkring 32).

2.2 Doelstelling

Het project heeft tot doel het ontwikkelen en toepassen van een twee dimensionaal overstromingsmodel van dijkkring 27, 31 en 32 voor de situatie in 1953 en de situatie in 2003.

De resultaten worden tijdens de activiteiten omtrent Delta 2003 aan het publiek getoond. Het model dient te worden ontwikkeld met behulp van de HIS-Overstromings Module (HIS-OM). Het HIS-OM maakt gebruik van de SOBEK modules Channel-Flow (CF) en Overland-Flow (OF), ookwel Delft-1D2D genaamd. Het te ontwikkelen model dient geschikt te zijn voor het simuleren van dijkdoorbraken langs de Westerschelde en de Oosterschelde zoals deze in 1953 zijn opgetreden en in de toekomst zouden kunnen optreden. De Westerschelde en Oosterschelde zelf maken geen deel uit van het model, behalve als waterstandsrand.

3 Ontwikkeling van het overstromingsmodel

3.1 Model opzet

Het overstromingsmodel wordt ontwikkeld in SOBEK door gebruik te maken van de modules “Channel Flow” (CF) en “Overland Flow” (OF), samen ookwel Delft-1D2D genoemd.

In dit hoofdstuk zijn de werkzaamheden beschreven die zijn uitgevoerd om overstromingsmodellen te ontwikkelen voor de drie genoemde dijkringen. Per paragraaf wordt een modelonderdeel besproken. Hierbij wordt aandacht besteed aan de beschikbare data en de manier waarop deze data bij de ontwikkeling van het overstromingsmodel zijn gebruikt.

3.2 Het 1D model

3.2.1 Dijkdoorbraken

Figuur 3.2 t/m 3.4 geven een overzicht van de doorbraken die in het gebied zijn opgetreden en de polders die daardoor onder water zijn komen te staan. Appendix A bevat tabellen die per deelgebied de belangrijkste kenmerken van de doorbraken weergeven. De poldernummers die vermeld zijn in de tabellen zijn terug te vinden in onderstaande figuren.

Alle dijkdoorbraken zijn gemodelleerd in channel flow. Het moment van bezwijken, de uiteindelijke breedte en diepte van de bres zoals verwerkt in het model zijn gebaseerd op de gegevens vermeld in Appendix A. Het 1-dimensionaal modelleren van bressen heeft als voordeel dat de breedte van de bres op de ware grootte kan worden weergegeven. Indien de bressen 2-dimensionaal worden gemodelleerd hebben ze een breedte die gelijk is aan de afmetingen van een 2D grid cel of een veelvoud daarvan.

De buitenwaterstanden nabij doorbraaklocaties zijn gebaseerd op de waterstanden aangeleverd door Rijkswaterstaat Directie Zeeland. Ter controle zijn de maximale waterstanden vergeleken met de maximale waterstanden in Rijkswaterstaat & KNMI (1961). Voor locaties waar het verschil in maximale waterstand meer dan een halve meter bedroeg zijn door Rijkswaterstaat aanvullende waterstandsreeksen aangeleverd.

3.2.2 Kanalen

Het enige kanaal dat in het model is opgenomen is het Kanaal van Gent naar Terneuzen dat door Zeeuws-Vlaanderen loopt (dijkkring 32). Hoewel het kanaal geen bijdrage heeft geleverd aan de overstromingen van 1953 is het toch apart in het model opgenomen.

Deze keuze is gemaakt omdat het kanaal onder extremere omstandigheden (gebeurtenissen met een kans in de orde van 1:4000) wel van invloed zou kunnen zijn op het overstromingsverloop. Overige waterlopen, zoals het kanaal door Zuid-Beveland, liggen buiten de gemodelleerde dijkringen en zijn niet in het model meegenomen.

3.3 Het 2D “overland flow”-model

3.3.1 Inleiding

Voor het 2D gedeelte van het overstromingsmodel is voor elk dijkringgebied een hoogtemodel ontwikkeld. Elke grid cel van het hoogtemodel is voorzien van een waarde voor de hydraulische ruwheid. In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke gegevens gebruikt zijn en welke werkwijze gevolgd is om het hoogtemodel te ontwikkelen en de bijbehorende hydraulische ruwheid vast te stellen.

3.3.2 Beschikbare gegevens

Voor de te modelleren dijkringgebieden zijn hoogtegegevens zoals verzameld voor het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) beschikbaar. De bestanden zijn beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat, Dienst Weg en Waterbouw en waterschap Zeeuwse Eilanden. De bestanden zijn aangeleverd als ArcInfo export files en geven de hoogte per 5 x 5 m² grid.

Aanvullend op het AHN zijn digitale hoogtegegevens van primaire en secundaire keringen uit de gemodelleerde dijkringen aangeleverd door Waterschap Zeeuws-Vlaanderen en Waterschap Zeeuwse Eilanden. De hoogteligging van dijken, wegen en spoorwegen die niet digitaal door de opdrachtgever beschikbaar konden worden gesteld zijn afgeleid uit het AHN. Ter verduidelijking: onder secundaire keringen wordt in dit rapport verstaan alle binnendijken ongeacht of ze nog een waterstaatkundige functie hebben (regionale waterkeringen) of niet (landschapselementen).

De hydraulische ruwheid is met name afhankelijk van het landgebruik. Landgebruikkaarten zijn voorhanden voor de gemodelleerde dijkringgebieden in de vorm van het LGN-bestand. Deze landgebruikgegevens geven de situatie in 1996 weer. Om veranderingen in landgebruik, met name in stedelijk gebied, ten opzichte van 1953 weer te kunnen geven zijn door de Provincie Zeeland gescande topografische kaarten geleverd.

3.3.3 Verwerking beschikbare data tot 2D-model

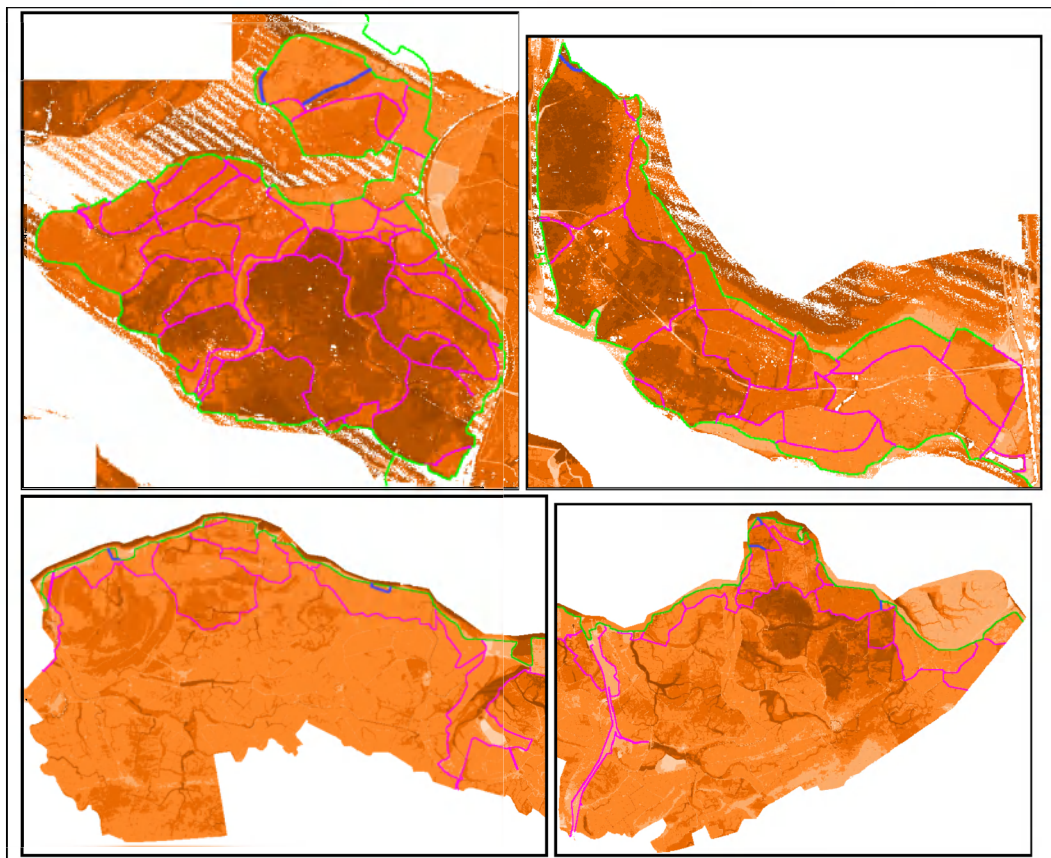
Bodemhoogte

De bodemhoogte zoals weergegeven in het 2D model is afgeleid uit het AHN bestand. Het hoogtemodel heeft een grid grootte van 100 x 100 m². Het hoogtemodel voor Zuid Beveland heeft een fijner raster: 50m x 50m. Hoewel het AHN bestand een fijner grid mogelijk maakt is gekozen voor 50m x 50m of 100m x 100m cellen om de rekentijd van het model te beperken. De rekentijd per scenario bedraagt, afhankelijk van het gebied, ongeveer 1 tot 4 uur, voor een simulatieperiode van ongeveer 3 dagen (1 uur voor Tholen, 4 uur voor Zeeuws-Vlaanderen).

De bodemhoogte is gebaseerd op de gemiddelde waarde per 50m x 50m (Zuid Beveland) of 100m x 100m cel (Zeeuws-Vlaanderen en Tholen) zoals berekend uit de AHN bestanden.

Bebouwing, spoordijken, snelwegen en overige dijken

Omdat bebouwing reeds uit de hoogtegegevens was verwijderd hoefde geen aparte filterprocedure te worden toegepast. De hoogteligging van wegen, spoordijken en overige dijken zijn als een overlay in het hoogtemodel verwerkt zodat de correcte hoogteligging is weergegeven. Figuur 3.4 toont alle waterkeringen die in het hoogtemodel zijn opgenomen. De primaire keringen zijn aangegeven in groen, de secundaire in roze. Lijnelementen (secundaire keringen, spoorwegen en overige wegen) die niet in de digitale bestanden aanwezig waren en waarvan de hoogteligging uit het AHN is afgeleid zijn weergegeven als een donker blauwe lijn. Deze dijken maken deel uit van de schematisatie voor 1953 en voor 2003.



Figuur 3.1 In hoogtemodel geschematiseerde dijken en kaden, weergegeven op de 5 x 5 m AHN hoogtebestand, voor Tholen (linksboven), Zuid Beveland (rechts boven), Zeeuws-Vlaanderen west (links onder) en Zeeuws-Vlaanderen oost (rechts onder). groen=primaire kering, roze = secundaire kering, blauw = kering toegevoegd op basis van AHN.

Op plaatsen waar viaducten onder snelwegen of spoorwegen aanwezig zijn is het hoogtemodel aangepast. Het gaat hierbij vooral om viaducten onder de A58 in Zuid Beveland.

Meren en plassen

In de gemodelleerde dijkringen komen een aantal plassen voor. De hoogteligging ter plaatse van deze plassen is gelijk gesteld aan het niveau van het wateroppervlak. Omdat bij aanvang van de overstroming reeds water in de plassen aanwezig is, is de berging reeds volledig benut waardoor het niet noodzakelijk is de werkelijke bodemhoogte per plas in het hoogtemodel weer te geven. De wateroppervlakken hebben wel een aangepaste ruwheid.

Begrenzing hoogtemodellen

Voor de verschillende dijkringen zijn aparte hoogtemodellen ontwikkeld. De hoogtemodellen worden begrensd door de primaire keringen. De zuidelijke grens van dijkkring 32 (Zeeuws-Vlaanderen) bestaat uit de hoge gronden van België. Op dit moment maakt het deel van België, dat direct grenst aan Nederland deel uit van het hoogtemodel. De weergegeven hoogte is echter niet gebaseerd op gemeten data maar representeert een horizontaal vlak met een hoogteligging min of meer gelijk aan de hoogteligging op de Belgisch-Nederlandse grens. Indien het model in de toekomst dient te worden ingezet voor overstromingssimulaties op Belgisch grondgebied en er correcte hoogtegegevens voor het België beschikbaar zijn, kan het huidige hoogtemodel eenvoudig worden aangepast.

Aanpassingen hoogtemodel 1953

Het hoogtemodel voor 1953 is gebaseerd op het hoogtemodel voor 2003. Verschillen in hoogteligging als gevolg van bodemdaling zijn buiten beschouwing gelaten. Op locaties waar duidelijke verschillen bestaan in hoogteligging bijvoorbeeld door de aanleg van verhoogde snelwegen of verwijdering van oude keringen zijn deze veranderingen in het model aangebracht. Dit zijn:

- de snelweg door Zuid Beveland (in 1953 niet aanwezig);
- de verbinding tussen Tholen en St. Philipsland (in 1953 bestond deze verbinding nog niet);
- dijkje bij 's-Heer Arendspolder (Zeeuws-Vlaanderen).

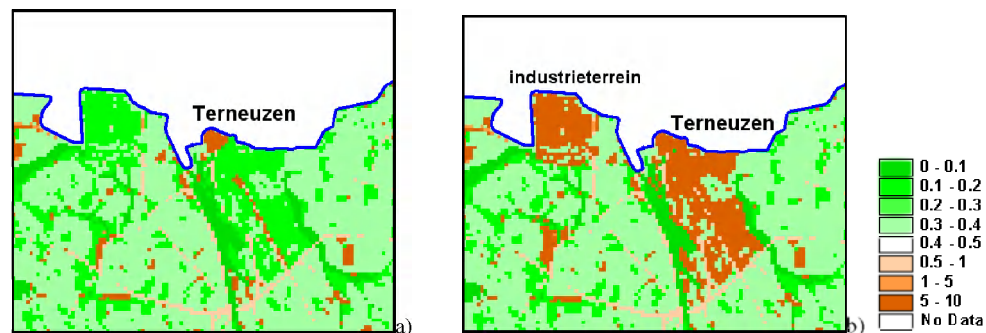
Hydraulische ruwheid

De hydraulische ruwheid van een gebied wordt met name bepaald door het landgebruik. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de ruwheidswaarden, uitgedrukt als Nikuradse ruwheidlengte k_N , per landgebruiktype zoals ze in deze studie gehanteerd zijn. De indeling in landgebruiktypen is gebaseerd op het LGN. Omdat aangenomen is dat de overstromingsmodellen met name gebruikt worden om dijkdoorbraken onder winterse omstandigheden te simuleren zijn de ruwheidswaarden voor de wintersituatie aan de verschillende landgebruiktypen toegekend (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Hydraulische ruwheid uitgedrukt als Nikuradse ruwheidlengte k_N (m) voor verschillende typen landgebruik in de winter- en de zomersituatie

Omschrijving landgebruik	Winter k_N (m)	Zomer k_N (m)
Gras	0.2	0.4
Landbouwgewassen (aardappelen, bieten, granen, maïs, etc.)	0.4	0.8 – 5.0
Bos (loofbos, naaldbos, boomgaard)	10.0	10.0
Water	0.1	0.1
Stedelijk en overig bebouwd gebied	10.0	10.0
Open begroeid natuurgebied	2.0	2.0

Voor de simulaties van 1953 is een aangepaste hydraulische ruwheid gebruikt voor stedelijke gebieden die in 1953 nog niet bebouwd waren. Aan deze gebieden is een ruwheid van 0.2 m toegekend. Het Belgisch grondgebied is van een homogene ruwheid van 0.2 m voorzien. Wanneer het model in de toekomst wordt gebruikt voor het modelleren van overstromingen in België dient het hoogtemodel te worden aangepast en een ruwheid te worden toegekend die aansluit bij het landgebruik. Een voorbeeld van een ruwheidskaart is gegeven in Figuur 3.2.



Figuur 3.2 Ruwheidskaarten voor Zeeuws-Vlaanderen nabij Terneuzen (k_N in meters), a) 1953, b) 2003.

3.4 Koppeling 1D-2D-model

Het geïntegreerde en vereenvoudigde 1D-model is gekoppeld met het 2D-hoogtemodel tot één overstromingsmodel. De rekentechnische koppeling vindt plaats binnen SOBEK door rekenpunten aan te brengen in het 1D model. Op de plaats van elk rekenpunt wordt een link gelegd met de onderliggende 2D grid cel zodat uitwisseling van water tussen beide modelonderdelen plaats kan vinden. Deze koppeling is tot stand gebracht bij het kanaal van Gent naar Terneuzen en bij de dijkdoorbraaklocaties.

