

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, DWW

Hoogwaterstanden op de Eem

Een benadering

Verslag

september 2000

Ref. nr: 004947

Hoogwaterstanden op de Eem

Een benadering

F. den Heijer
N. Asselman

Verslag
september 2000



wl | delft hydraulics

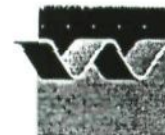
Inhoud

1	Inleiding en probleemstelling.....	1
2	Aanpak afleiden indicatieve hoogwaterstanden.....	3
3	Modellering van het gebied met SOBEK.....	5
4	Uitgangspunten en randvoorwaarden.....	7
4.1	Uitgangspunten	7
4.2	Randvoorwaarden	8
4.2.1	Waterstanden op het Eemmeer en windsnelheden	9
4.2.2	Neerslaggebeurtenissen	9
4.2.3	Samenvatting randvoorwaarden SOBEK berekeningen.....	11
5	Hoogwaterstanden op de Eem	12
5.1	Het systeem.....	12
5.2	Resultaten SOBEK berekeningen	13
5.3	Duur en intensiteit van de neerslaggebeurtenis	15
6	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	17

Literatuur

Figuren

Bijlage



OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

TITEL: Hoogwaterstanden op de Eem

SAMENVATTING:

In voorliggend rapport is verslag gedaan van een studie met als doel indicatieve waarden van de hoogwaterstanden in de Eem te bepalen. Hiervoor is een bestaand SOBEK model gebruikt, dat enigszins is aangepast om het geschikt te maken voor zware wind- en neerslaggebeurtenissen. Er is uitgegaan van dezelfde beheersregels voor gemalen en stuwen als in het bestaande model.

De indicatieve hoogwaterstanden zijn gebaseerd op het maximum van een tweetal belastingevallen: harde wind met lage neerslag en andersom. Deze methode komt ongeveer overeen met de 'IJsseldelta' methode.

Voor de meerpeilstatistiek 'midden' worden de hoogwaterstanden op de Eem voornamelijk bepaald door de door wind veroorzaakte waterstandsverhoging op het Eemmeer, en in mindere mate door windopzet op de Eem en de rivierafvoer. De waterstanden bij Amersfoort zijn ongeveer 0.3 m hoger dan bij de Eemmonding.

Voor de meerpeilstatistiek 'hoog' worden de hoogwaterstanden op de Eem ook deels bepaald door een combinatie van zware neerslag en hoog meerpeil, hoewel hoge windsnelheden ook in dat geval tot hoge waterstanden bij Amersfoort leiden.

In alle gevallen blijkt dat de bestaande (zomer)kaden langs de Eem zullen overlopen. De (buitendijks gelegen) polders in het Eemland zullen in dergelijke situaties dus tenminste voor een deel vollopen. Ook in het stroomgebied van de Eem zullen diverse gebieden overstromen.

REFERENTIES: Opdrachtbrief DWW AK/000468
Opdrachtbrief DWW AK/003243

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
1	F. den Heijer	10-4-2000		W. van Ellen	W.M.K. Tilmans
2	F. den Heijer	14-8-2000		W. van Ellen	W.M.K. Tilmans
3	F. den Heijer	15-9-2000		W. van Ellen	W.M.K. Tilmans
PROJECTNUMMER: H3658					
TREFWOORDEN: Veiligheid, MHW					
INHOUD:	TEKST	17	TABELLEN	FIGUREN	10 APPENDICES
STATUS: ☐ VOORLOPIG ☐ CONCEPT ☒ DEFINITIEF					

I Inleiding en probleemstelling

Naar aanleiding van de discussie rond de status van het Markermeer (al dan geen buitenwater) is er in de afgelopen jaren onderzoek verricht om de argumenten in beeld te brengen (Onafhankelijk onderzoek Markermeer, (WL, 1998)) en om inzicht in de gevolgen van een besluit te kunnen geven. De werkzaamheden worden begeleid door de Stuurgroep Markermeer en de Begeleidingsgroep Markermeer.

In de Markermeerstudies is tot nog toe de eenvoudige aanname gedaan dat de maatgevende waterstanden in de Eemvallei (als deze overstroomt) en langs de Eem ten noorden van de A1 gelijk zijn aan de waterstand op het Eemmeer nabij de monding van de Eem. In werkelijkheid zal dit niet zo zijn en dienen, wanneer het Markermeer buitenwater wordt, MHW's te worden afgegeven. In de studies tot nu toe is niet gekeken naar het gebied ten zuiden van de A1.

In de Begeleidingsgroep Markermeer is afgesproken een goede schatting van deze MHW's te maken, zo mogelijk met dezelfde betrouwbaarheid als het beschikbare materiaal voor het Markermeer.

Wat betreft de problematiek is er in principe analogie met elke andere benedenloop van rivieren. In dergelijke situaties spelen hoge afvoeren, een hoog meerpeil, al dan niet samenvallend met zware stormen een (minder of meer onafhankelijke) rol bij het vaststellen van de MHW's.

Onduidelijk is of de Eem zelf ook als een bedreiging moet worden gezien (waarbij dan ook naar zeer extreme afvoeren moet worden gekeken) als het Markermeer buitenwater wordt. De Eem zelf is dat nu niet, maar wordt wel begrensd door primaire waterkeringen.

Met brieven AK/00468 van 2 februari 2000 en AK/003243 van 11 juli 2000 is door Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde opdracht gegeven aan WL|delft hydraulics voor het uitvoeren van een studie met als doel het bepalen van een eerste indicatie van MHW's langs de Eem. De studie is in de periode van februari tot augustus 2000 uitgevoerd en in voorliggend verslag zijn de resultaten gerapporteerd.

Het stroomgebied van de Eem

De Eem maakt deel uit van het afwateringssysteem van de Gelderse Vallei, gelegen tussen de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe. Naast de Eem is het Valleikanaal de belangrijkste waterloop in dit gebied. In Amersfoort gaat het Valleikanaal over in de Eem. In het zuiden wordt het stroomgebied van de Eem en het Valleikanaal begrensd door de Nederrijn. In het noorden mondt de Eem uit in het Eemmeer. Het totale oppervlakte van het gebied dat afwatert op de Eem bedraagt ongeveer 78.000 ha. Het landgebruik bestaat voornamelijk uit landbouw, bos, natuur en stedelijk gebied. De belangrijkste beken in het stroomgebied zijn de Barneveldse beek, de Lunterse beek en de Heiligenbergerbeek. Zij vinden hun oorsprong

in de hogere zandigere delen van het stroomgebied aan de voet van de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug. Zij wateren onder vrij verval af op het lager gelegen Valleikanaal, dat bij Amersfoort overgaat in de Eem. Het Eemland, het buitendijkse poldergebied langs de Eem ten noorden van Amersfoort, ligt te laag om onder vrij verval af te wateren. Het is omgeven door dijken en de afwatering wordt geregeld met behulp van gemalen.

In het verleden zijn veelvuldig overstromingen opgetreden in de laaggelegen gebieden langs de Eem. De Eem is altijd een open rivier geweest, zodat het water van de toenmalige Zuiderzee ongehinderd kon binnendringen. Ter bescherming van het aangrenzende gebied werden dijken langs de Eem gelegd. Aangezien deze dijken, en met name de kades aan de westkant van de Eem, een geringe hoogte hebben werden ze meerdere malen overspoeld. Ook doorbraken kwamen veelvuldig voor. De gebieden welke tijdens verschillende stormvloedën onder zijn gelopen zijn weergegeven in Figuur 1. Het opgestuwde water van de Zuiderzee reikte meermalen tot Amersfoort. Na de afsluiting van de Zuiderzee in 1932 zijn geen overstromingen meer voorgekomen.

2 Aanpak afleiden indicatieve hoogwaterstanden

Voor het afleiden van maatgevende hoogwaterstanden in het Eemgebied spelen een aantal natuurlijke variabelen een rol:

- Het meerpeil
- De windsnelheid en -richting, die de opwaaiing ter plaatse van de Eemmonding veroorzaakt
- De afvoer van de Eem

De grootte van de verschillende variabelen in een zekere situatie bepalen grotendeels de lokale waterstanden op de Eem en in het Eemland. Het doel is om een indicatieve set waterstanden af te geven met een kans op overschrijden gelijk aan de norm (momenteel 1/1250 per jaar).

De 'Ijsseldelta' methode

Voor het genereren van een eerste indicatie is de methode toegepast die tot op heden ook in de Ijsseldelta wordt toegepast. Hierbij worden verhanglijnen geconstrueerd voor diverse combinaties van de natuurlijke variabelen. Deze combinaties zijn opgebouwd uit een extreme waarde voor een van de variabelen (met een overschrijdingskans gelijk aan de norm) en lagere waarden voor de andere.

Wanneer een combinatie van een extreme rivierafvoer (voor de Ijsseldelta geldt een norm van 1/2000 per jaar) wordt gekozen tezamen met een relatief laag meerpeil en een lage windsnelheid, zal dit aan de rivierzijde van de delta een verhanglijn opleveren die ongeveer overeenkomt met MHW.

Wanneer een extreme noord-westelijke windsnelheid wordt gekozen in combinatie met een hoge Ketelmeerwaterstand en relatief lage Ijsselafvoer levert dit een verhanglijn die bij de monding ongeveer overeenkomt met MHW.

Een andere mogelijkheid is nog een extreem meerpeil in combinatie met een lage afvoer en een lage windsnelheid. In de Ijsseldelta is deze echter nergens 'maatgevend'.

Beide eerstgenoemde verhanglijnen snijden elkaar in een gebied waar het meer-bepaalde regime overgaat in het rivier regime: het overgangsgebied. De combinatie van beide verhanglijnen vergt nog een min of meer 'handmatige' aanpassing omdat het snijpunt van beide verhanglijnen te laag ligt. In de methode voor de Ijsseldelta wordt ervan uitgegaan dat de waterstand in het snijpunt van beide verhanglijnen een tweemaal zo grote kans van optreden heeft als de norm (voor de Ijsseldelta dus 1/1000 per jaar). Tezamen met de decimeringshoogte kan dan worden vastgesteld welke waterstand bij de norm behoort.

Toepassing in het Eemgebied

Toepassing van deze methode in het Eemgebied is complexer. Het 'beginpunt' van de Eem (Amersfoort) blijkt midden in het overgangsgebied te liggen. Er is dus nergens een punt op de Eem aan te wijzen waar de verhanglijn niet beïnvloed wordt door hoge waterstanden in het Eemmeer.

De beschikbare waterstands- en afvoermetingen zijn midden in dit overgangsgebied uitgevoerd. Indien afvoermetingen van meer bovenstrooms gelegen meetlocaties worden gebruikt, leidt dit tot een grote onderschatting van de afvoer op de Eem omdat twee grote zijbeken (de Barneveldse beek en de Heiligenbergerbeek) die samen ongeveer 50% van de afvoer van de Eem bepalen in het overgangsgebied in het Valleikanaal uitmonden. Een betrouwbare schatting van extreme afvoeren op basis van gemeten afvoeren is hierdoor niet mogelijk.

In 1999 is door WL een afvoermodel gebouwd in SOBEK dat het functioneren van het waterhuishoudkundig systeem van het gehele stroomgebied van de Eem simuleert. Dit model is vervaardigd om een drietal doelstellingen te realiseren, te weten:

1. het beschrijven van het huidig functioneren van het watersysteem tijdens perioden van hoge afvoeren,
2. het identificeren van knelpunten en mogelijke maatregelen welke als oplossing kunnen dienen voor de knelpunten,
3. het analyseren van de effectiviteit van mogelijke maatregelen.

Dit model biedt de mogelijkheid om een eerste indruk te krijgen van waterstanden op de Eem onder extreme hydrologische condities.

Er is voor gekozen met dit model voor het Eemgebied een tweetal verhanglijnen te construeren (in plaats van drie zoals in de IJsseldelta).

- Een combinatie van extreme neerslag *en* een extreem meerpeil (deze zullen namelijk veelal samen voorkomen) en een lage windsnelheid,
- Een combinatie van een extreme windsnelheid en een laag meerpeil en een lage neerslag.

De verhanglijnen voor de hier beoogde extreme omstandigheden zijn met het beschikbare SOBEK-model niet direct af te leiden omdat dit is gebouwd voor wateroverlastsituaties. De mogelijkheid van het overstromen van kades is niet aanwezig. Reeds bij enige interne opwaaiing op het noordelijk deel van de Eem zal de zomerdijk tussen de Eem en de Eemvallei overstromen. In het stroomgebied van de Eem zullen ook diverse kaden kunnen overstromen langs diverse kanalen. Er zijn daarom enkele aanpassingen aan het bestaande SOBEK model gemaakt waardoor de verhanglijnen beter worden geconstrueerd.