3.5 Model calibratie

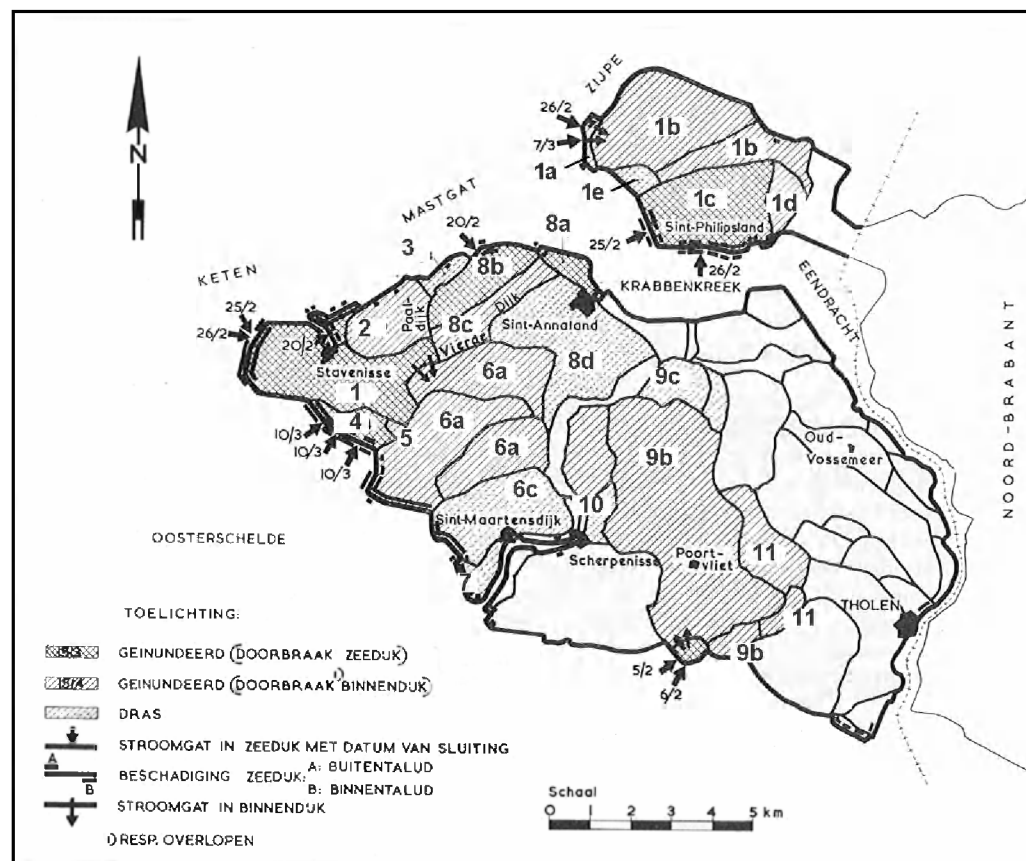
De overstromingsmodellen zijn gekalibreerd met behulp van de gegevens die beschikbaar waren over de overstromingsramp van 1953 (Rijkswaterstaat & KNMI, 1961). De modeluitkomsten worden besproken in Hoofdstuk 5. Onderstaande tekst en bijbehorende figuren geven een overzicht van de gebruikte data uit Rijkswaterstaat & KNMI (1961).

Sint-Philipsland

Sint-Philipsland heeft vrijwel geheel onder water gestaan. Volgens Rijkswaterstaat & KNMI (1961) bedroeg het totale oppervlak dat overlast bevond 1630 ha. Hiervan waren 55 ha dras als gebrek aan lozing. Een overzicht van de dijkdoorbraken in dit gebied is gegeven in Tabel A.1 (Bijlage A). De locaties van de polders is gegeven in Figuur 3.3.

Tholen

Ongeveer de helft van het totale oppervlak van Tholen heeft onder water gestaan. Dit oppervlak besloeg 6560 ha, waarvan 1560 ha dras. Een overzicht van de dijkdoorbraken in dit gebied is gegeven in Tabel A.2 (Appendix A). De locaties van de polders is gegeven in Figuur 3.3.

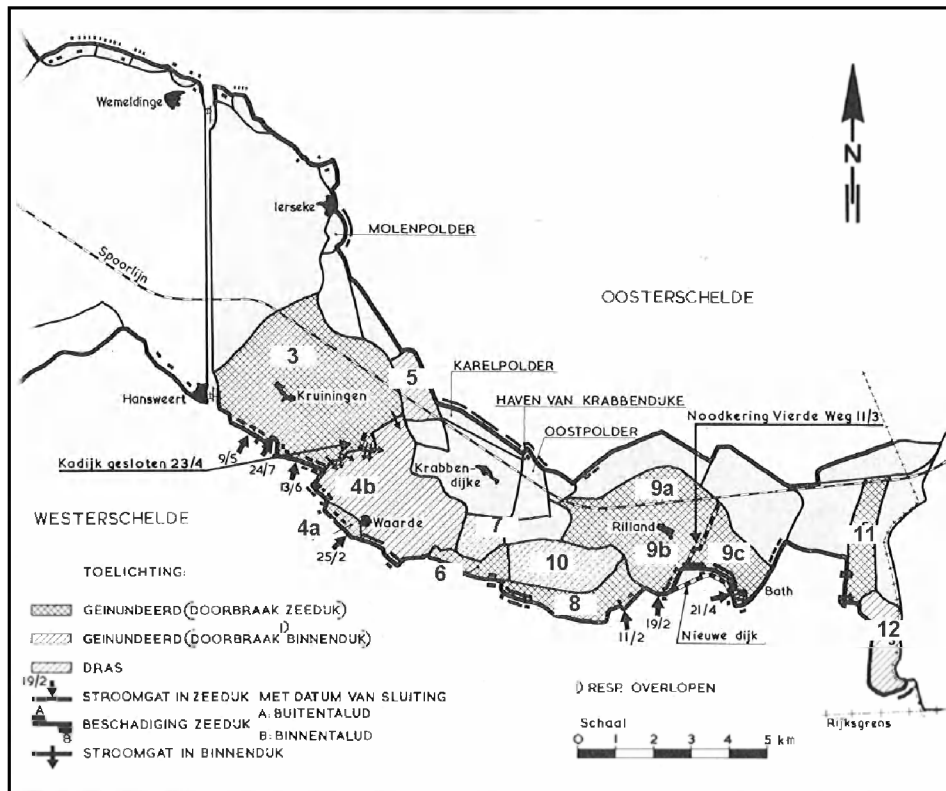


Figuur 3.3 Locatie ondergelopen polders Sint-Philipsland en Tholen (naar Rijkswaterstaat & KNMI, 1961). Geïndeerd door doorbraak zeedijk: 1, 4, 8a, 8b, 9a, 1c; geïndeerd door doorbraak binnendijk: 2, 6a, 8c, 9b, 11, 1a, 1b, 1d; dras: 3, 6c, 8d, 9c, 10, 1e.

Zuid Beveland

Zuid Beveland heeft voor een vijfde deel onder water gestaan. Het totale oppervlak bedroeg ongeveer 7500 ha (Rijkswaterstaat & KNMI, 1961). Vrijwel alle doorbraken op Zuid Beveland hebben plaats gevonden vanuit de zuidelijke zeedijk.

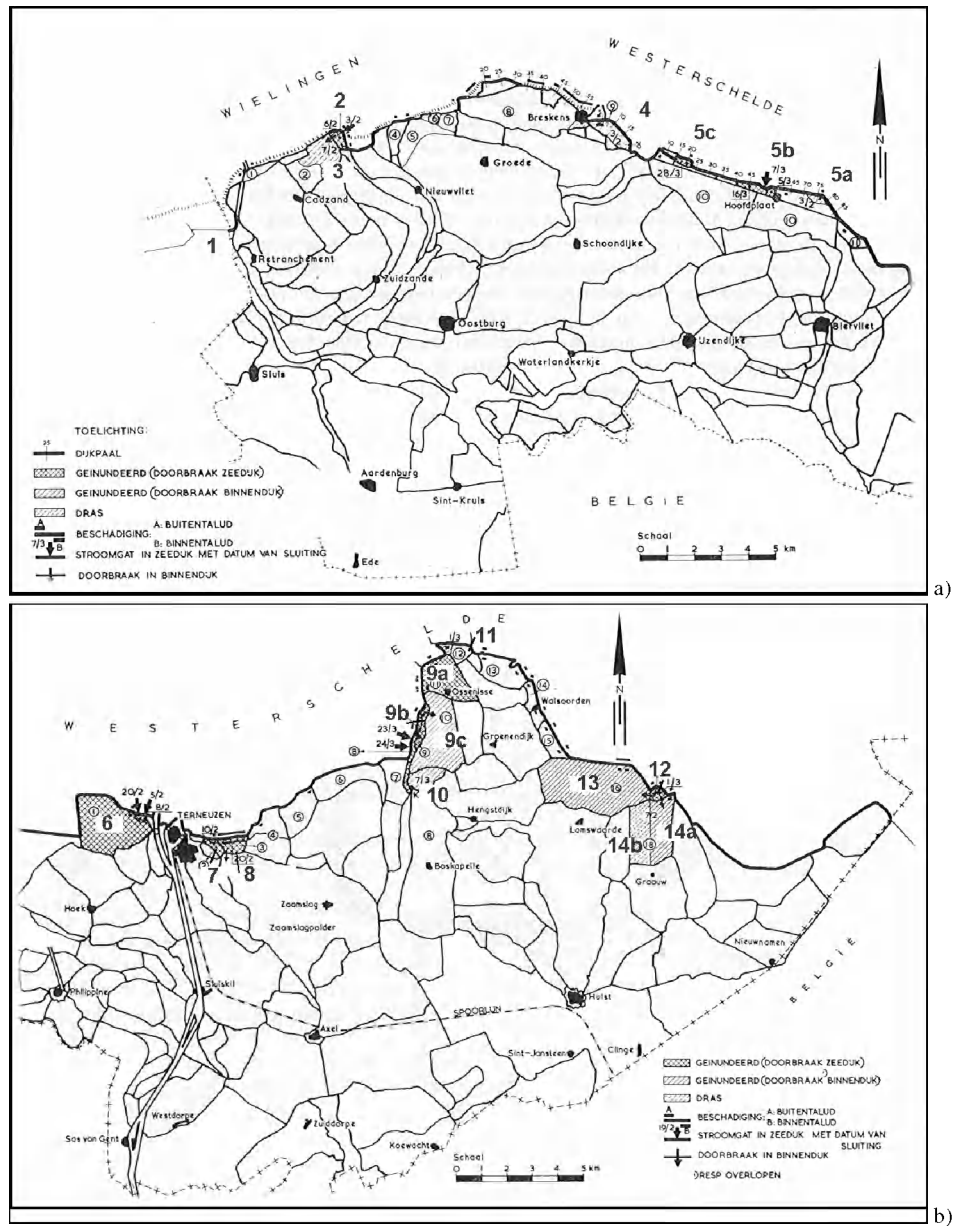
Een overzicht van deze doorbraken is gegeven in Tabel A.3 (Appendix A). De locaties van de polders zijn gegeven in Figuur 3.4.



Figuur 3.4 Overzicht dijkdoorbraken en overstroomde gebieden dijkkring 31 (Zuid Beveland) (naar Rijkswaterstaat & KNMI, 1961). Geinundeerd door doorbraak zeedijk: 3, 4a, 6, 8, 9a, 9b, 9c, 11; geinundeerd door doorbraak binnendijk: 4b, 5, 12; dras: 7, 10.

Zeeuws-Vlaanderen

Van geheel Zeeland heeft West-Zeeuws-Vlaanderen het minst van de overstroming te lijden gehad. Slechts 1% van het totale oppervlak stond onder water. Ook in Oost-Zeeuws-Vlaanderen is de overstromingsschade relatief beperkt gebleven. Hier stond 7% van het gebied onder water. Het totale overstroomde oppervlak bedroeg ongeveer 2880 ha. Een overzicht van de opgetreden doorbraken is gegeven in Tabel A.4 (Appendix A). De locaties van de doorbraken en de ondergelopen gebieden zijn gegeven in Figuur 3.5.



Figuur 3.5 Overzicht dijkdoorbraken en overstroomde gebieden dijkkring 32 (Zeeuws-Vlaanderen), a) westelijk deel, b) oostelijk deel (naar Rijkswaterstaat & KNMI, 1961). Geinundeerd door doorbraak zeedijk: 2, 5b, 5c, 6, 7, 8, 9a, 9b, 12; geinundeerd door doorbraak binnendijk: 1, 9c, 10, 13, 14a; dras: 3, 4, 5a, 11, 14b.

4 Dijkdoorbraaksimulaties

De overstromingsmodellen zijn gebruikt om zes dijkdoorbraakscenario's door te rekenen. Dit hoofdstuk gaat kort in op de gebruikte aannames en randvoorwaarden. Deze aannames en randvoorwaarden hebben betrekking op onder andere de locatie van de bres, de bresgroei, de buitenwaterstand waarbij de doorbraak plaatsvindt en het al dan niet bezwijken van secundaire keringen. De randvoorwaarden per simulatie zijn kort samengevat in Tabel 4.1 en worden in onderstaande tekst nader toegelicht.

Tabel 4.1 Gesimuleerde dijkdoorbraken

model run	locatie	buitenwaterstand	locaties en afmetingen bres	bezwijken secundaire keringen
1	dijkkring 27	als in 1953	als in 1953	als in 1953
2	dijkkring 27	condities 1:4000 met noodsluiting Oosterschelde kering	als in 1953	nee
3	dijkkring 31	als in 1953	als in 1953	als in 1953
4	dijkkring 31	1:4000	als in 1953	nee
5	dijkkring 32	als in 1953	als in 1953	als in 1953
6	dijkkring 32	1:4000	als in 1953	nee

Bresgroei en bresbreedte

Het aantal, de omvang en de locaties van de opgetreden dijkdoorbraken hebben een groot effect op het verloop van de overstromingen. Het is daarom belangrijk om de bressen op de juiste manier te schematiseren. De maximale omvang van de bressen zoals gemodelleerd voor de dijkkringen voor de situatie in 1953 is gebaseerd op de dijkdoorbraken zoals aangeleverd door RWS en vermeld in “het verslag over de stormvloed 1953”, gepubliceerd door Rijkswaterstaat & KNMI (1961). Voor de simulaties in 2003 is gebruik gemaakt van dezelfde dijkdoorbraaklocaties. Ook de omvang van de dijkdoorbraken zijn gelijk gesteld aan die in 1953.

In SOBEK wordt bresgroei in twee fasen gemodelleerd. In de eerste fase schuurt de bres uit in de diepte (op te geven door de gebruiker). De maximale diepte wordt aan het eind van de eerste fase bereikt. In deze simulaties is dat na ruim 1 uur. In de tweede fase groeit de bres in de breedte. Hiervoor is gebruik gemaakt van de formule van Voogt (1985):

$$B = B_{\max} (t / t_{\max})^{0.5}$$

waarbij B de breedte is op tijdstip t na het begin van de doorbraak, $B_{\max}$ is de maximale breedte die bereikt wordt op tijdstip $t_{\max}$. In overleg met Henk Verheij (WL) en Paul Visser (TU Delft) is aangenomen dat de maximale breedte na 24 uur wordt bereikt. Dit is 23 uur na het bereiken van de maximum diepte. De breedte en de diepte van de bressen in het model komt overeen met de gemeten breedte en diepte zoals vermeld in bijlage A (aangeleverd door RWS en gepubliceerd door Rijkswaterstaat & KNMI (1961)).

Het debiet door de bres wordt berekend met de standaard vergelijking voor een overlaat waarbij de waarden voor de afvoer- en de contractiecoëfficiënt een waarde 1 hebben.

Uit verslagen over de watersnoodramp is gebleken dat stroomgaten kunnen blijven groeien zolang er onder invloed van het getij water in en uit blijft stromen. Zo groeide het stroomgat bij Ouwerkerk in een paar weken van 200 m tot 450 m. Na een paar maanden bedroeg de breedte van het stroomgat zelfs 600 m. Deze doorgaande groei is niet in het model meegenomen omdat de simulaties betrekking hebben op de periode binnen 48 uur na de doorbraak.

Moment van bezwijken

Het moment van bezwijken is overgenomen uit de gegevens aangeleverd door RWS en komt overeen met het tijdstip zoals waargenomen tijdens de ramp van 1953.

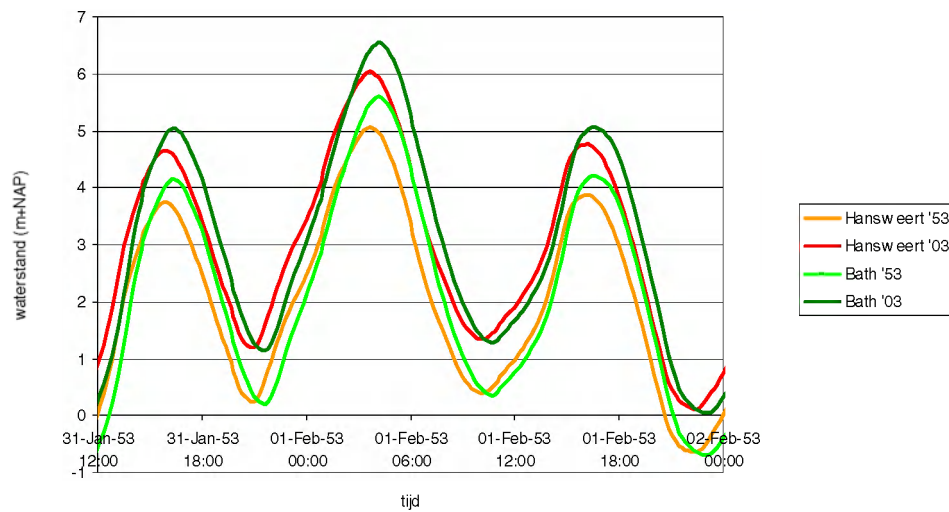
Secundaire keringen

Onder secundaire keringen wordt in dit rapport verstaan: alle binnendijken ongeacht of deze nog een waterstaatkundige functie hebben (regionale waterkeringen) of niet (landschapselementen). Bij de modelsimulaties is aangenomen dat alle secundaire keringen en als secundaire keringen functionerende spoordijken en snelwegen kunnen overstroomd indien de waterstand de kruinhoogte ter plaatse overtreft. Indien de kering in 1953 is bezweken is dit ook in de modellering voor 1953 als zodanig geschematiseerd. Voor de simulatie in 2003 is aangenomen dat water wel over de keringen heen kan stromen, maar dat deze niet bezwijken. In werkelijkheid zullen secundaire keringen wanneer ze gedurende enige tijd overstroomd, bezwijken. Hierdoor zullen in werkelijkheid stroomgaten ontstaan.

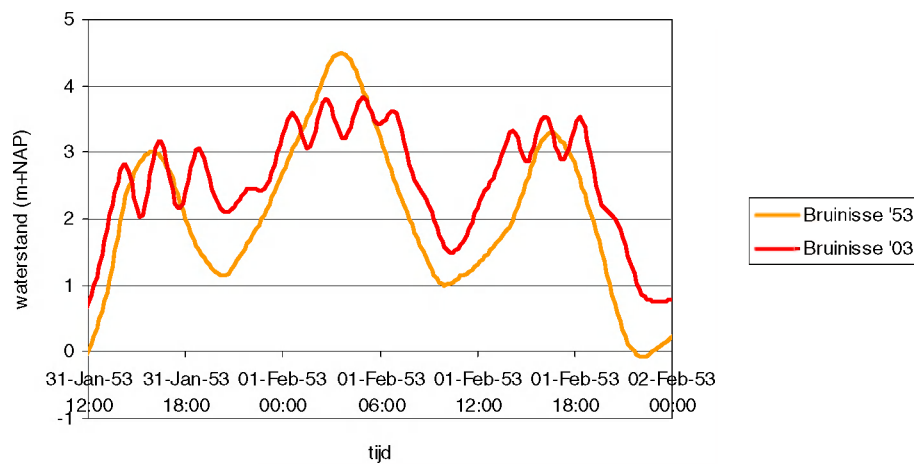
Buitenwaterstand

De randvoorwaarden die zijn gebruikt voor de simulaties van 1953 komen overeen met de opgetreden waterstanden tijdens de stormvloed van 1953. Het waterstandsverloop voor een beperkt aantal locaties in de Wester- en Oosterschelde is gegeven in Figuur 4.1.

De randvoorwaarden die zijn gebruikt voor de 2003-berekeningen komen overeen met de verwachte waterstand bij een hoogwater met een kans van voorkomen van 1:4000. In de Westerschelde zijn de gemeten waterstanden zoals opgetreden tijdens de stormvloed in 1953 zo opgeschaald dat de maximale waterstand overeenkomt met de waterstand met een kans van voorkomen van 1:4000. Ter vergelijking: de waterstanden die in Zeeland optraden in 1953 hadden een kans van voorkomen van ongeveer 1:300 (Rijkswaterstaat & KNMI, 1961). Het scenario voor 2003 is dus veel extremer dan voor 1953.



a



b

Figuur 4.1 Waterstandsverloop voor 1953 en 2003, gebruikt als randvoorwaarde bij de overstromingsmodellering. a) Hansweert en Bath (Westerschelde), b) Bruinisse (Oosterschelde).

Bij het opstellen van de randvoorwaarden voor Tholen (Oosterschelde) is uitgegaan van een noodsluiting van de Oosterscheldekering bij een buitenwaterstand van NAP +3m. Het waterstandsverloop is uitgerekend met een hydraulisch model voor de Oosterschelde door Rijkswaterstaat Directie Zeeland. Opvallend is dat tijdens het hoogwater in de nacht van 31 januari op 1 februari de maximum waterstand lager blijft, maar wel langer aanhoudt. Tijdens het daarop volgende hoogwater (1 februari, aan het einde van de middag) is de maximum waterstand iets hoger dan in 1953. Bovendien houdt deze hoge waterstand langer aan.

Wind

Het effect van wind wordt slechts meegenomen in de randvoorwaarde opgelegd bij de dijkdoorbraak locaties in de vorm van de waterstand op de Westerschelde. Op dit moment is het niet mogelijk wind effecten mee te nemen in het 2D model.

5 Resultaten

5.1 Inleiding

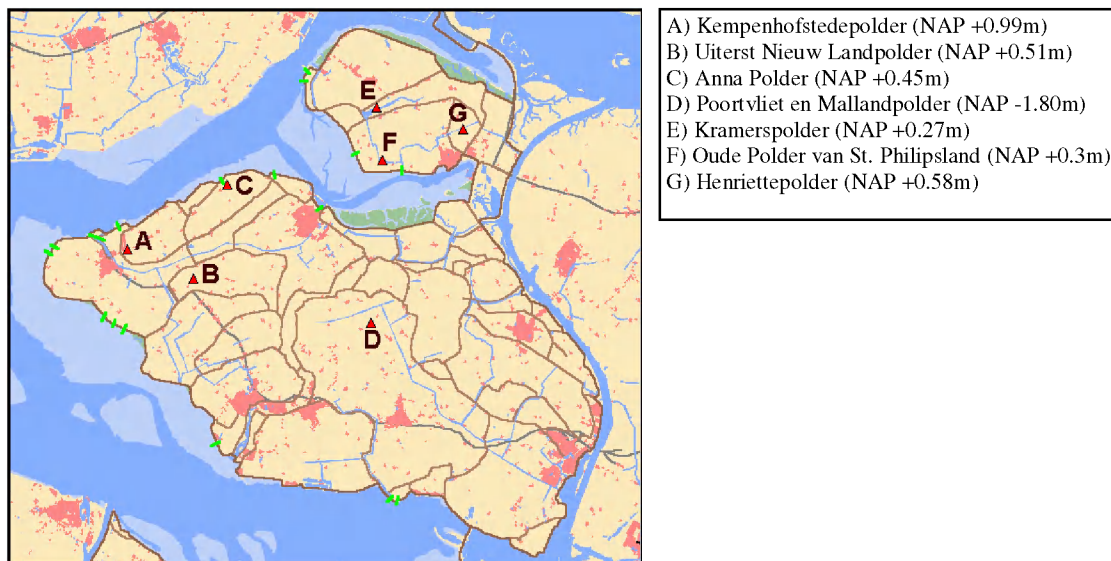
In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van de modelsimulaties besproken. De gegevens voor 1953 zijn gebruikt om de overstromingsmodellen te kalibreren. De gekalibreerde modellen zijn vervolgens gebruikt om overstromingen onder de huidige omstandigheden te simuleren. In dit hoofdstuk worden per dijkkringgebied de resultaten voor 1953 en 2003 getoond en vergeleken. Dit gebeurt aan de hand van:

- grafieken die het verloop van de overstromingsdiepte in de tijd weergeven voor een beperkt aantal locaties binnen de dijkkring; en
- afbeeldingen van het maximaal overstroomd oppervlak.

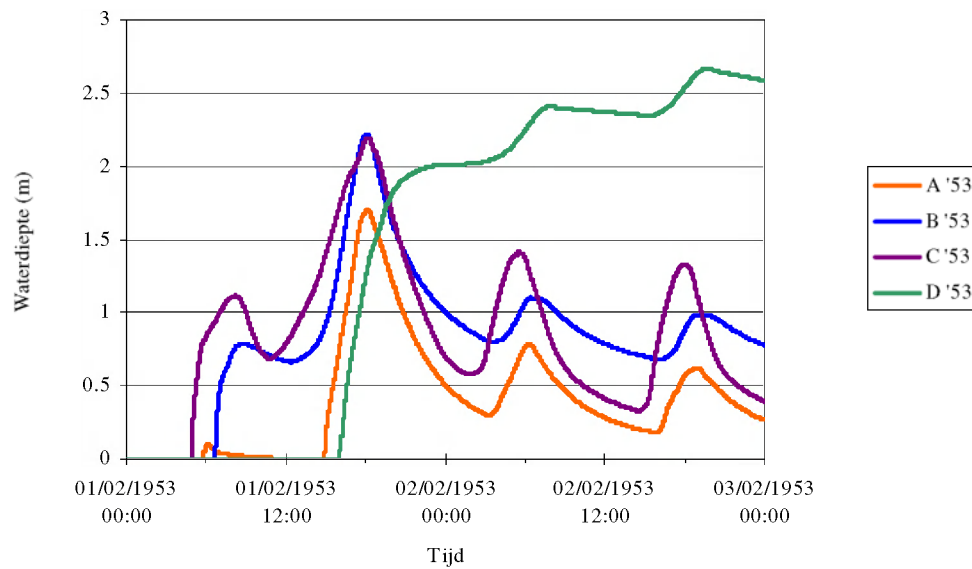
De resultaten zijn ook te bekijken in bijgeleverde AVI-filmpjes.

5.2 Tholen

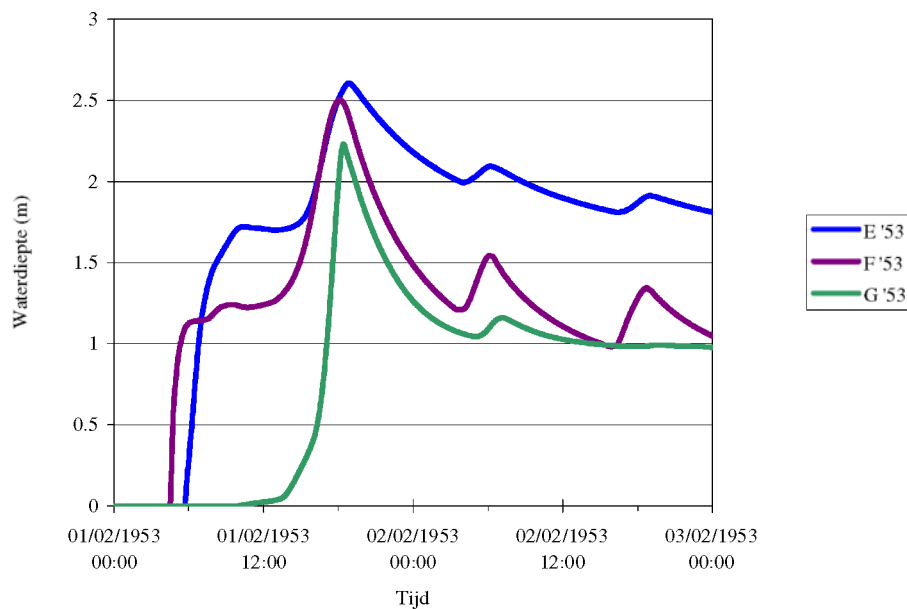
Een groot aantal polders in Tholen en St. Philipsland zijn tijdens de stormvloed van 1953 onder gelopen. De overstromingsdiepte is voor een beperkt aantal locaties weergegeven in Figuur 5.2 en 5.3. Figuur 5.1 toont de ligging van deze locaties. In SOBEK worden deze locaties met gedetailleerde modeluitkomsten 'history nodes' genoemd. Per history node zijn de naam van de polder waarin deze zich bevindt en de hoogteligging vermeld. De hoogteligging heeft betrekking op de grid cel waarin de history node ligt. Het is niet de gemiddelde bodemhoogte van de polder.



Figuur 5.1 Ligging van 'history nodes' in Tholen en St. Philipsland.



Figuur 5.2 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties A t/m D in Tholen tijdens de stormvloed van 1953. Bodemhoogte A t/m D respectievelijk NAP +0.99, +0.51, +0.45 en -1.80 m.



Figuur 5.3 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties E t/m G in St. Philipsland tijdens de stormvloed van 1953. Bodemhoogte E t/m G: NAP +0.27, +0.29 en +0.58 m.

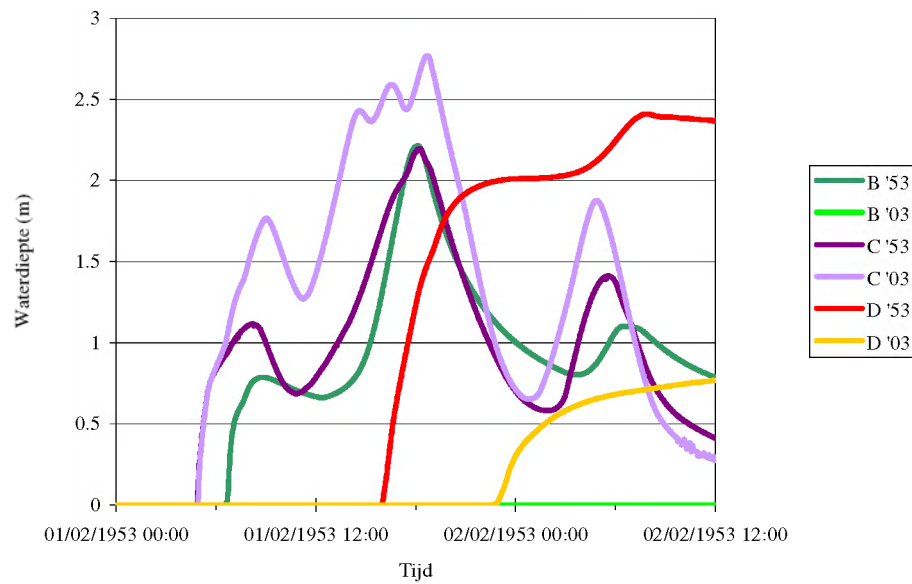
De meeste dijkdoorbraken hebben plaatsgevonden rond 3 à 4 uur in de nacht van 31 januari op 1 februari 1953. Effect van de stormvloed bevond zich op dat moment ongeveer op het hoogste punt. In de polders grenzend aan een dijkdoorbraak nam de waterdiepte binnen enkele uren toe tot 1 à 2 meter (Figuur 5.2 en 5.3, locaties A, B, E, en F).

De polders die beschermd werden door de aanwezigheid van een secundaire kering liepen tijdens de tweede vloedperiode, ongeveer 12 uur later onder water. Op vrijwel alle locaties werd de maximale waterdiepte bereikt tijdens de tweede vloedperiode op 1 februari rond 18:00 uur.

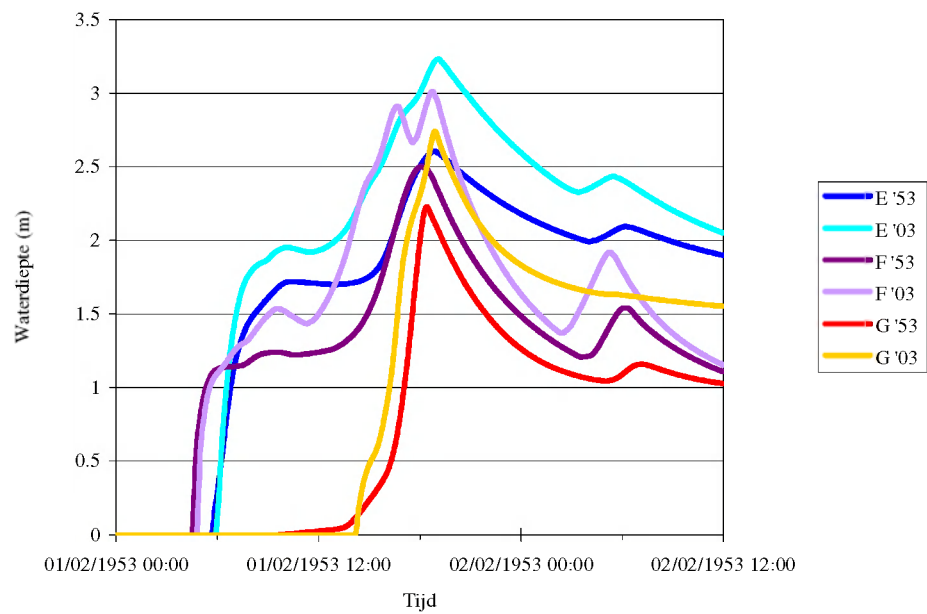
Omdat de meeste polders via een bres in de primaire of secundaire kering zijn gevolgen volgde de waterdiepte de getijcyclus. Tijdens eb kon een deel van het water uit het gebied stromen waardoor de overstromingsdiepte afnam. Afhankelijk van het geborgen volume water en de breedte van de bressen heeft dit effect in meer of minder sterke mate een rol gespeeld. Bij locaties A en C is de getijwerking zeer duidelijk terug te vinden in de overstromingsdiepte. Bij locatie D is dit vrijwel niet het geval.