Met behulp van de voor de IJsseldelta beschreven methode kunnen deze verhanglijnen vervolgens worden samengesteld tot een enkele lijn, welke een *indicatie* vormt voor hoogwaterstanden met een overschrijdingskans gelijk aan de norm.

3 Modellering van het gebied met SOBEK

Het bestaande SOBEK-model

Omdat zich de laatste jaren met enige regelmaat situaties met wateroverlast hebben voorgedaan in het stroomgebied van het Valleikanaal en de Eem heeft het waterschap Vallei & Eem aan WL|delft Hydraulics (WL) opdracht gegeven onderzoek te doen naar het huidige functioneren van het waterhuishoudkundig systeem en naar maatregelen die getroffen kunnen worden om overlast te voorkomen of te verminderen. Voor dit doel is door WL een model ontwikkeld. In figuur 2a is het stroomgebied van de Eem weergegeven.

Het gebied is op zodanige wijze in model gebracht (geschematiseerd) dat hoge afvoeren goed gesimuleerd kunnen worden en de effecten van maatregelen om de wateroverlast te beperken bepaald kunnen worden. De processen die bij hogere afvoeren een ondergeschikte rol spelen, zoals grondwaterstroming, kwel, en verdamping zijn op een relatief eenvoudige wijze meegenomen. Het model is gemaakt met behulp van het software pakket SOBEK, voor het model zijn de modules SOBEK RR (Rainfall-Runoff) en SOBEK CF (Channel Flow) toegepast. Met behulp van de module RR worden de processen beschreven die er toe leiden dat het water dat als neerslag valt, in de waterlopen terecht komt. In de module CF wordt vervolgens het transport van water door de grotere waterlopen gesimuleerd.

In het model zijn 35 automatische stuwen, 117 gewone stuwen en 6 gemalen weergegeven. Het hydrologisch deelmodel is opgebouwd uit 21 knopen voor het openwater, 122 knopen voor het landelijk gebied en 28 knopen voor het stedelijk gebied. Om het model voor een breed aantal doeleinden inzetbaar te houden is de schematisering zodanig van opzet dat een nadere detaillering mogelijk is. Dit kan noodzakelijk zijn indien voor deelgebieden gedetailleerde berekeningen nodig zijn.

Aanpassingen SOBEK-model in het kader van de onderhavige studie

Voor de onderhavige studie is gebruik gemaakt van het model zoals ontwikkeld door WL voor het waterschap Vallei & Eem. Wel zijn enkele wijzigingen in de schematisatie aangebracht. Deze wijzigingen bestaan uit:

- Uitbreiding van het aantal bergingspunten langs het Valleikanaal en bij de monding van de Modderbeek en de Barneveldse beek. Deze laaggelegen gebieden kennen onder de huidige omstandigheden regelmatig wateroverlast. Aangenomen wordt dat deze overlast onder extreme condities sterk toe zal nemen waardoor het aanbrengen van bergingspunten (overstromingsvlakten) noodzakelijk is om de afvoer benedenstrooms goed te kunnen beschrijven.
- Schematisering van mogelijke overstromingen van kades en dijken langs de Eem. Omdat de kades, met name aan de westkant van de Eem, een geringe hoogte hebben moet er een mogelijkheid worden gemaakt dat deze kunnen 'overstromen'. Het onderlopen van een polder heeft immers effect op de waterstand in de Eem. Per

dijktraject is de waterstand waarbij overstroming op gaat treden gelijk gesteld aan de hoogte welke over een kwart van het traject wordt onderschreden (zie ook onder paragraaf 4.1 'uitgangspunten'). Deze hoogte is veelal lager dan de hoogte opgegeven in de legger (Tabel 1, de nummers behorend bij de verschillende dijktrajecten zijn terug te vinden op de kaart in figuur 3). De met (P) gemerkte dijktrajecten betreffen primaire keringen. De overige dijken doen dienst als (zomer)kade.

Een overzicht van het SOBEK-model is weergegeven in figuur 2b.

Tabel 1 Hoogten van dijken en kades langs de Eem

Dijk	nr.	Totale lengte (m)	Hoogte (m+NAP)	
			Legger	Gemeten (25%)
<i>Westkant Eem</i>				
Zomerdijk	5	3289	1.4	1.12
Waterkering langs de Eem	11	1716	1.4	1.37
Wakkerendijk (P)	3	3500	1.9	1.99
Wakkerendijk (P)	3	2750	1.9	1.99
Eemnesservaart*	-	3000	-	0.2
Zomerdijk	5	3432	1.4	1.17
Waterkering langs de Eem	7	1287	1.4	1.1
Waterkering langs de Eem	7	2145	1.4	1.28
Waterkering langs de Eem	7	2388	1.4	1.28
<i>Oostkant Eem</i>				
Bunschoter Veen- en veldendijk (P)	23	8500	2.25	2
Eemlandsche dijk (P)	20	1250	1.9	1.85
Zuidereind (P)	19	1716	1.9	2.09
Slaagsche dijk (P)	18	2288	1.9	1.77
Grebbeiniedijk (P)	17	3718	1.9	1.96

* ontbreekt in legger

4 Uitgangspunten en randvoorwaarden

4.1 Uitgangspunten

Bovengrensbepaling

Er wordt van uitgegaan dat het in dit stadium van onderzoek naar de MHW's langs de Eem verstandig is de uitgangspunten voor de indicatieve SOBEK-berekeningen enigszins aan de veilige kant te kiezen.

Beginvoorwaarde

Een belangrijk uitgangspunt is de situatie in het systeem aan het begin van de neerslagperiode die een eventuele waterstand gelijk aan MHW op de Eem zou kunnen veroorzaken. Het is niet realistisch dat het systeem 'leeg' is, en het is evenzeer niet realistisch dat het systeem 'vol' is. Daarom is gekozen voor een inspeeltijd van 10 dagen voorafgaand aan een dergelijke periode. Feitelijk wordt deze inspeeltijd dus gebruikt om de initiële (grond)waterstanden voorafgaand aan de extreme gebeurtenis realistisch weer te geven. Voor de inspeeltijd is gebruik gemaakt van uurneerslagen zoals gemeten in februari 1999. Aangenomen wordt dat deze relatief natte periode resulteert in realistische waterstanden voor een winterperiode.