Het verloop van de berekende overstromingsdiepten in de tijd voor de 2003-randvoorwaarden zijn weergegeven in Figuur 5.4 en 5.5. Om de berekeningsresultaten van 2003 makkelijker te kunnen vergelijken met die van 1953 is de tijd-as gelijk gehouden. Het maximaal overstroomde oppervlak zoals berekend voor de stormvloed in 1953 en met de 2003-randvoorwaarden zijn weergegeven in Figuur 5.6 en 5.7.

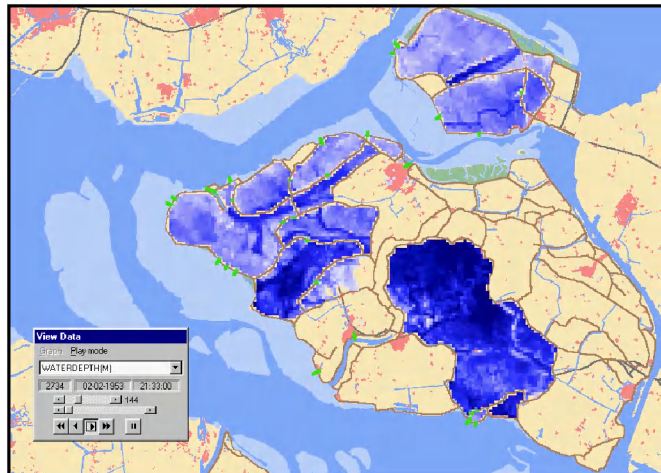
Het berekende overstroomde oppervlak is groter voor de 1953 situatie dan voor de 2003 situatie (Figuur 5.6 en 5.7). Dit komt doordat in 1953 een groot aantal secundaire keringen zijn bezweken. Voor de 2003-simulaties is aangenomen dat de secundaire keringen intact zijn gebleven (zie Hoofdstuk 4). De groene streepjes in beide figuren tonen de locaties van de dijkdoorbraken in primaire en secundaire keringen. De Noordpolder en de Uiterst Nieuwland Polder (locatie B) kwamen in 1953 onder water staan en blijven onder de 2003-randvoorwaarden droog. De Poortvliet en Malland polder (locatie D) komt bij de 2003 randvoorwaarden gedeeltelijk onder water te staan. In 1953 overstroomde deze polder verder doordat het water sneller de polder in kon stromen nadat de secundaire kering aan de zuidkant van de polder, bij Strijenharn, bezweek.



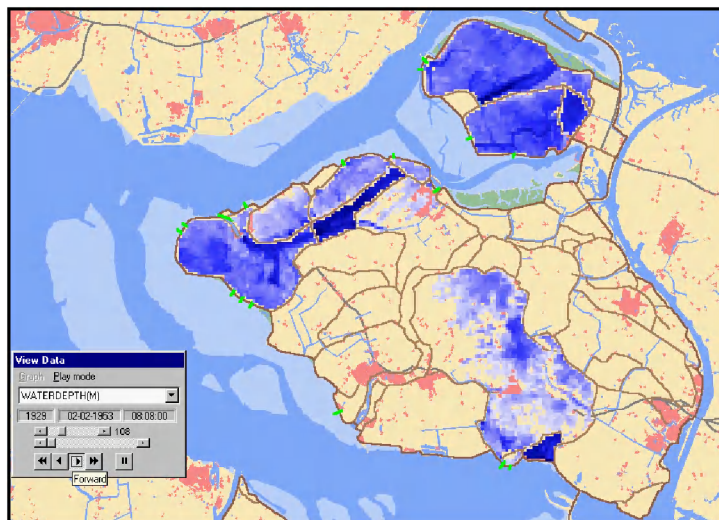
Figuur 5.4 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties B t/m D in Tholen met de randvoorwaarden van 1953 en 2003. Bodemhoogte B t/m D: NAP +0.51, +0.4, -1.80 m.



Figuur 5.5 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties E t/m G in St. Philipsland met de randvoorwaarden van 1953 en 2003. Bodemhoogte E t/m G: NAP +0.27, +0.29, +0.58 m.



Figuur 5.6 Maximaal overstroomd oppervlak in Tholen volgens de overstromingssimulaties voor 1953.



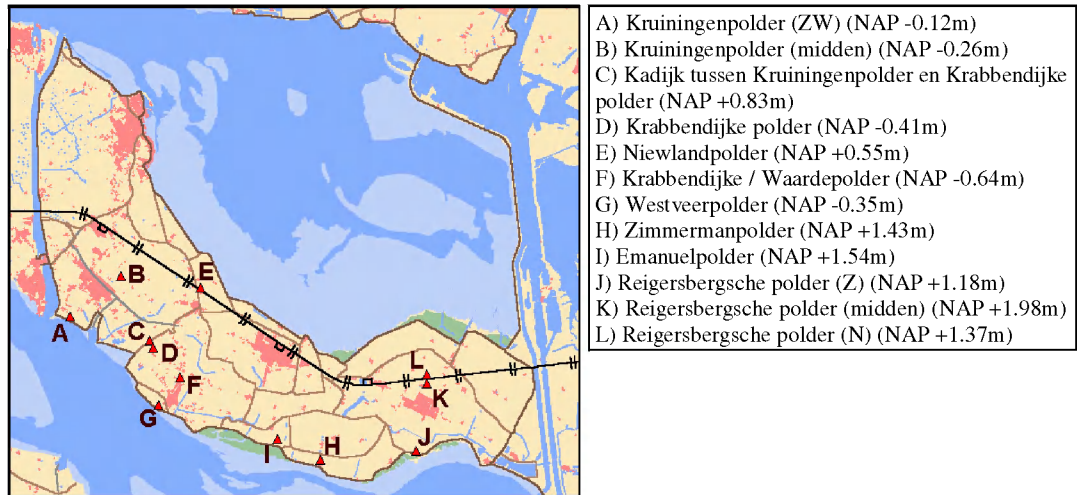
Figuur 5.7 Maximaal overstroomd oppervlak in Tholen en St. Philipsland volgens de overstromingssimulaties voor 2003.

Hoewel het overstroomde oppervlak bij het 2003-scenario kleiner is, zijn de optredende waterdieptes op de meeste locaties groter. Het verschil bedraagt ongeveer een halve meter. Variaties in waterdiepten in de tijd zijn vrijwel gelijk, alleen de absolute diepte verschilt. De toename in overstromingsdiepte is het gevolg van de hogere waterstanden tijdens de 2^e vloedperiode, die bovendien langer aanhouden (zie Hoofdstuk 4). Voor locaties B en D is een afname in de overstromingsdiepte berekend voor 2003 ten opzicht van 1953. Dit komt doordat deze locaties achter hoge secundaire keringen liggen die in de 2003 berekeningen intact blijven, zodat slechts weinig water het gebied in stroomt.

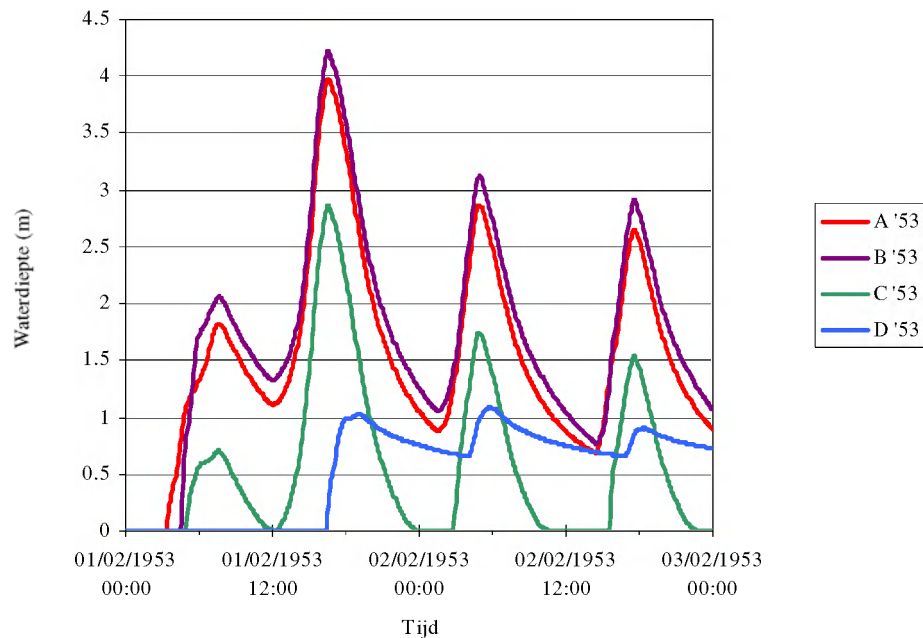
In de tekst zijn slechts figuren van overstromingsdiepten opgenomen. In de bijlagen zijn voor een beperkt aantal locaties figuren met het verloop van de waterstand in de tijd weer gegeven.

5.3 Zuid Beveland

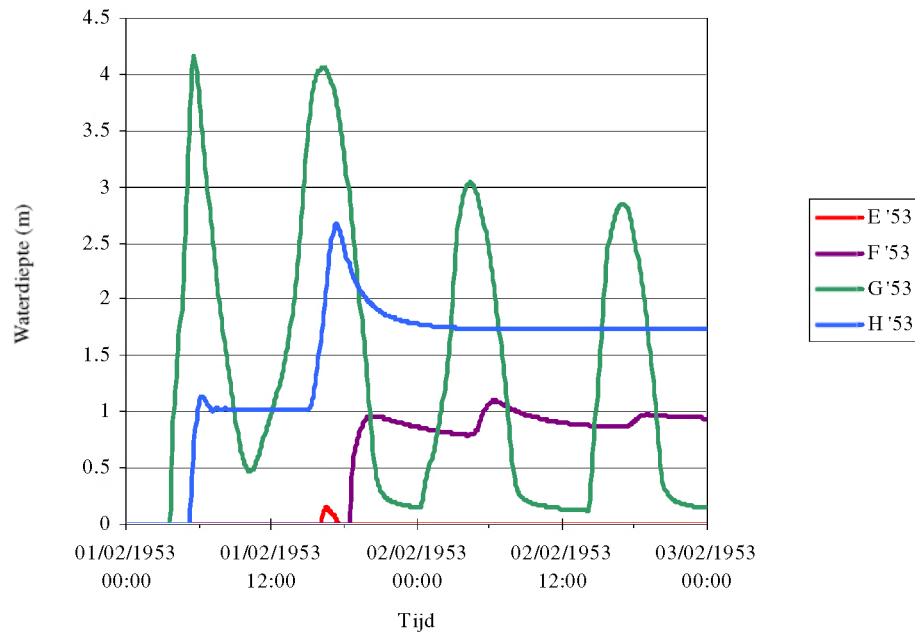
De locaties in Zuid Beveland waarvoor tijdseries van de waterdiepte beschikbaar zijn, zijn weergegeven in Figuur 5.8. De overstromingsdieptes zoals berekend voor de ramp in 1953 zijn weer gegeven in Figuur 5.9 t/m 5.11.



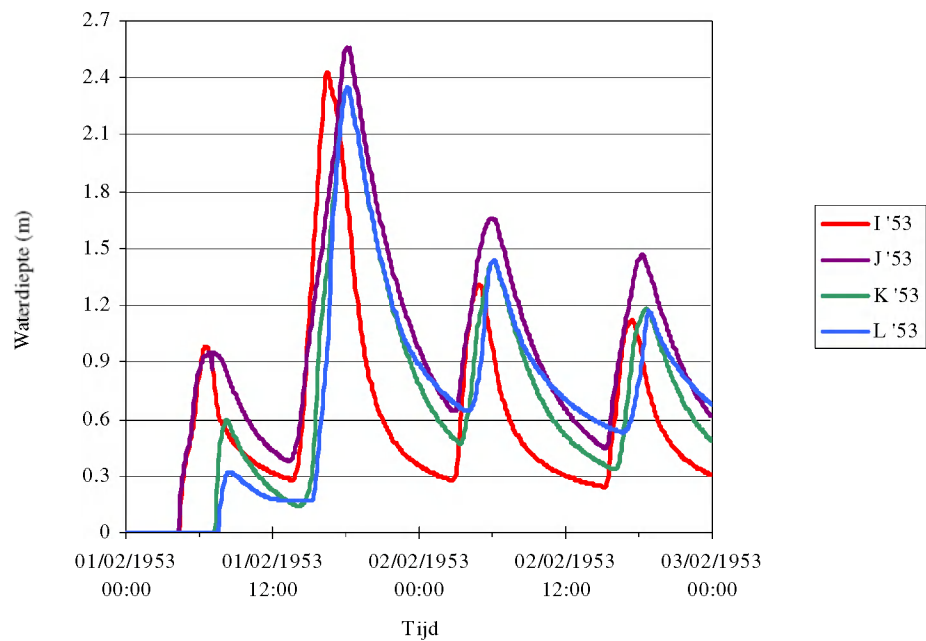
Figuur 5.8 Ligging van 'history nodes' in Zuid Beveland.



Figuur 5.9 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties A t/m D in Zuid Beveland. Bodemhoogte A t/m D: NAP -0.12, -0.26, +0.83, en -0.41 m.



Figuur 5.10 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties E t/m H in Zuid Beveland. Bodemhoogte E t/m H: NAP +0.55, -0.64, -0.35, en +1.43.



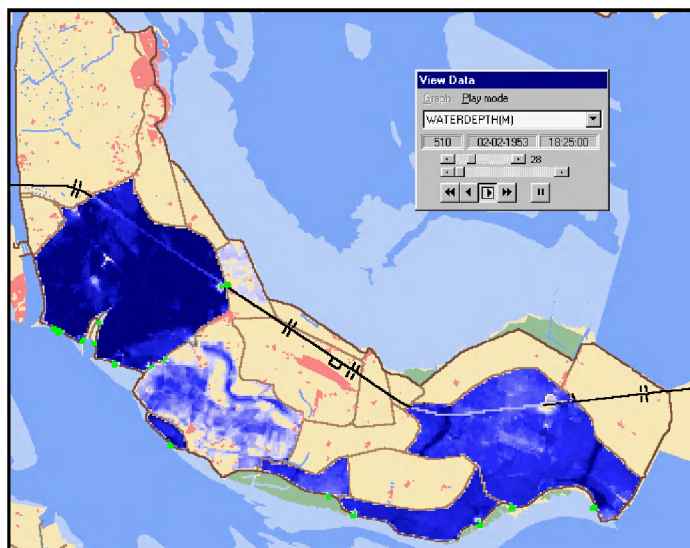
Figuur 5.11 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties I t/m L in Zuid Beveland. Bodemhoogte I t/m L: NAP +1.54, +1.18, +1.98, en +1.37 m.

Net als in Tholen lopen ook in Zuid Beveland de polders die direct grenzen aan een dijkdoorbraaklocatie binnen enkele uren onder water (locaties a, b, c, g, i, h, j). De looptijd van de vloedgolf binnen een polder is klein. Het tijdsverschil tussen de waterstandsstijging bij locatie A en locaties B/C, allen gelegen in de Kruiningenpolder, bedraagt minder dan 2 uur. Grotere tijdsverschillen in het moment van overstromen zijn altijd het gevolg van de aanwezigheid van secundaire keringen. Zo zorgt de aanwezigheid van de Kadijk tussen locaties C en D (Kruiningenpolder en Krabbendijkpolder) voor een vertraging van ongeveer 12 uur.

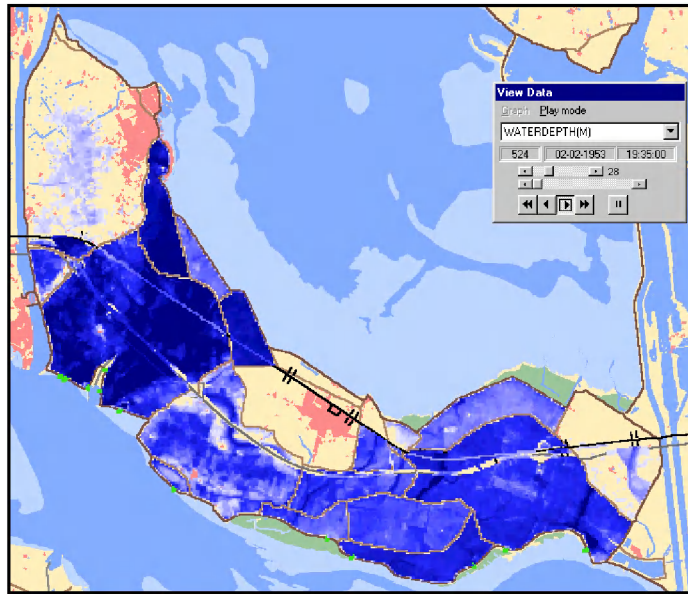
De maximale waterdieptes variëren van 1 meter op locaties D en F tot meer dan 4 m op locaties A, B, en G. Op vrijwel alle locaties wordt de maximale waterdiepte bereikt tijdens het tweede hoogwater op 1 februari 1953 om ongeveer 18 uur.

Het maximaal overstroomd oppervlak zoals berekend voor de 1953 ramp is te zien in Figuur 5.12. Figuur 5.13 toont eveneens het maximaal overstroomd oppervlak maar dan zoals berekend voor de 2003-randvoorwaarden. Ondanks het feit dat is aangenomen dat bij de 2003-simulaties alle secundaire keringen intact blijven is het overstroomde oppervlak groter. Dit komt doordat de buitenwaterstand in 2003 hoger is dan in 1953. Hierdoor stroomt meer water de polders binnen, wat resulteert in een grotere waterdiepte in de overstroomde polders en grote hoeveelheden water over de secundaire keringen heen kunnen stromen. Wanneer wordt aangenomen dat secundaire keringen bezwijken wanneer er grote hoeveelheden water overheen stromen valt een toename van het overstroomde oppervlak te verwachten.

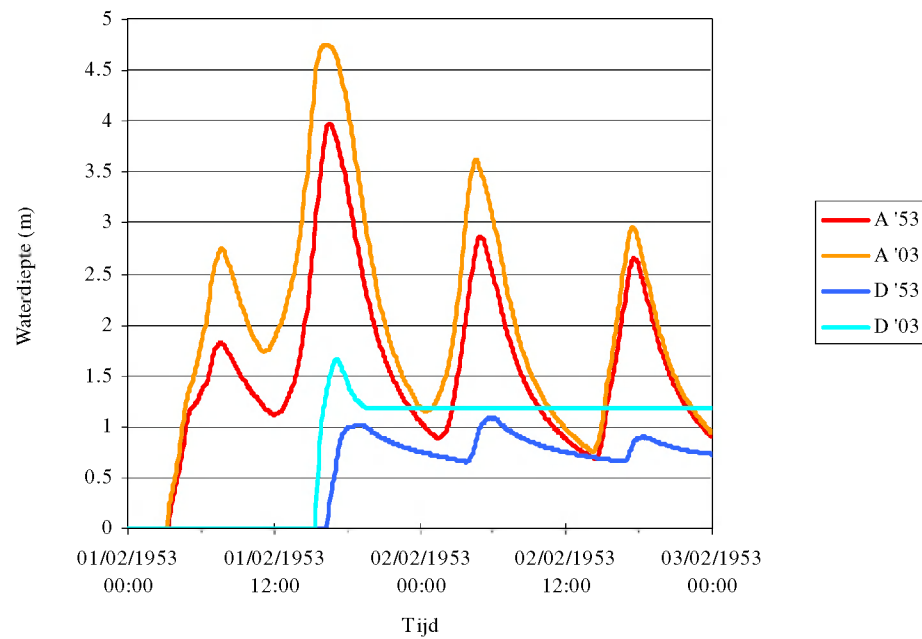
De grotere waterdiepten voor de 2003-randvoorwaarden blijkt ook uit Figuur 5.14 en 5.15. Het verschil in berekende waterdiepte bedraagt ongeveer een halve meter tot 1.5 m of meer.



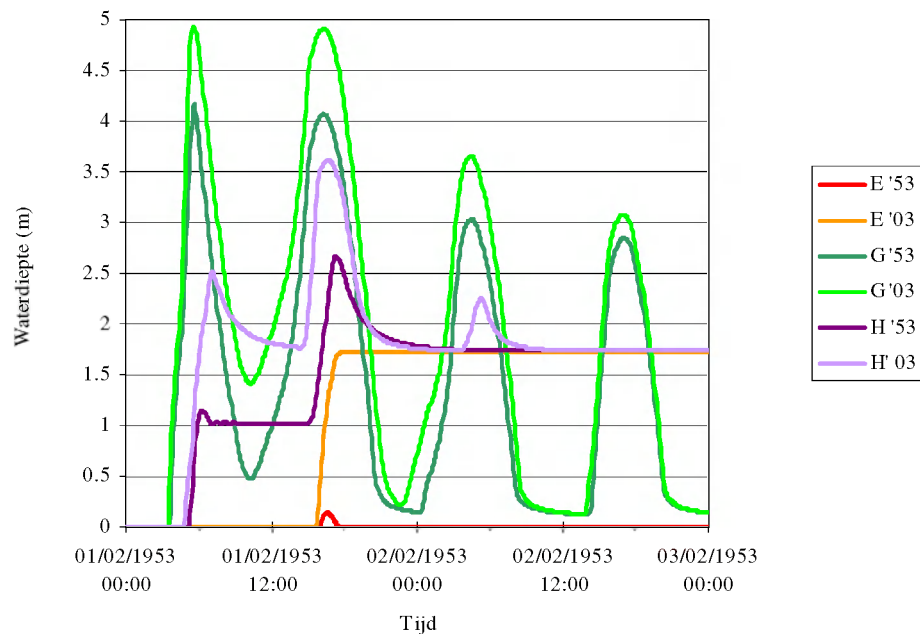
Figuur 5.12 Maximaal overstroomd oppervlak in Zuid Beveland volgens de overstroomingssimulaties voor 1953.



Figuur 5.13 Maximaal overstroemd oppervlak in Zuid Beveland volgens de overstromingssimulaties voor 2003.



Figuur 5.14 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties A en D in Zuid Beveland. Bodemhoogte A en D: NAP -0.12 en -0.41 m.



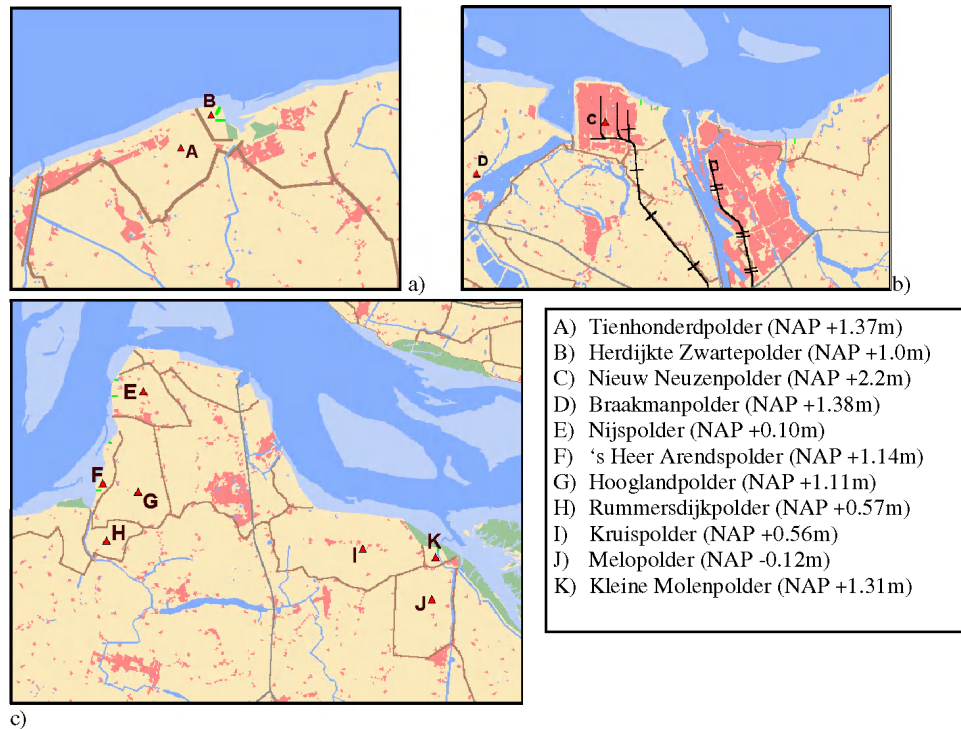
Figuur 5.15 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties E, G, en H in Zuid Beveland.
Bodemhoogte E, G en H: NAP +0.55, -0.35, en +1.43 m.

5.4 Zeeuws-Vlaanderen

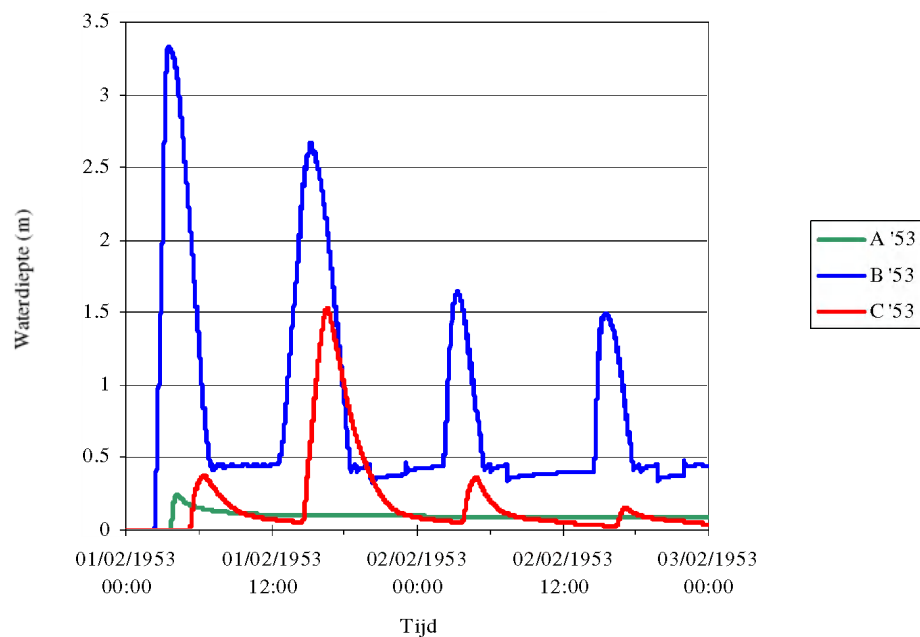
Figuur 5.16 toont de locaties in Zeeuws-Vlaanderen waarvoor tijdseries van de waterdiepte zijn opgeslagen. Het verloop van de waterdiepte in de tijd zoals berekend voor deze locaties is getoond in Figuur 5.17, 5.18 en 5.19.

Doordat de dijk bij de Herdijkte Zwartepolder (locatie B) relatief vroeg is doorgebroken en het bergend vermogen van de polder klein is wordt de maximale waterdiepte hier reeds tijdens de eerste vloedperiode gehaald. Dit geldt ook voor de aangrenzende Tienhonderdpolder (A). Op de meeste overige locaties wordt de maximale waterdiepte bereikt tijdens het tweede hoogwater.

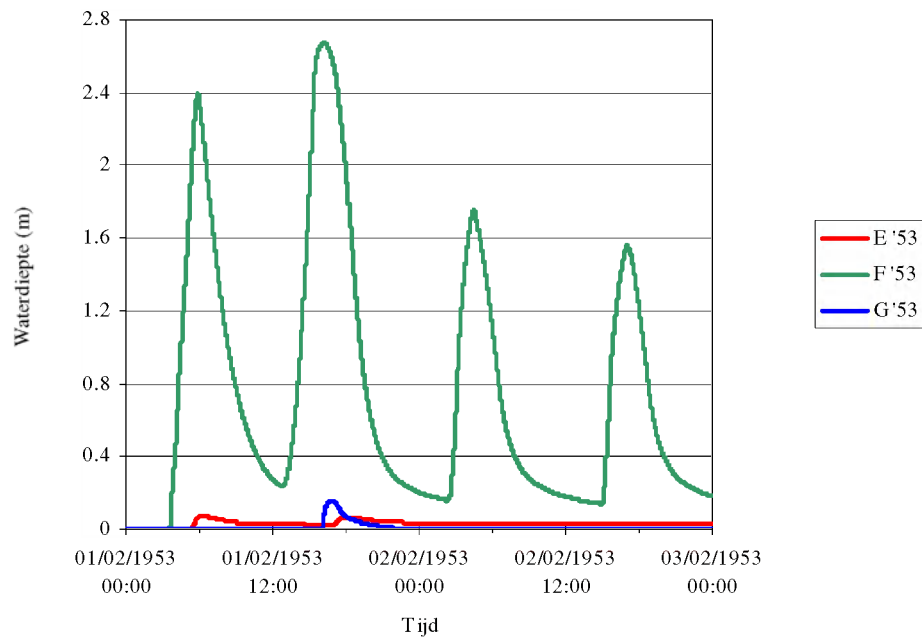
Verschillen in maximaal berekende waterdieptes zijn groot: minder dan 0.5 m in onder meer de Tienhonderdpolder (A) en de Nijspolder (E) tot meer dan 2.5 m in de Herdijkte Zwartepolder (B) en de 's Heer Arendspolder (F).



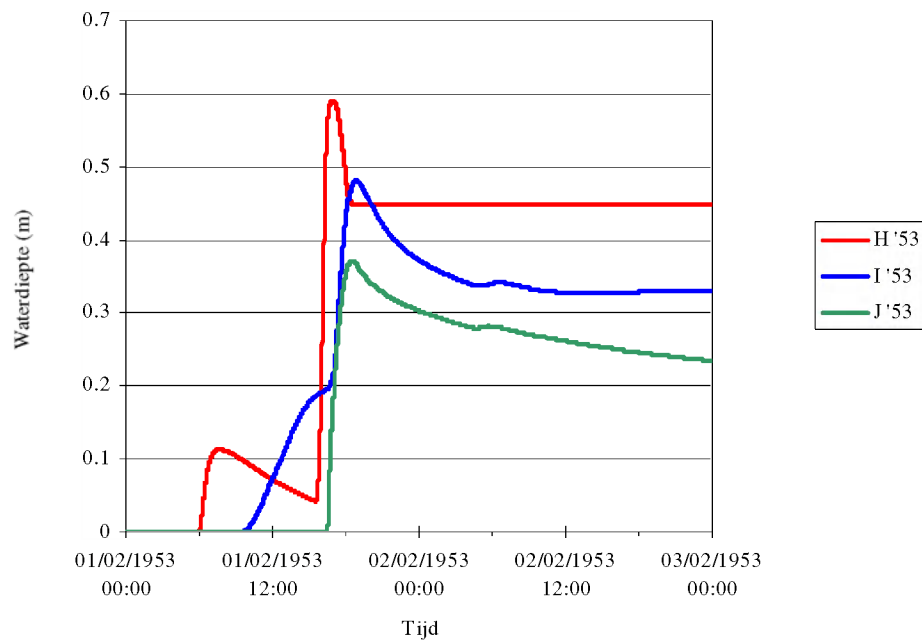
Figuur 5.16 Ligging van 'history nodes' in Zeewo-Vlaanderen, a) west, b) midden, c) oost.



Figuur 5.17 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties A t/m C in Zeewo-Vlaanderen zoals berekend voor de ramp van 1953. Hoogteligging A t/m C: NAP +1.37, +1.0, en +2.2 m.

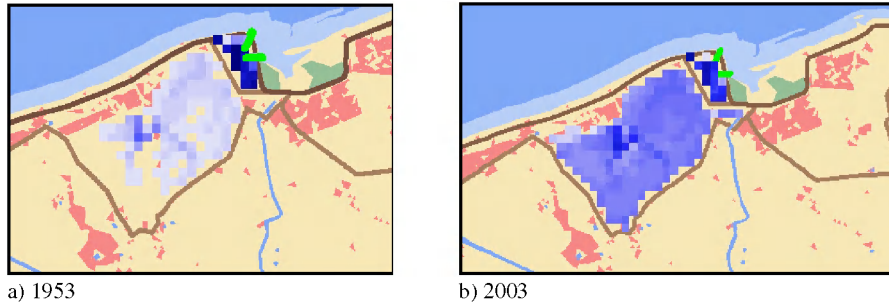


Figuur 5.18 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties E t/m G in Zeeuws-Vlaanderen zoals berekend voor de ramp van 1953. Hoogteligging E t/m G: NAP +0.10, +1.14, en +1.11 m.

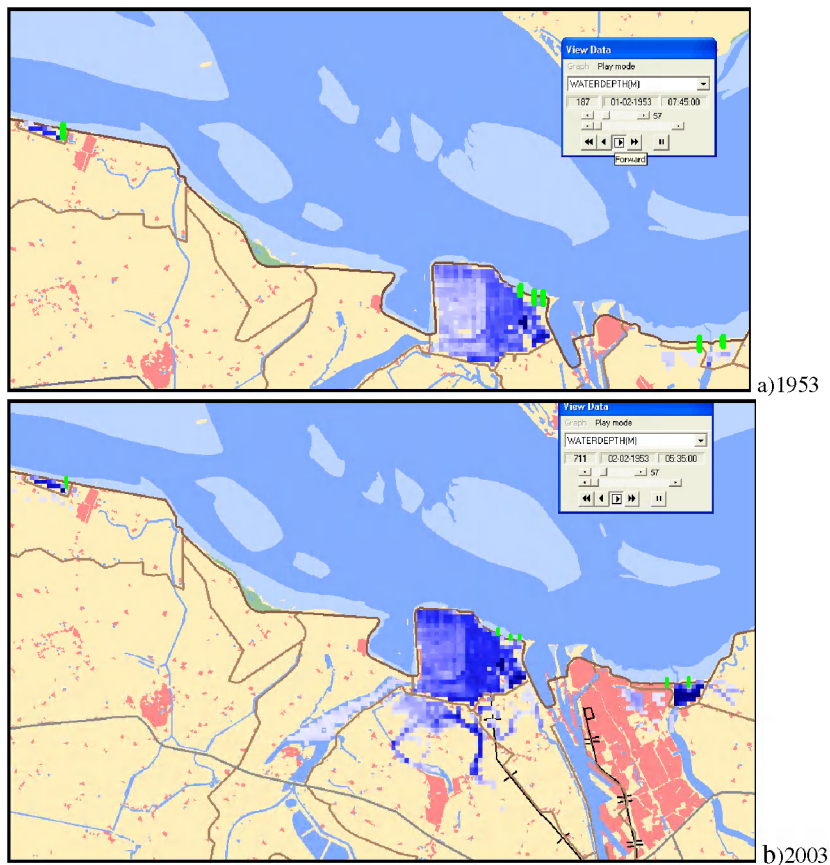


Figuur 5.19 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties H t/m J in Zeeuws-Vlaanderen zoals berekend voor de ramp van 1953. Hoogteligging H t/m J: NAP +0.57, +0.56, en -0.12 m.