Rekentijdstap

Evenals bij de voorafgaande studie is gerekend met een tijdstap van 5 minuten.

Antecedente condities

De berekende waterstanden geven een indicatie van de optredende waterstanden bij een bui met een extreem lange herhalingstijd. De herhalingstijd is gebaseerd op de neerslagstatistieken en niet op de statistieken van de waterstand omdat deze mede afhankelijk zijn van de antecedente condities in het stroomgebied. Met andere woorden: indien een extreme bui valt na een droge periode zal dit tot minder hoge waterstanden leiden dan wanneer dezelfde bui valt na een natte periode. Verondersteld wordt dat antecedente condities minder belangrijk zijn naarmate de omvang en de duur van de bui extremer zijn, zodat een bui met een frequentie van voorkomen van 1 x per 1250 jaar een redelijke indicatie geeft van de waterstanden met een vergelijkbare overschrijdingskans in het stroomgebied rondom en bovenstrooms van Amersfoort. Benedenstrooms neemt het effect van de waterstand op de randmeren toe waardoor bepaling van de overschrijdingskansen hier steeds meer van afhankelijk is.

Kaden

De kaden langs de waterlopen zijn geschematiseerd als lange stuwen, die bij voldoende hoge waterstanden overlopen. Er is van uitgegaan dat de kaden niet breken. Er is een verschil tussen de huidige hoogte en de in de legger aangegeven hoogte. Hier is in overleg met Waterschap Vallei & Eem uitgegaan van de huidige hoogte, omdat niet zeker is dat de kaden op de leggerhoogte aangepast gaan worden, of dat de leggerhoogte wordt aangepast. Onderhavige studie zou wellicht richting kunnen geven aan deze afweging. De huidige kadehoogten variëren uiteraard van plaats tot plaats. Om het aantal stuwen beperkt te houden zijn de kadehoogten over afstanden van enkele kilometers samengenomen. De hoogte van de stuwen is gelijkgesteld aan die hoogte die over 25% van de lengte wordt onderschreden. De gemiddelde hoogte werd niet correct gevonden omdat in de werkelijkheid al in een eerder stadium water over het betreffende deel van de kade zou lopen. Het laagste punt werd niet correct gevonden omdat dan bij relatief lage waterstanden in het model al over de hele stuwlengthe water zou overlopen. Dit zou te lage MHW's opleveren.

Ligging stormperiode ten opzichte van de neerslagperiode

Er is van uitgegaan dat de stormperiode (orde 1 dag) aan het einde van neerslagperiode ligt (enkele dagen). Het stroomgebied is dan relatief vol, zodat dan waarschijnlijk de hoogste waterstanden langs de Eem zullen worden bereikt. Dit is aan de conservatieve kant.

4.2 Randvoorwaarden

Bij de berekeningen van het maatgevend hoogwater op de Eem spelen een drietal randvoorwaarden een rol:

- de waterstand op het Eemmeer
- windsnelheden boven het gebied
- neerslag in stroomgebied

Wanneer deze drie randvoorwaarden zijn vastgelegd kan een verhanglijn worden berekend met het SOBEK-model. Zoals in hoofdstuk 2 (Aanpak) reeds is genoemd worden er voor een tweetal meerpeilstatistieken twee verhanglijnen berekend. In totaal betreft het dus vier combinaties van bovenstaande randvoorwaarden. Er is voor gekozen randvoorwaarden te baseren op het onderstaande schema met overschrijdingskansen. Hierin zijn de neerslaggebeurtenis en het meerpeil op het Markermeer volledig gecorreleerd verondersteld.

Tabel 2 Overschrijdingskansen van de belastingcomponenten voor het samenstellen van de belastinggevallen

Case naam	Neerslaggebeurtenis	Windsnelheid	Meerpeil (m+NAP))
M_midden	1/1250	1/1	1/1250
M_hoog	1/1250	1/1	1/1250
M4000_midden	1/4000	1/1	1/4000
M4000_hoog	1/4000	1/1	1/4000
W_midden	1/1	1/1250	1/1
W_hoog	1/1	1/1250	1/1
W4000_midden	1/1	1/4000	1/1
W4000_hoog	1/1	1/4000	1/1

4.2.1 Waterstanden op het Eemmeer en windsnelheden

Voor het belastinggeval M (met hoog meerpeil en hoge neerslag) is de waterstand aan de Eemmonding geschat door met behulp van de windsnelheid uit het noordwesten die gemiddeld eenmaal per jaar wordt overschreden (15 m/s) de opzet af te schatten met de resultaten van de studie Onafhankelijk Onderzoek Markermeer (WL | delft hydraulics, 1998). Deze is ca. 0.15 m.

Geval M			
statistiek	1/1250 meerpeilniveau	windcondities	bijbehorende waterstand Eemmonding
midden	0.45 m+NAP	15 m/s, 300°	0.60 m+NAP
hoog	1.00 m+NAP	15 m/s, 300°	1.15 m+NAP
4000_midden	0.57 m+NAP	15 m/s, 300°	0.72 m+NAP
4000_hoog	1.17 m+NAP	15 m/s, 300°	1.32 m+NAP

Voor het belastinggeval W zijn de waarden gebruikt van het ontwerp punt van HYDRA_M berekeningen voor de waterstand aan de monding van de Eem.

Geval W			
statistiek	'MHW' Eemmonding	bijbehorende windsnelheid en -richting	
midden	1.20m+NAP	32 m/s	300°
hoog	1.29m+NAP	32 m/s	300°
4000_midden	1.40m+NAP	34 m/s	300°
4000_hoog	1.49m+NAP	34 m/s	300°

4.2.2 Neerslaggebeurtenissen

Een indicatie van de frequentie van voorkomen van de verschillende buien is verkregen met behulp van de regenduurlijnen gepubliceerd door Bouwknecht en Gelok (1988). Omdat hoge waterstanden met name in de wintermaanden voorkomen is uitgegaan van herhalingstijden voor wintersituaties. De relatie tussen de duur van de bui en de totale hoeveelheid neerslag voor buien met een verschillende frequentie van voorkomen is weergegeven in figuur 4a.