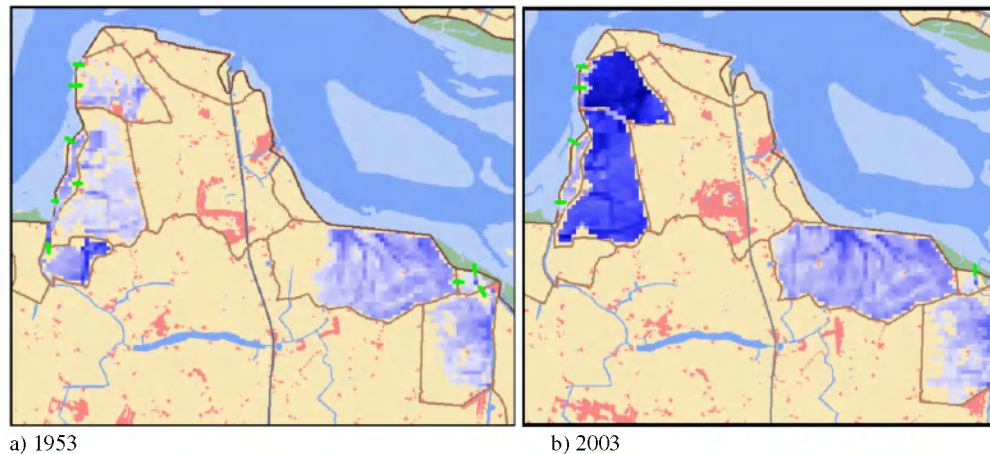
Het berekende overstroomde oppervlak voor de stormvloed van 1953 voor het westelijk deel van Zeeuws-Vlaanderen is afgebeeld in Figuur 5.20a. Figuur 5.20b toont het overstroomde oppervlak zoals berekend met de 2003-randvoorwaarden. Figuur 5.21 en 5.22 tonen de maximaal overstroomde oppervlakten zoals berekend voor 1953 en 2003 voor het centrale en oostelijke deel van Zeeuws-Vlaanderen.



Figuur 5.20 Maximaal overstroomd oppervlak in het westelijke deel van Zeeuws-Vlaanderen volgens de overstromingssimulaties voor 1953 en 2003.



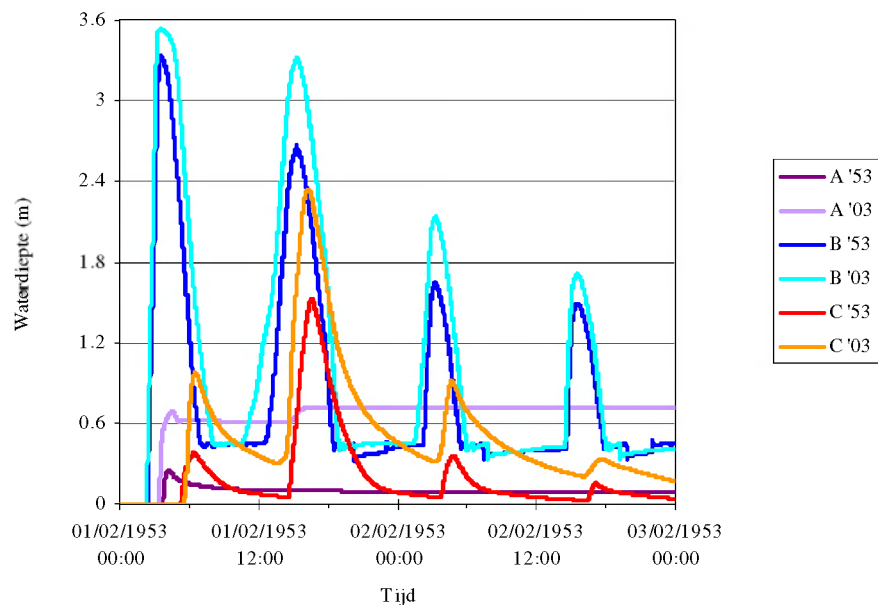
Figuur 5.21 Maximaal overstroomd oppervlak in het centrale deel van Zeeuws-Vlaanderen volgens de overstromingssimulaties voor 1953 en 2003.



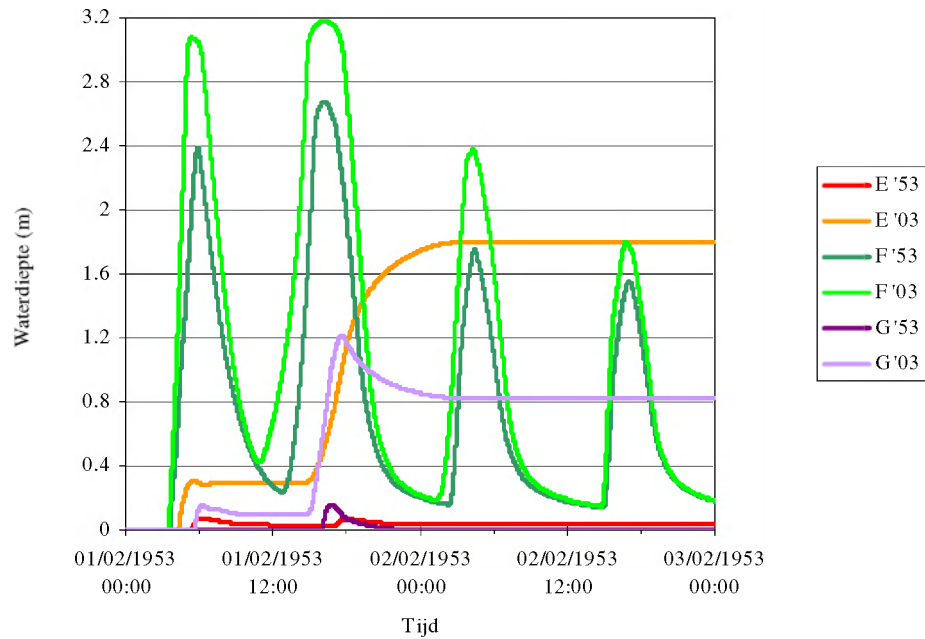
Figuur 5.22 Maximaal overstroomd oppervlak in het oostelijke deel van Zeeuws-Vlaanderen volgens de overstromingssimulaties voor 1953 en 2003.

Hoewel de waterdieptes in het westelijk deel toenemen, blijft het maximaal overstroomde oppervlak gelijk (Figuur 5.20). De Strijdersdijk en de Ringdijk noord zijn hoog genoeg om het water te keren. Ditzelfde geldt voor de polders in het oostelijk deel van Zeeuws-Vlaanderen (Figuur 5.22). Dit is echter niet het geval bij de Nieuw Neuzenpolder bij Terneuzen (Figuur 5.21). Hoewel de secundaire kering niet bezwijkt, stroomt er wel water overheen. De hoeveelheid is beperkt. Omdat het water de laagste delen volgt blijft het extra overstroomde oppervlak beperkt tot de Braakmankreek, de Voorste Kreek en de Achterste Kreek. Hier staat al water in, maar de waterdiepte zal toenemen. Wanneer de secundaire kering bezwijkt zal een veel groter deel van het gebied onder water komen te staan.

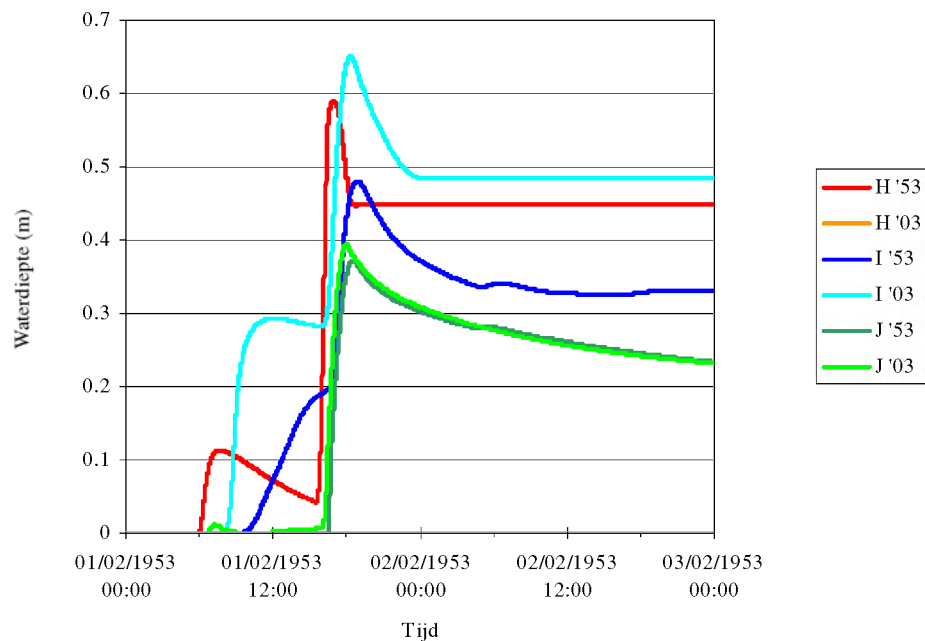
De toename in overstromingsdiepte blijkt duidelijk uit Figuur 5.23 t/m 5.25.



Figuur 5.23 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties A t/m C in Zeeuws-Vlaanderen voor de simulaties voor 1953 en 2003. Hoogteligging A t/m C: NAP +1.37, +1.0, en +2.20 m.



Figuur 5.24 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties E t/m G in Zeeuws-Vlaanderen voor de simulaties voor 1953 en 2003. Hoogteligging E t/m G: NAP +0.10, +1.14, en +1.11 m.



Figuur 5.25 Verloop van overstromingsdiepte in de tijd voor locaties H t/m J in Zeeuws-Vlaanderen voor de simulaties voor 1953 en 2003. Hoogteligging H t/m J: NAP +0.57, +0.56, en -0.12 m.

5.5 Discussie en conclusies

Op de meeste locaties in het overstroomde gebied worden de maximale waterdieptes bereikt tijdens het tweede hoogwater. De reden hiervoor is dat de dijken relatief laat tijdens de vloedperiode bezwijken. Op het moment dat het water de polders instroomt, begint de buitenwaterstand al bijna te zakken. Tijdens de daaropvolgende vloedperiode kan het water al vanaf het begin vrij de polders instromen waardoor het totale instromende volume groter is en de waterdiepten groter worden.

Het belang van de aanwezige secundaire keringen op het overstromingsverloop blijkt eveneens uit de modelleringsresultaten zoals getoond in de figuren en in de AVI filmpjes. In polders waar op geringe afstand van de primaire kering een tweede kering aanwezig is, is de omvang van de overstroming beperkt. Dit is vooral het geval in Zeeuws-Vlaanderen. Hoewel in Zuid Beveland en Tholen eveneens secundaire keringen aanwezig waren is het overstroomde oppervlak hier groter. Dit komt doordat grote hoeveelheden water over de keringen heen stroomden waardoor deze bezweken. In werkelijkheid zullen deze keringen na verloop van tijd bezwijken waardoor een nog groter gebied onder kan lopen dan in deze simulaties het geval is.

6 Aanbevelingen

De dijkdoorbraakscenario's die gesimuleerd zijn in het kader van deze studie geven een goed beeld van het overstromingsverloop binnen de onderzochte dijkkringgebieden zoals opgetreden in 1953 en zoals ze in theorie op zouden kunnen treden onder de huidige omstandigheden onder nog extremere condities. Om het functioneren van het systeem bij een of meerdere dijkdoorbraken vanuit de Wester- of Oosterschelde nog beter in de vingers te krijgen en om voorbereid te zijn op doorbraken op een andere locatie of onder andere omstandigheden kan het aantal scenario's worden uitgebreid met modelsimulaties waarbij:

- de dijk breekt op een andere locatie zodat andere polders, met bijvoorbeeld veel bebouwing of industrie, onderlopen;
- de bresbreedte afwijkt van de in deze studie gehanteerde breedtes;
- de buitenwaterstand hoger of lager is;
- de dijk bezwijkt op een ander moment ten opzichte van het optreden van de piek in de buitenwaterstand;
- er meer of minder secundaire keringen bezwijken.

Gezien het belang van de secundaire keringen op het overstromingsverloop kan worden verondersteld dat de aanname dat secundaire keringen bezwijken wanneer er grote hoeveelheden water overheen stromen, zal leiden tot veel grotere omvang van het overstroomde gebied. De overstromingsmodellen dienen in de toekomst hier voor te worden aangepast zodat een bres ontstaat wanneer de hoogte van de kruin van de tussendijk wordt overschreden.

7 Samenvatting en conclusies

Inleiding

In het kader van het Delta 2003 project is besloten voor een aantal dijkkringen in Zeeland de overstromingen van 1953 te simuleren. De simulaties zijn uitgevoerd met behulp van de overstromingsmodule (OM) van HIS (Hoogwater Informatie Systeem), ookwel Delft-1D2D genaamd. Implementatie van het HIS bij de Provincie Zeeland is op dit moment gaande. Omdat de activiteiten rondom Delta 2003 bij de Provincie Zeeland parallel lopen aan de implementatie van het HIS zijn de gebeurtenissen rondom de watersnoodramp in 1953 gesimuleerd als pilot project. De modelschematisaties zijn vervolgens gebruikt om doorbraakscenario's met de huidige randvoorwaarden door te rekenen zodat een indruk wordt verkregen van de omvang van het gebied dat nu bij een dijkdoorbraak getroffen zou worden. Deze informatie kan worden gebruikt om rampenbestrijdingsplannen op te stellen (evacuatieplannen) om het aantal slachtoffers als gevolg van een mogelijke doorbraak te minimaliseren.

Studiegebied

Het gemodelleerde gebied beslaat dijkkring 27 (Tholen), 31 (Zuid Beveland) en 32 (Zeeuws-Vlaanderen). De Westerschelde en de Oosterschelde maken geen onderdeel uit van het hydraulisch model. De waterstanden dienen slechts als randvoorwaarden. België maakt evenmin deel uit van het overstromingsmodel. De hoogteligging en de hydraulische ruwheid van het Belgisch grondgebied dat grenst aan Zeeuws-Vlaanderen zijn constant gehouden. Wanneer het model gebruikt dient te worden voor het modelleren van overstromingen in België kan het echter eenvoudig worden aangepast. Hiervoor zijn wel aanvullende hoogtegegevens en landgebruikgegevens voor België nodig.

Het overstromingsmodel

Het overstromingsmodel is ontwikkeld in SOBEK door gebruik te maken van de modules "Channel Flow" (CF) en "Overland Flow" (OF), ookwel Delft-1D2D genaamd. De 1D modelschematisatie bestaat uit het kanaal van Gent naar Terneuzen en de dijkdoorbraken zoals opgetreden in 1953.

Het overland flow model bestaat uit een hoogte grid en een ruwheids grid. Het hoogte grid is gemaakt met behulp van AHN-bestanden. Lijnelementen zoals spoordijken en andere dijken zijn apart in het hoogtemodel aangebracht. De hoogte van (spoor)dijken is in de meeste gevallen digitaal door de opdrachtgever en de begeleidingsgroep aangeleverd. Slechts voor een beperkt aantal dijkjes is de hoogteligging uit het AHN afgeleid. Het ruwheids grid is gebaseerd op landgebruikgegevens waaraan een ruwheidslengte gekoppeld is.

Dijkdoorbraaksimulaties

Per dijkkringgebied zijn twee situaties doorgerekend:

- situatie als opgetreden in 1953: waterstanden, doorbraaklocaties en omvang van bressen zoals gemeten in 1953 (zowel in primaire als secundaire keringen);
- situatie in 2003: waterstanden met een kans van voorkomen van 1:4000 op de Westerschelde en met een noodsluiting van de stormvloedkering in de Oosterschelde. Locaties en omvang bressen in primaire keringen als in 1953, secundaire keringen bezwijken niet.