De neerslag behorend bij een bui met een herhalingstijd van 1250 jaar is niet uit Figuur 4a af te lezen. Echter, wanneer de neerslagdata vermeld in Bouwknecht en Gelok (1988)

worden weergegeven als functie van de herhalingstijd en van de duur van de bui kan een indicatie worden verkregen van de hoeveelheid neerslag behorend bij een bui met een afwijkende herhalingstijd. Figuur 4b toont het verband tussen de totale neerslag en de herhalingstijd van de bui voor buien met een verschillende duur. De onderste lijn geeft de relatie tussen neerslag en herhalingstijd voor buien van 1 uur. De bovenste lijn geeft de zelfde relatie voor buien met een duur van 240 uur. Hiermee liggen neerslaggebeurtenissen voor diverse herhalingstijden vast.

Uit het bovenstaande is duidelijk dat er een keuze moet worden gemaakt tussen neerslaggebeurtenissen met een korte duur en hoge intensiteit, en die met langere duur en minder hoge intensiteit. Volgens bovengenoemde gegevens hebben beide eenzelfde herhalingstijd. Omdat wateroverlast op het Valleikanaal en de Eem veelal het gevolg zijn van langdurige neerslagperioden in plaats van korte hevige buien wordt de voorkeur gegeven aan toepassing van buien met een relatief lange duur. In deze studie is een duur van 4 dagen gehanteerd. Gedurende deze periode is de neerslag constant verondersteld. Daarnaast worden nog een relatief korte en een relatief lange bui gebruikt om de gevoeligheid van deze keuze voor de resultaten te kunnen afschatten. De gevoeligheden worden overigens alleen voor de 'hoge' meerpeilstatistiek nagetrokken.

Zoals in hoofdstuk 2 (Aanpak) reeds is aangegeven worden de neerslaggebeurtenissen gecombineerd met verschillende waterstanden op de Eem. Bij het vaststellen van de indicatieve MHW's op de Eem is gebruik gemaakt van een neerslaggebeurtenis met een herhalingstijd van 1 jaar en van 1250 jaar. Uit Figuur 4b blijkt dat tijdens een bui met een frequentie van voorkomen van 1 x per jaar en een duur van 4 dagen (96 uur) ongeveer 40 mm neerslag valt. Indien wordt aangenomen dat de neerslag constant is betekent dit een gemiddelde neerslag van 0.42 mm/uur. Een bui met een duur van 4 dagen en een herhalingstijd van 1250 jaar levert een totale hoeveelheid neerslag op van 129 mm. Uitgaande van een constante bui geeft dit een gemiddelde neerslag van 1.35 mm/uur. Alle gegevens van de gebruikte neerslaggebeurtenissen zijn weergegeven in Tabel 3, waarbij P de neerslag is.

Tabel 3 Geselecteerde neerslaggebeurtenissen

Neerslag-gebeurtenis	Duur (uur)	P-totaal (mm)	P (mm/uur)
1/1	24	22	0.90
	96	40	0.42
	240	60	0.25
1/1250	24	65	2.72
	96	129	1.35
	240	179	0.75
1/4000	96	144	1.49

4.2.3 Samenvatting randvoorwaarden SOBEK berekeningen

Tabel 4 Samenvatting randvoorwaarden SOBEK berekeningen

Case naam	Neerslaggebeurtenis	Windsnelheid en richting	Waterstand Eemmeer inclusief windopzet (m+NAP))
M_midden	1/1250 (129 mm in 96 uur)	15 m/s, 300°	0.60
M_hoog	1/1250 (129 mm in 96 uur)	15 m/s, 300°	1.15
M4000_midden	1/4000 (144 mm in 96 uur)	15 m/s, 300°	0.72
M4000_hoog	1/4000 (144 mm in 96 uur)	15 m/s, 300°	1.32
W_midden	1/1 (40 mm in 96 uur)	32 m/s, 300°	1.20
W_hoog	1/1 (40 mm in 96 uur)	32 m/s, 300°	1.29
W4000_midden	1/1 (40 mm in 96 uur)	34 m/s, 300°	1.40
W4000_hoog	1/1 (40 mm in 96 uur)	34 m/s, 300°	1.49

Tabel 5 Samenvatting randvoorwaarden gevoeligheidsonderzoek

Case naam	Neerslaggebeurtenis	Windsnelheid en richting	Waterstand Eemmeer inclusief windopzet (m+NAP))
M_hoog 24	1/1250 (65 mm in 24 uur)	15 m/s, 300°	1.15
M_hoog 240	1/1250 (179 mm in 240 uur)	15 m/s, 300°	1.15
W_hoog 24	1/1 (22 mm in 24 uur)	32 m/s, 300°	1.29
W_hoog 240	1/1 (60 mm in 240 uur)	32 m/s, 300°	1.29

5 Hoogwaterstanden op de Eem

5.1 Het systeem

Stuw Balladelaan ligt bij de overgang van het Valleikanaal naar de Eem, te Amersfoort, en is in de onderhavige studie een markant punt. Figuur 5a toont het berekende verloop van de waterstand en de afvoer bij stuw Balladelaan voor de situatie M-midden, welke gekenmerkt wordt door een bui met een herhalingsdij van 1250 jaar, en een maximale waterstand op het Eemmeer van 0.6 m +NAP. Het verloop van de waterstand op het Eemmeer en de neerslag zijn eveneens in de figuur weergegeven.

Er is een deel van de inspeelperiode weergegeven, voorafgaande aan de neerslaggebeurtenis. Duidelijk is te zien dat wanneer het niet meer regent de waterstanden en afvoeren over de stuw direct afnemen. Het gebied stroomt in feite leeg. De waterstand en de afvoer nemen vrijwel direct na aanvang van de bui sterk toe. Wanneer de waterstand op het Eemmeer stijgt neemt de snelheid waarmee het peil te Amersfoort stijgt sterk toe. De opstuwende werking van de hoge waterstand op het Eemmeer belemmert echter de afvoer. De maximale waarde voor de afvoer bij Amersfoort wordt daardoor pas bereikt op het moment dat de waterstand op het Eemmeer reeds is gezakt. De plotselinge toename van de afvoer op 15 januari in figuur 5a hangt samen met de timing van de afvoergolf uit 2 zijbeken net bovenstrooms van Amersfoort, te weten de Modderbeek en de Moorsterbeek. Uit Figuur 5a kan dus worden geconcludeerd dat de waterstand op het Eemmeer van grote invloed is op de waterstand en de afvoer bij Amersfoort.

Figuur 5b toont het berekende verloop van de waterstand en de afvoer bij stuw Balladelaan voor de situatie W-midden, welke gekenmerkt wordt door een bui met een herhalingsdij van 1 jaar, en een maximale waterstand op het Eemmeer van 1.2 m +NAP veroorzaakt door een wind met een snelheid van 32 m/s komend uit noordwestelijke richting. Het verloop van de waterstand op het Eemmeer en de neerslag zijn eveneens weergegeven. De waterstand en de afvoer beginnen toe te nemen direct na aanvang van de bui. Echter, omdat de omvang van de bui gering is, is de stijging in waterstand geringer dan in het geval van M-midden. Wanneer de waterstand op het Eemmeer begint te stijgen neemt de snelheid waarmee het peil te Amersfoort stijgt zeer sterk toe. Evenals bij situatie M-midden (met een extreme bui) belemmert de hoge waterstand op het Eemmeer de afvoer. Omdat de waterstand op het Eemmeer hoger is dan in geval M-midden en de afvoer veel lager is, is de opstuwende werking zo groot dat een negatieve afvoer optreedt. Ofwel, het water stroomt vanuit de Eem naar het Valleikanaal. Dit is ook bovenstrooms van Amersfoort merkbaar in de monding van o.a. de Barneveldse beek en bij stuw Asschat. Wanneer de waterstand op het Eemmeer daalt neemt de afvoer weer toe. Uit Figuur 5a werd reeds geconcludeerd dat de waterstand op het Eemmeer van grote invloed is op de waterstand en de afvoer bij Amersfoort. Figuur 5b toont aan dat dit effect bij lage afvoeren en een zeer hoge waterstand zelfs kan leiden tot een omkering van de stroomrichting.

Figuur 6 toont het lengteprofiel van de waterstanden langs het gehele Valleikanaal en de Eem zoals deze berekend zijn op het tijdstip dat de waterstand bij stuw Balladelaan haar maximale waarde bereikt. Dit is gedaan voor de situatie M_midden en M_hoog. Omdat de neerslag in het stroomgebied in beide gevallen gelijk is, is het verloop van de waterstand langs het Valleikanaal ook grotendeels gelijk. Bij stuw Balladelaan is de opstuwende werking van de hoge waterstanden op het Eemmeer echter reeds goed merkbaar. In de situatie M_midden bedraagt de waterstand op het randmeer slechts 0.6 m +NAP terwijl deze bij situatie M_hoog 1.15 m +NAP bedraagt. Het gevolg is dat de benedenstroomse waterstand bij stuw Balladelaan bijna 20 cm verschilt. Dit verschil loopt op in de richting van monding van de Eem. Bovenstrooms van de stuw is er nog steeds enige invloed. Dit wordt veroorzaakt omdat in situaties met zeer hoge neerslag (de stuw is dan volledig neergelaten) in combinatie met opzet op het Eemmeer er een onvolkomen overlaatsituatie ontstaat.

De grijze lijn in Figuur 6 geeft de hoogte van het maaiveld langs het Valleikanaal weer (bovenstrooms van Amersfoort) en van de primaire waterkering aan de oostkant van de Eem (benedenstrooms van Amersfoort). De hoogte van de kade aan de westkant van de Eem is weergegeven door een zwarte lijn. De hoogte van de dijken en kades is gebaseerd op de hoogte die in 25% van de metingen binnen een gegeven dijktraject wordt onderschreden (zie hoofdstuk 4, onder 'uitgangspunten').

Bij de doorgerekende bui is het duidelijk dat wateroverlast te verwachten valt in het Binnenveld (bovenstrooms van Veenendaal), bij stuw Asschat en bovenstrooms van Amersfoort. Doordat langs het Valleikanaal kades zijn aangelegd is de omvang van de overlast beperkt. Omdat de kades aan de westkant van de Eem relatief laag zullen onder de omstandigheden van de situatie M_hoog in dit deel van het Eemland overstromingen optreden.

Het *vollopen* van de polders kan met verschillende modellen op diverse manieren worden gemodelleerd. Voor een gedetailleerd inzicht is een overstromingsmodel zoals DELFT-FLS nodig. In de onderhavige studie is het doel het bepalen van de waterstanden in de Eem. Met het huidige SOBEK model kan een goede eerste indruk worden verkregen van het effect van het vollopen van een polder op de waterstand in de Eem. Het model is echter onvoldoende nauwkeurig om een voorspelling te doen van het exacte waterstandsverloop op verschillende plaatsen in de polder. Dit valt ook niet onder het doel van deze studie. De waterstanden in de polder zoals hier berekend kunnen gezien het uitgangspunt dat de kaden langs de Eem niet breken niet als indicaties van de MHW's worden aangemerkt.

5.2 Resultaten SOBEK berekeningen

Het verloop van de maximale waterstand tijdens de storm- respectievelijk neerslaggebeurtenissen is voor de 2 belastinggevallen met randvoorwaarde 1/1250 weergegeven in de figuren 7a (meerpeilstatistiek midden) en 7b (meerpeilstatistiek hoog). Voor de randvoorwaarde 1/4000 is het verloop van de maximale waterstand weergegeven in figuren 7c en 7d.

Op de horizontale as is de afstand tot de Eemmonding gegeven, op de verticale de waterstand. Het beginpunt van de Eem ligt op ongeveer 17 km vanaf de Eemmonding. In de figuren zijn nog tot ca. 15 km meer stroomopwaarts (in het Valleikanaal) de waterstanden gegeven omdat de invloed van de wind ver doorwerkt.

Voor de randvoorwaarde 1/1250 en meerpeilstatistiek 'midden' is duidelijk te zien dat op de gehele Eem de wind maatgevend is en op het Valleikanaal de neerslag. De overgang is zo 'direct' door de invloed van de stuw Balladelaan. Bij zware neerslag moet er veel water worden afgevoerd en werkt deze als een drempel. Bij zware wind is de stroomrichting over een deel van de tijd zelfs andersom, maar omdat de debieten dan uiteraard gering zijn werkt de stuw dan niet als een drempel.

Een indicatie voor MHW's op de Eem is hier relatief eenvoudig: de waterstanden gebaseerd op belastinggeval W geven deze indicatie.