Resultaten

De resultaten van alle modelsimulaties zijn verwerkt tot AVI filmpjes. Dit rapport toont kaartjes met de maximale omvang van het overstroomde gebied zoals berekend voor de verschillende modelsimulaties. De volgende punten blijken een belangrijk effect te hebben op het overstromingsverloop:

- De timing van de dijkdoorbraak t.o.v. de vloed piek: indien de dijk bezwijkt voor de maximale waterstand wordt bereikt kan meer water het gebied in stromen waardoor de omvang en de maximale diepte groter zijn. In de modelsimulaties bezwijken de dijken min of meer op het moment dat de maximale buitenwaterstand wordt bereikt. Omdat de achterliggende gebieden nog niet vol zijn voor het buitenwater is gezakt wordt op de meeste locaties de maximale waterstand pas tijdens de daaropvolgende vloedperiode bereikt.
- De aanwezige secundaire keringen: indien op geringe afstand van de primaire kering een tweede kering aanwezig is, die niet of pas in een laat stadium bezwijkt, is de omvang van de overstroming beperkt. Dit effect is vooral duidelijk aanwezig in Zeeuws-Vlaanderen. In Tholen en Zuid Beveland zijn in 1953 veel secundaire keringen bezweken waardoor grote gebieden onder water liepen. Volgens de 2003-simulaties stroomt in deze gebieden het water op veel plaatsen over de secundaire keringen heen, ook zonder dat deze breken.

Aanbevelingen

Gezien het grote belang van de secundaire keringen is het aan te raden om aanvullende simulaties uit te voeren waarbij aangenomen wordt dat secundaire keringen bezwijken zodra hier water overheen stroomt. Ook kunnen aanvullende simulaties worden uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in het effect van onder andere de locatie van de bres, de breedte van de bres, en de hoogte van de buitenwaterstand.

8 Referenties

Rijkswaterstaat en KNMI (1961), Verslag over de stormvloed 1953. Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf, Den Haag.

Bijlagen

A Overzicht dijkdoorbraken dijkkring 27, 31, en 32

Onderstaande tabellen geven een overzicht van de opgetreden dijkdoorbraken in dijkkring 27, 31 en 32. De betekenis van de kolommen is in alle tabellen gelijk en als volgt:

- nr. Nummer van de polder weergegeven in de Figuren in Hoofdstuk 3
- Polder Naam van de polder
- B Bresbreedte in m
- H Hoogteligging onderkant bres in cm + NAP
- S Ontstaat een stroomgat ja/nee
- B Doorbraak in binnendijk ja/nee
- T Tijdstip van doorbraak in minuten na 1 februari 1953 0:00 uur plaatselijke tijd.

Tabel A.1 Overzicht dijkdoorbraken Sint-Philipsland

nr.	Polder	B (m)	H cm +NAP	S	B	T (min)	Bijzonderheden
1a	Willemppolder	71	250			180	rond 3 uur bezwaken schotbalken in de coupure.
1a	Willemppolder	112	-200	JA		195	2 bressen. Polder liep zeer snel vol.
1b	Anna Jacobapolder	80	100	JA	JA	215	2 bressen in binnenwaterkering die tot stroomgaten zijn uitgegroeid, 30 en 50 m.
1b	Kramerspolder						water uit Anna Jacobapolder en Oude van Sint-Philipsland (coupure), max NAP +1.65 m
1c	Polder Oude van St. Philipsland	80	0	JA		210	westelijke bres uitgegroeid tot stroomgat van 80 m
1c	Polder Oude van St. Philipsland	95	0	JA		215	oostelijke bres uitgegroeid tot stroomgat van 95 m, geïnundeerd tot NAP +3.0 m
1d	Henriettepolder	112	150		JA	240	water door duiker en later ook over dijk (oostdijk) tussen deze polder en Oude van St Philipsland. max waterstand NAP +3.0 m
1b	Abraham Wisssepolder	106	100		JA	3000	dras geworden bij gebrek aan lozing.

Tabel A.2 Overzicht dijkdoorbraken Tholen

Nr.	Polder	B (m)	H cm +NAP	S	B	T (min)	Bijzonderheden
1a	Stavenisepolder	65	-450	JA		225	in zeer korte tijd ook de polders Nieuw-Kempenshofstede, Nieuw-Maartensdijk en Oude Zuidmoer vol.
1b	Stavenisepolder	65	-450	JA		225	beide bressen uitgegroeid tot stroomgaten.
1c	Havenkade Stavenisse	94	200			225	op twee plaatsen brak de havenkade van Stavenisse, dorp stond snel blank
1d	Margarethapolder	166	100			225	op drie plaatsen bressen (samen genomen in 1 doorbraak)
2	Oud-Kempenshofstedepolder	151	250		JA	225	water stroomde over binnendijk vanuit Margarethapolder, later 2 bressen
2	Oud-Kempenshofstedepolder	151	70		JA	850	tijdens de tweede vloed steeg de waterstand tot NAP +3.0m
3	Moggershilpolder	180	100			3000	dras geworden door overstort en gestremde lozing
4a	Nieuwe Annex Stavenisepolder	71	-450	JA		225	meerdere bressen met totale lengte van 1600 m, 3 bressen (4a,b,c) uitgegroeid tot stroomgaten
4b	Nieuwe Annex Stavenisepolder	130	-450	JA		225	
4c + 5	Nieuwe Annex Stavenisepolder + Nieuwe Zuidmoerpolder	92	-450	JA		225	water over binnendijken vanuit Nieuwe Annex Stavenisepolder en Oude Zuidmoerpolder
6a	Uiterst Nieuwlandpolder	100	0	JA	JA	270	water over binnendijk (Vierde dijk) uit de Stavenisepolder (2 bressen)
6a	Uiterst Nieuwlandpolder	102	0	JA	JA	270	2 bressen uitgegroeid tot stroomgaten. Geïnuundeerd bij tweede vloed 1-2-53 tot 3.50m+NAP
6a	Noordpolder	108	100		JA	280	water over Derde Dijk uit Uiterst Nieuwlandpolder naar Noordpolder
6a	Middellandpolder	20	50		JA	290	via open duikers in Tweede Dijk uit Noordpolder naar Middellandpolder. Bij tweede vloed 1-2-53 tot 3.50m+NAP
6c	Oudelandpolder	151	450			180	Polder dras door water uit de Pluimpot over de havenkade van St.Maartensdijk stroomde.
7	Muijepolder	139	400			200	Bres van 160 m, drempel boven normaal hoogwater, instroom dus van korte duur (dras).
8a	Suzannapolder	141	-150			240	noordwestelijke zeedijk brak op plaats waar Engelse geschutstelling indertijd was ingegraven.
8b	Anna Vosdijkpolder	57	-300			270	bres 55 m. ook water uit Oud-Kempenshofstedepolder. Tijdens 2e vloed op 1-2-53 steeg water tot NAP +2.9m
8b	Oud-Kempenshofstedepolder	102	60		JA	270	Binnendijk tussen Anna Vosdijkpolder en Oud-Kempenshofstedepolder brak rond 04:30 uur.
8c	Bredenvlietpolder	150	100		JA	300	Nadat Anna Vosdijkpolder vol was gelopen, liep water over Anna Vosdijk in Bredenvlietpolder.
8d	Oudelandpolder	10	-150			300	T.p.v. coupure haven van St. Annaland een gat van 8 m breed. Na 2e vloed gedicht. Polder kwam dras te staan.
6b	Ravensoordpolder	224	60		JA	360	Kwam samen met Oudelandpolder van het Waterschap Sint-Annaland dras te staan.
9a	Klaas van Steenlandpolder	104	-570	JA		240	Bres aan weerszijden van de uitwateringssluis. Groeide uit tot een stroomgat.
9a	Klaas van Steenlandpolder	64	-100			240	Bres t.p.v. een Duitse bunker, welke na ondermijning was verschoven.
9b	Nieuw Strijen-, Poortvliet- en Mallandpolder	96	-100	JA	JA	270	Bres in binnendijk tussen Klaas van Steenlandpolder en Poortvlietpolder t.p.v. het boezemgemaal
9b	Nieuw Strijen-, Poortvliet- en Mallandpolder	72	-100	JA	JA	270	id. 250 m verderop. polders geïnuundeerd tot NAP +1.0m.
9c	Priestermeerpolder	139	100		JA	3000	Polders heeft dras gestaan t.g.v. gestremde lozing.
9c	Bartelmeerpolder	117	100		JA	3000	Polders heeft dras gestaan t.g.v. gestremde lozing.
10	Zoutepolder	101	100		JA	3000	Polders heeft dras gestaan t.g.v. gestremde lozing.
11	Oud-Strijepolder	158	-100		JA	300	gehele polder is geïnuundeerd.
11	Vijftienhonderdgemetepolder	144	-50		JA	300	gedeelte van polder is geïnuundeerd, water uit Klaas van Steenlandpolder en Poortvlietpolder

Tabel A.3 Overzicht dijkdoorbraken Zuid Beveland (dijkring 31)

nr	Polder	B	H cm +NAP	S	B	T (min)	bijzonderheden
3	Polder Kruiningen	76	-400	JA		195	t.p.v. dijkpaal 32 is 80 meter verdwenen.
3	Polder Kruiningen	43	-300	JA		195	t.p.v. dijkpaal 33 is 40 meter verdwenen.
3	Kruiningen Veerhaven	56	-100	JA		195	Westelijke havendijk 50 meter weggeslagen.
3	Kruiningen Veerhaven	64	-850	JA		195	
3	Kruiningen Veerhaven	41	400	JA		90	Coupure Veerhaven nog niet gesloten. Water stroomde om 01:30 uur door opening polder in.
3	Kruiningen Veerhaven	100	-850	JA		195	Oostelijke havendijk gedeeltelijk weggeslagen.
3	Tussen Veerhaven/Kadijk	206	-1050	JA		200	t.p.v. dijkpaal 17 is 200 meter weggeslagen.
4a	Westveerpolder	61	-200			210	t.p.v. dijkpalen 33/35 is 60 meter weggeslagen.
4b	Oost Inkelsepolder /Waardepolder	198	200		JA	960	6 gaten in Kadijk, water uit (3), inundatie tot NAP+0.70 m.
4b	Oost Inkelsepolder /Waardepolder	283	200		JA	960	5 gaten in Kadijk en 2 gaten in Lavendeldijk, waardoor water uit (3), inundatie tot NAP+0.70 m.
5	Nieuwlandepolder	364	350		JA	250	gevolg van overslaand water uit Kruiningenpolder (ook 2e HW=NAP+3.50m.) inundatie tot NAP+0.70m.
6	Emmanuelpolder	91	-200			250	t.p.v. dijkpaal 3 is 90 meter weggeslagen. Water in de polder steeg die nacht tot NAP+4.40m.
8	Zimmermanpolder	421	315			250	tussen dijkpaal 39 en 44 is bovenkant van de dijk over ruim 300 meter tot 3.15m+NAP weggeslagen.
8	Zimmermanpolder	61	-400	JA		250	t.p.v. dijkpaal 8 is 60 meter weggeslagen.
9b	Reigersbergsepolder	184	-200	JA		260	t.p.v. dijkpaal 45 t/m 47 is 180 meter weggeslagen. Polder geïnundeerd tot 3.00m+NAP.
9a	Reigersbergsepolder	806	140		JA	260	Rijksweg deelt de polder in 2 stukken.
9c	Reigersbergsepolder	112	-200	JA		260	t.p.v. dijkpaal 18 en 19 is 120 meter weggeslagen.
10	Federicapolder						geen doorbraak, dras door gestremde lozing en overstort
11	Völkerpolder	120	100			270	Bres van 125 m, noordelijk deel
11	Völkerpolder	92	100			270	Bres van 90 m in zuidelijke hoek
12	Anna Mariapolder	136	160			280	3 bressen met een totale lengte van 140 m, tot maaiveldshoogte

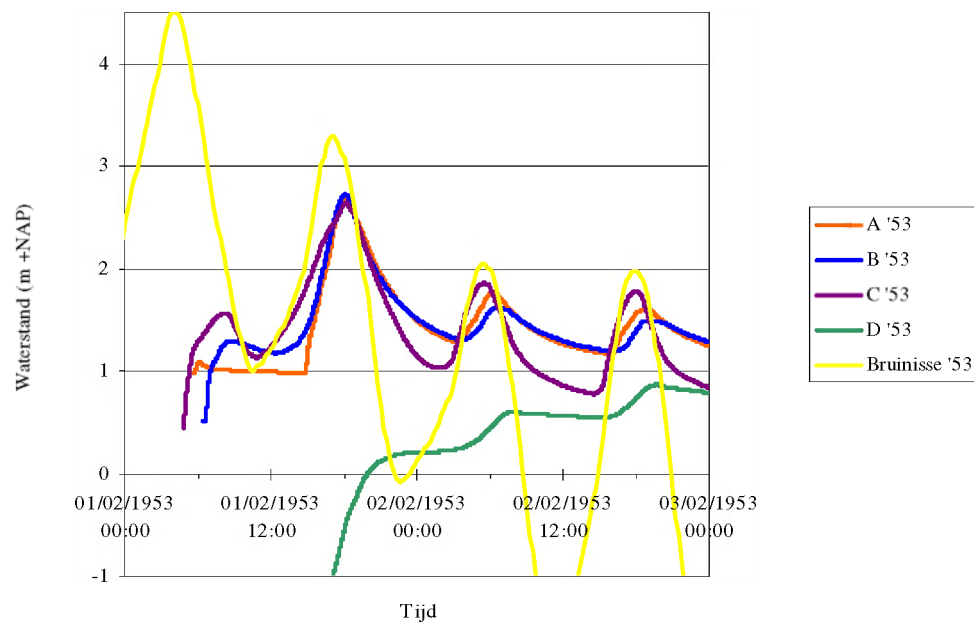
Tabel A.4 Overzicht dijkdoorbraken Zeeuws-Vlaanderen (dijkring 32)

nr:	Polder	B (m)	H cm +NAP	S	B	T (min)	bijzonderheden
1	Willem Leopoldpolder						door foute inschatting Belgen bij aanbreng van duiker in binnendijk (polder ligt grotendeels op Belgisch grondgebied)
2	Herdijkte Zwarte Polder	32.0	0			135	Noordelijke dijk 30 meter verdwenen
2	Herdijkte Zwarte Polder	40.3	0			135	Oostelijke dijk 35 meter verdwenen
3	Tienhonderdpolder	349.9	350		JA	165	Toen Herdijkte ZwartePolder vol was gelopen stroomde water in Tienhonderdpolder (alleen dras)
4	Elisabethpolder						geen bres. muurtje op dijk weggeslagen, geringe hoeveelheid water loopt polder in (alleen dras)
5a	Hoofdplaatpolder						geen doorbraak, alleen dras
5c+5b	Hoofdplaatpolder	85.6	150			165	t.p.v. dijkpaal 21 is 90 m verdwenen tot het maaiveld
5c+5b	Hoofdplaatpolder	70.7	-450	JA		165	t.p.v. dijkpaal 52 is 75 m verdwenen tot NAP -4.50m
6	Nieuw-Neuzenpolder	36.4	100			195	t.p.v. dijkpaal 43 is 40 m verdwenen tot NAP +1.00m
6	Nieuw-Neuzenpolder	100.1	-400	JA		195	t.p.v. dijkpaal 46 en 47 is 100 m verdwenen tot NAP -4.00m
6	Nieuw-Neuzenpolder	55.2	-50			195	t.p.v. dijkpaal 48 is 60 m verdwenen tot NAP -0.50m
7	Ser Lippenspolder	50.0	370			225	t.p.v. dijkpaal 5 is 50 m verdwenen tot NAP +3.70m. Water in polder tot 150cm+mv
8	Nieuw-Othenepolder	50.0	370			225	over 50 m verdwenen tot NAP +3.70m. Geinundeerd tot 150cm+mv
9a	Nijspolder	50.0	350			210	Dijk over 50 meter verdwenen tot NAP+3.50 m.
9a	Nijspolder	50.0	450			210	Dijk over 50 meter verdwenen tot NAP+4.50 m.
9b	s-Heer Arendspolder	31.6	-177	JA		210	bressen totale lengte 55 m. In zeer korte tijd vol gelopen.
9b	s-Heer Arendspolder	20.6	-198	JA		210	bressen totale lengte 55 m. In zeer korte tijd vol gelopen.
9b	s-Heer Arendspolder	102.6	315			210	Dijk over 85 meter verdwenen tot NAP+3.15 m.
9c	Hooglandpolder	364.0	420		JA	225	over kruin binnendijk 's-Heer Arendspolder/Hooglandpolder. geinundeerd tot NAP+1.50 m.
10	Rummersdijkpolder	300.0	420		JA	240	over kruin binnendijk Hooglandpolder/Rummersdijkpolder. geinundeerd tot NAP+1.50 m.
11	Molenpolder						geen bres, dras door water overslag
12	Kleine Molenpolder	50.3	70			240	dijk over 50 meter verdwenen
13	Kruispolder	30.0	350		JA	255	water uit (12) bres van 30 m. geinundeerd tot NAP+0.80 m.
14a	Melopolder	47.2	350		JA	285	veel water uit (12) bres van 40 meter.
14b	Melopolder						geen doorbraak, alleen dras

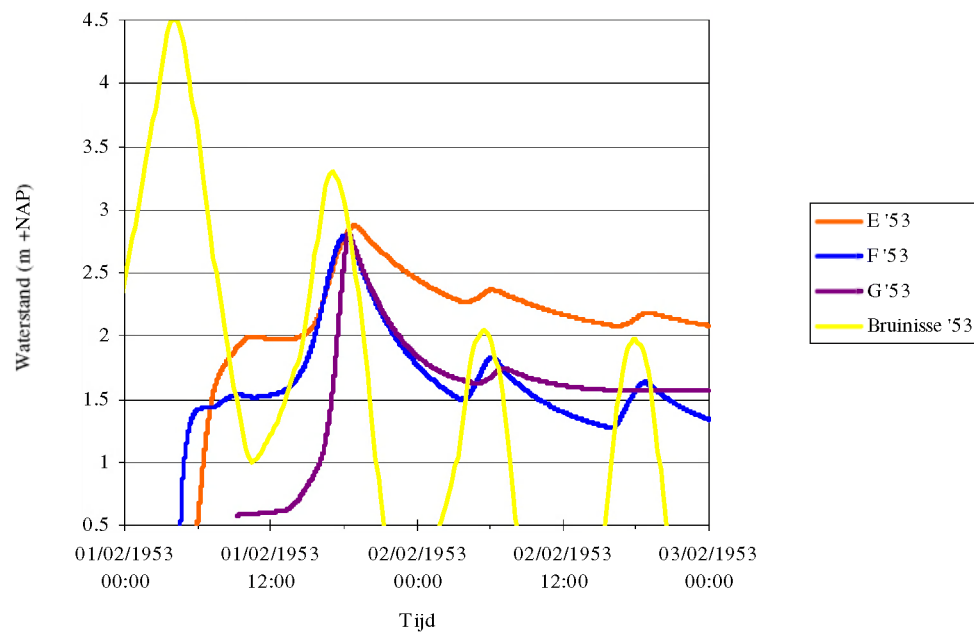
B Overzicht berekende waterstanden voor 1953 en 2003

Deze bijlage toont voor een aantal locaties binnen de bestudeerde dijkkringen het berekende waterstandsverloop in de tijd. De ligging van de locaties is te vinden in Hoofdstuk 5.