Voor de meerpeilstatistiek 'hoog' ligt het anders. Daar is ook bij zware neerslag het meerpeil erg hoog. Daardoor is zware wind alleen nabij de monding maatgevend. De kaden langs het Eemland lopen bij deze waterstanden voor beide belastinggevallen over, maar worden niet volledig gevuld. Een voorbeeld van een ondergelopen polder is gegeven in figuur 8. Figuur 8 toont het vollopen van de Zuidpolder welke zich bevindt in het zuidelijk deel tussen de Zomerdijk (nr 5, figuur 3) en de Wakkerendijk (nr 3, figuur 3). Te zien is dat de waterstand gedurende een paar uur de hoogte van de Zomerdijk overschrijdt. Het oppervlak van de polder is echter dusdanig groot en de duur waarbij de waterstand op de Eem de hoogte van de kade overschrijdt is dusdanig kort, dat de stijging van de waterstand gering is. Het vollopen van de polders op verschillende locaties over de kaden veroorzaakt dat er min of meer gelijke waterstanden in het benedenstroomse deel van de Eem resulteren voor zowel de zware wind als de zware neerslaggebeurtenis. Meer stroomopwaarts is de zware neerslaggebeurtenis maatgevend.

Omdat de verhanglijnen elkaar snijden zou hier in principe de 'IJsseldelta' methode kunnen worden toegepast, waardoor de waterstanden rondom het snijpunt nog enkele cm zullen stijgen. Het verschil met de situatie in de IJsseldelta is hier dat er precies op deze locaties polders volstromen. Dit heeft tot gevolg dat de waterstand min of meer 'begrensd' wordt zolang de polders niet vol zijn. Omdat de correctie hooguit enkele cm zal bedragen is hier volstaan met een eenvoudige oplossing: de indicatie van de MHW's worden geacht te worden gegeven door het maximum van beide verhangcurven.

Voor de randvoorwaarde 1/4000 met de meerpeilstatistiek 'midden' gelden vrijwel dezelfde conclusies als voor de randvoorwaarde 1/1250 met de meerpeilstatistiek 'midden' (figuur 7c). De invloed van de wind en de hoge waterstand op het randmeer is maatgevend op de Eem. Omdat het meerpeil hoger is dan bij de 1/1250 berekeningen is het effect van deze hoge waterstanden verder bovenstrooms merkbaar. Een indicatie van de hoogwaterstanden op de Eem behorend bij de randvoorwaarde 1/4000 en meerpeilstatistiek midden, wordt gegeven door belastinggeval W. Meer stroomopwaarts is de neerslag maatgevend en worden de hoogste waterstanden bereikt onder de situatie zoals gesimuleerd door belastinggeval M.

Voor de meerpeilstatistiek 'hoog' geldt dat de wind alleen doorslaggevend is nabij de monding. De hoogste waterstanden in het bovenstroomse deel van de Eem worden bereikt

als gevolg van een extreme hoeveelheid neerslag die samenvalt met een hoog meerpeil, welke de afvoer belemmert (belastinggeval M). Het effect van het hogere meerpeil is zeer duidelijk merkbaar tot aan stuw Asschat (vergelijk M4000_midden en M4000_hoog, figuur 7c en 7d).

Het verloop van beide 'MHW'-verhanglijnen voor 1/1250 en van de verhanglijnen behorend bij de randvoorwaarde 1/4000 is gegeven in figuur 9. Het verschil tussen de midden- en hoge meerpeilstatistiek is gering, minder dan een decimeter. De meerpeilstatistiek heeft geen grote invloed op de hoogwaterstanden langs de Eem. Het verschil tussen 1/1250 en 1/4000 is 1 tot 2 decimeter.

In de tabellen in de bijlage zijn alle berekende waarden weergegeven. Indicaties van de MHW op een lokatie, samengesteld uit het maximum van een berekening met de 'M' en een met de 'W' variant, zijn in onderstaande tabel gepresenteerd.

Tabel 6 Indicatieve waarden voor de MHW's langs de Eem.

Locatie	Afstand tot monding (km)	Indicaties voor MHW's langs de Eem (m +NAP)			
		midden	midden	hoog	hoog
		1/1250	1/4000	1/1250	1/4000
1 Begin Eem	16.6	1.56	1.69	1.64	1.77
2 Industrie	15.2	1.49	1.62	1.59	1.71
3 Amersfoort West	13.8	1.41	1.54	1.54	1.65
4 Middelwijk	10.5	1.29	1.41	1.43	1.53
5 Langeind	8.7	1.25	1.35	1.35	1.45
6 Gemaal de Haar	6.8	1.21	1.29	1.28	1.37
9 Zuidpolder	5.3	1.20	1.30	1.25	1.35
8 Gemaal Eemnes	3.9	1.19	1.30	1.25	1.34
3 Maatpolder	1.9	1.20	1.35	1.27	1.41
10 Monding Eem	0.0	1.20	1.40	1.29	1.49

5.3 Duur en intensiteit van de neerslaggebeurtenis

In het volgende worden enkele extra berekeningen gepresenteerd waarmee de invloed van de gekozen duur en intensiteit kan worden nagegaan.

Figuur 10a toont de verhanglijn van de maximale waterstanden berekend in het benedenstroomse deel van het Valleikanaal en de Eem onder verschillende omstandigheden. De verhanglijn met de aanduiding M_hoog stelt de maximale waterstand voor bij een bui met een duur van 96 uur en een gemiddelde intensiteit van 1.35 mm/uur. Deze is bij het bepalen van de indicatieve hoogwaterstanden gebruikt. De waterstand op het Eemmeer is gebaseerd op de meerpeilstatistiek 'hoog' en bedraagt maximaal 1.15 m +NAP. De beide andere lijnen stellen andere neerslag gebeurtenissen voor: korter en met hogere intensiteit, en langer met minder intensiteit. Beide blijken lager te liggen dan M_hoog.

Dit onderbouwt de gekozen combinatie van duur en intensiteit, beschouwd vanuit het uitgangspunt dat er in dit stadium een benadering wordt gezocht die enigszins aan de conservatieve kant is. De verschillen op de Eem nabij Amersfoort zijn wel zodanig groot

(enkele decimeters) dat het nuttig is in een later stadium de duur en intensiteit nader te onderbouwen.

Figuur 10b toont dezelfde 3 combinaties van duur en intensiteit, maar dan voor de situatie met zware wind en minder hevige neerslag. In dit geval zijn de verschillen gering. Alleen meer bovenstrooms, waar de wind geen invloed meer heeft, zijn de verschillen groter.