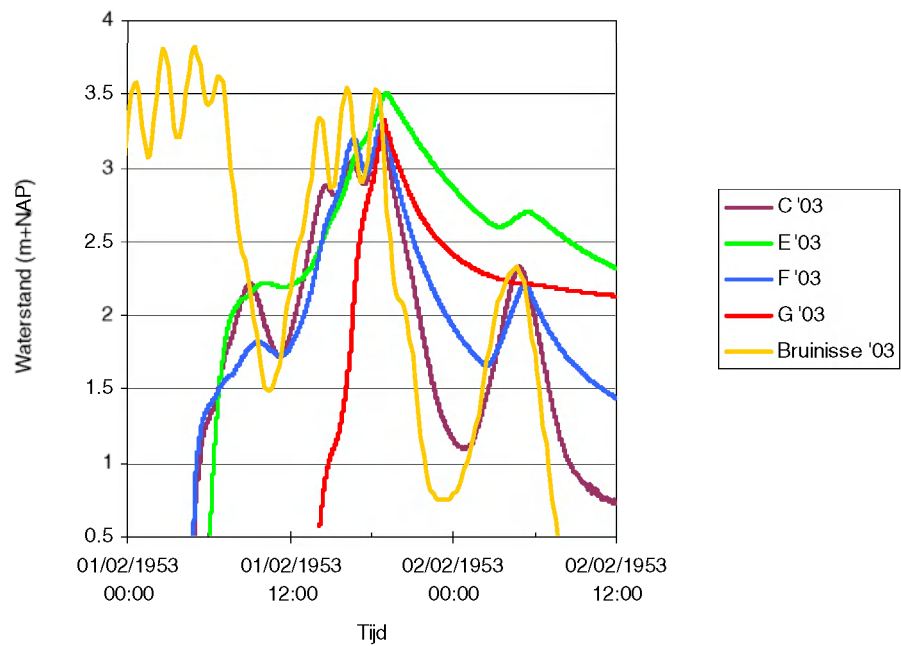
Tholen



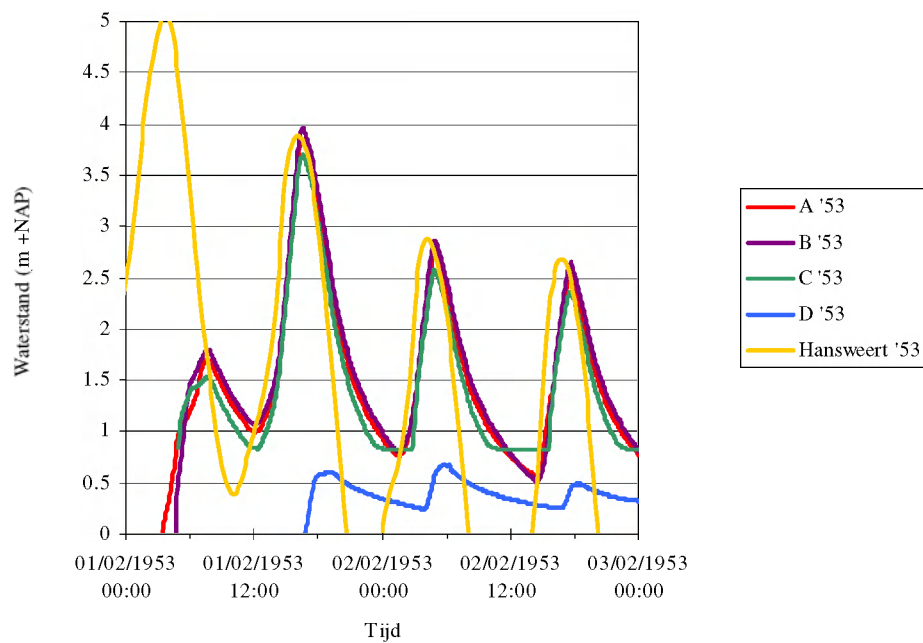
Figuur B.1 Verloop van de waterstand in de tijd voor locaties A t/m D in Tholen en de buitenwaterstand bij Bruinisse (1953).



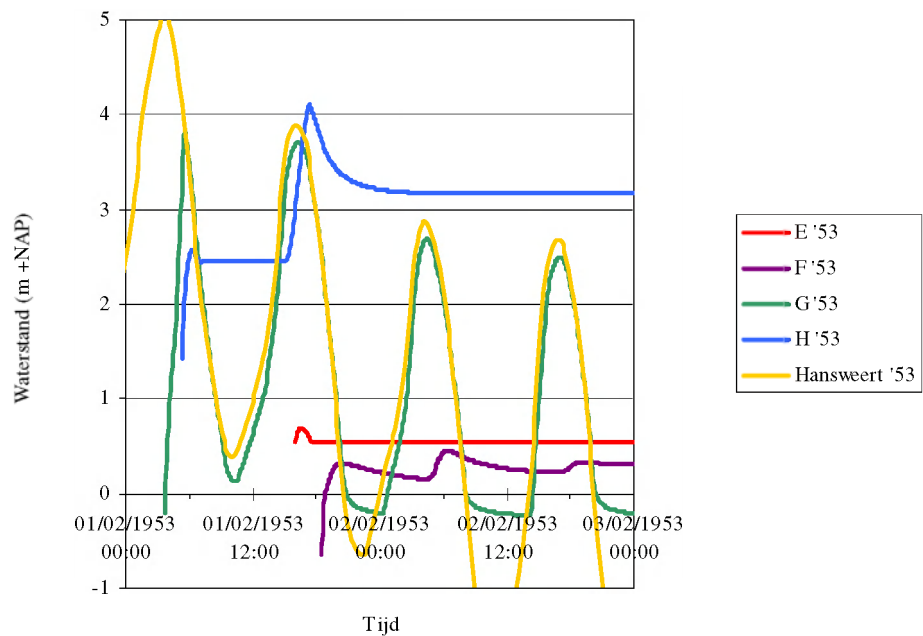
Figuur B.2 Verloop van de waterstand in de tijd voor locaties E t/m G in Tholen en de buitenwaterstand bij Bruinisse (1953).



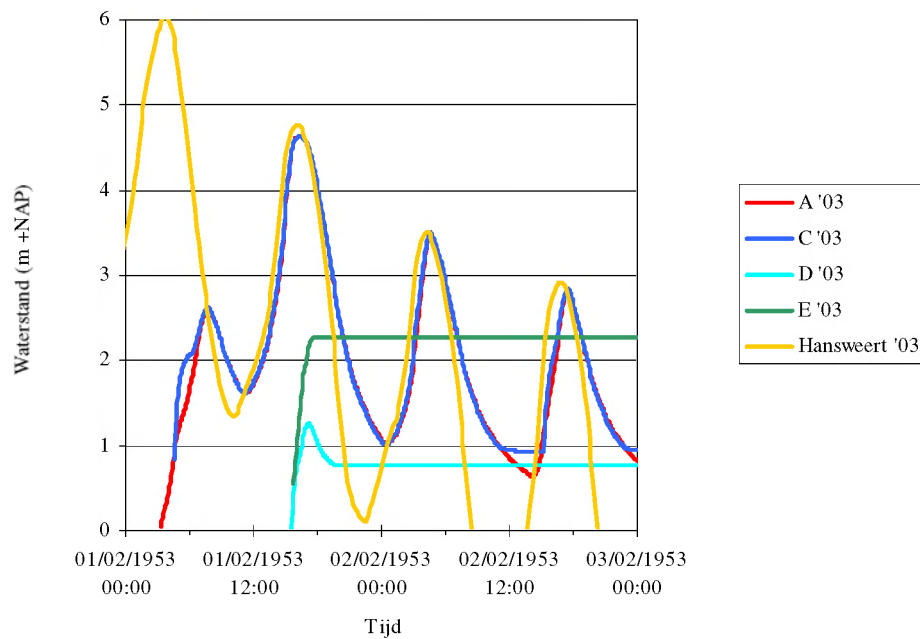
Figuur B.3 Verloop van de waterstand in de tijd voor locaties C, E, F, en G in Tholen en de buitenwaterstand bij Bruinisse (2003).



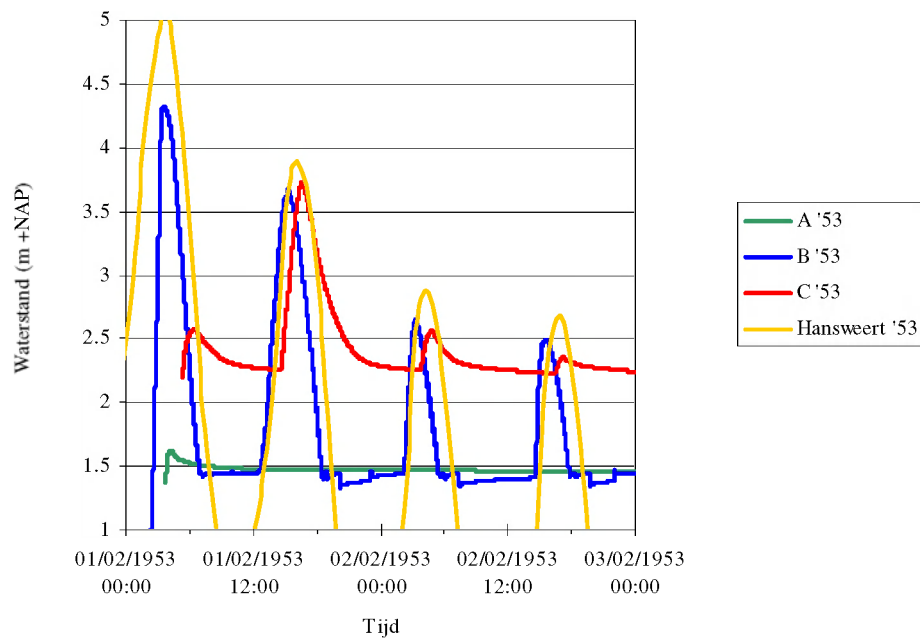
Figuur B.4 Verloop van de waterstand in de tijd voor locaties A t/m D in Zuid Beveland en de buitenwaterstand bij Hansweert (1953).



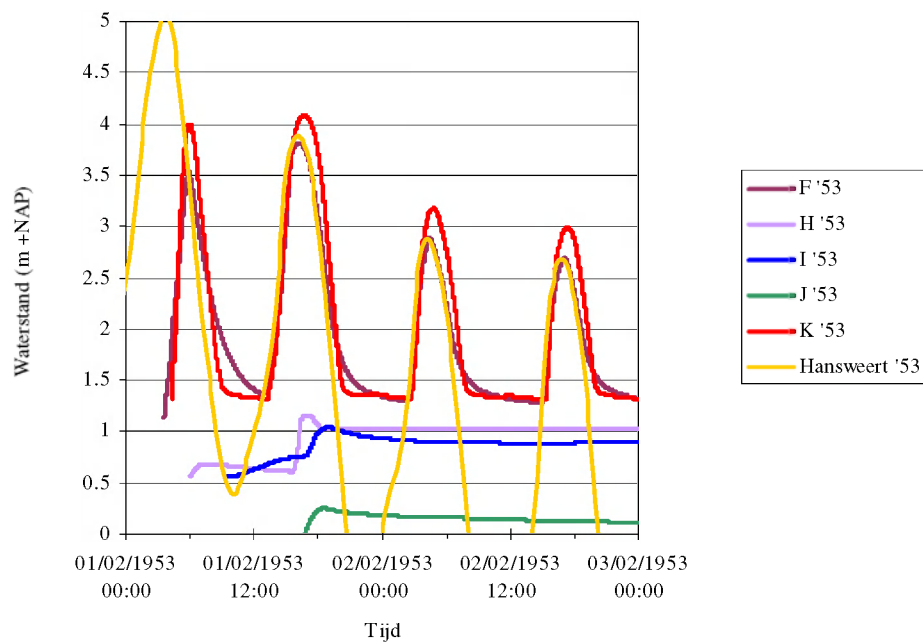
Figuur B.5 Verloop van de waterstand in de tijd voor locaties E t/m H in Zuid Beveland en de buitenwaterstand bij Hansweert (1953).



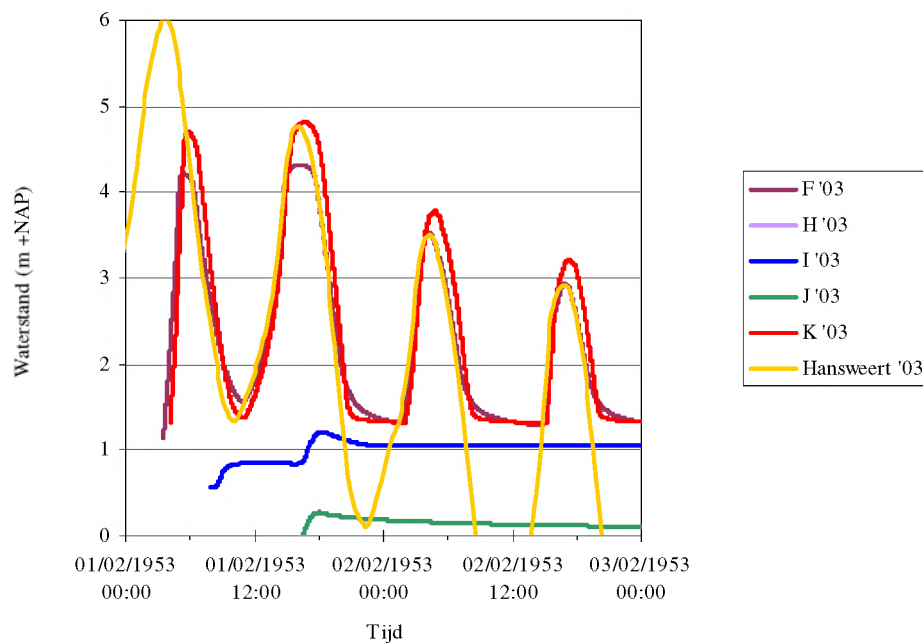
Figuur B.6 Verloop van de waterstand in de tijd voor locaties A, C, D, en E in Zuid Beveland en de buitenwaterstand bij Hansweert (2003).



Figuur B.7 Verloop van de waterstand in de tijd voor locaties A t/m C in Zeeuws-Vlaanderen en de buitenwaterstand bij Hansweert (1953).



Figuur B.8 Verloop van de waterstand in de tijd voor locaties F, H t/m K in Zeeuws-Vlaanderen en de buitenwaterstand bij Hansweert (1953).



Figuur B.9 Verloop van de waterstand in de tijd voor locaties F, H t/m K in Zeeuws-Vlaanderen en de buitenwaterstand bij Hansweert (2003).