6 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

In voorliggend rapport is verslag gedaan van een studie met als doel indicatieve waarden van de hoogwaterstanden in de Eem te bepalen. Hiervoor is een bestaand SOBEK model gebruikt, dat enigszins is aangepast om het geschikt te maken voor zware wind- en neerslaggebeurtenissen. Er is uitgegaan van dezelfde beheersregels voor gemalen en stuwen als in het bestaande model.

De indicatieve hoogwaterstanden zijn gebaseerd op het maximum van een tweetal belastinggevallen: hoge wind met lage neerslag en andersom. Deze methode komt ongeveer overeen met de 'IJsseldelta' methode.

Voor de meerpeilstatistiek 'midden' worden de hoogwaterstanden op de Eem voornamelijk bepaald door extreem hoge waterstanden op het Eemmeer, en in mindere mate door de windopzet op de Eem en de rivierafvoer van de Eem. De waterstanden bij Amersfoort zijn ongeveer 0.3 m hoger dan bij de Eemmonding.

Voor de meerpeilstatistiek 'hoog' worden de hoogwaterstanden op de Eem ook deels bepaald door een combinatie van zware neerslag en hoog meerpeil, hoewel hoge windsnelheden ook in dat geval tot hoge waterstanden bij Amersfoort leiden.

In alle gevallen blijkt dat de bestaande (zomer)kaden langs de Eem zullen overlopen. Enkele polders in het Eemland zullen in dergelijke situaties vollopen, andere zullen slechts voor een deel vollopen. Ook in het stroomgebied van de Eem zullen diverse gebieden overstroomden.

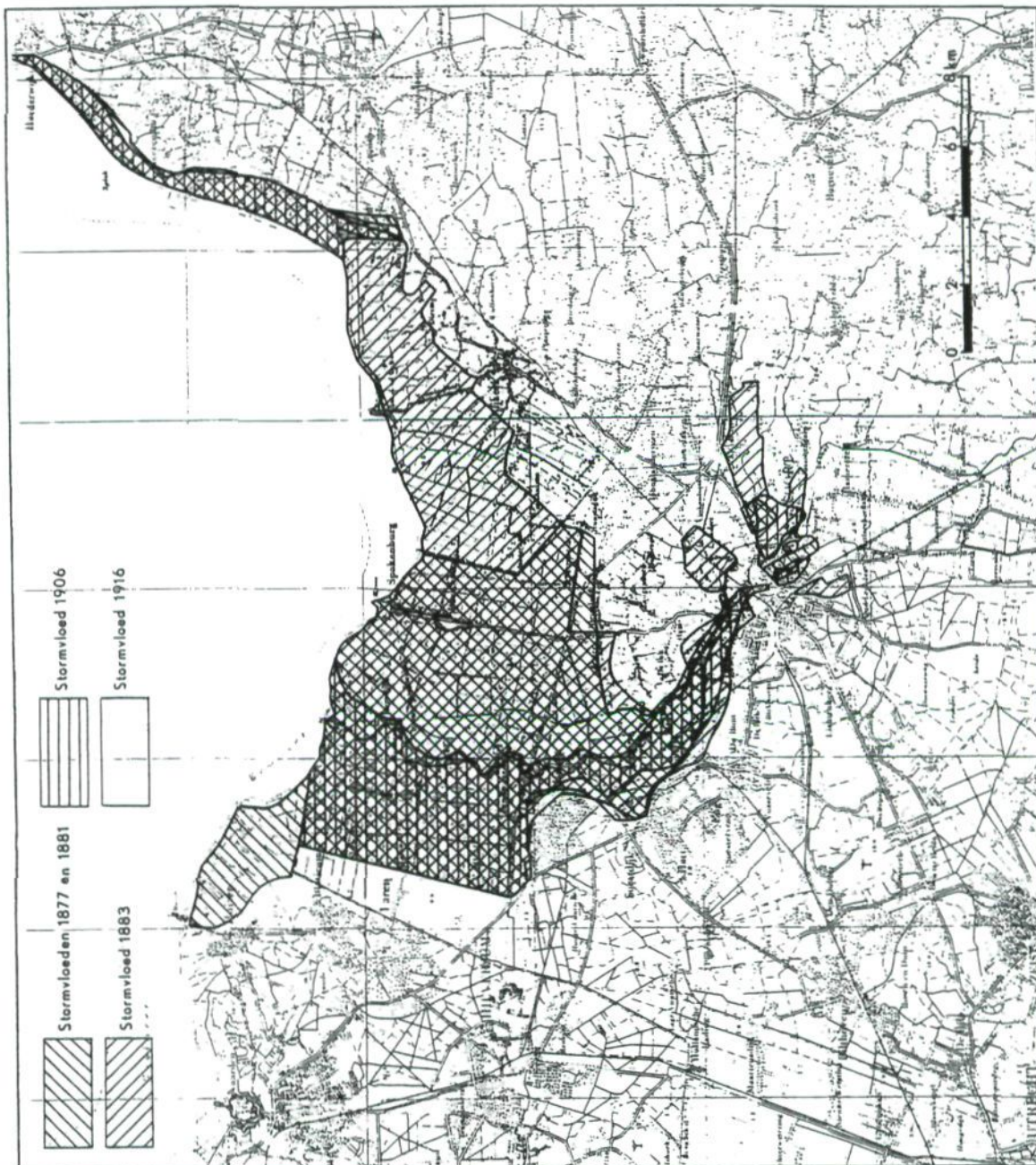
De in onderhavige studie uitgevoerde berekeningen zijn gebaseerd op randvoorwaarden en uitgangspunten die vermoedelijk enigszins aan de conservatieve kant zijn. In dit stadium van verkenning lijkt dit verstandig, maar toch is het nuttig om er bij het evalueren van de resultaten rekening mee te houden.

- De keuze van de neerslaggebeurtenis. Een andere duur / intensiteit van de bui kan een zelfde herhalingstijd hebben, maar leidt tot andere waterstanden.
- De inspeelperiode en antecedente condities (elke bui resulteert bij andere beginvoorwaarden in andere waterstanden);
- Aangenomen is dat overstrooming alleen optreedt door overstroomden van kades, niet ten gevolge van doorbraak. Dit leidt in principe tot een overschatting van de waterstanden op de Eem, en een onderschatting van de waterstanden in de polders in het Eemland.

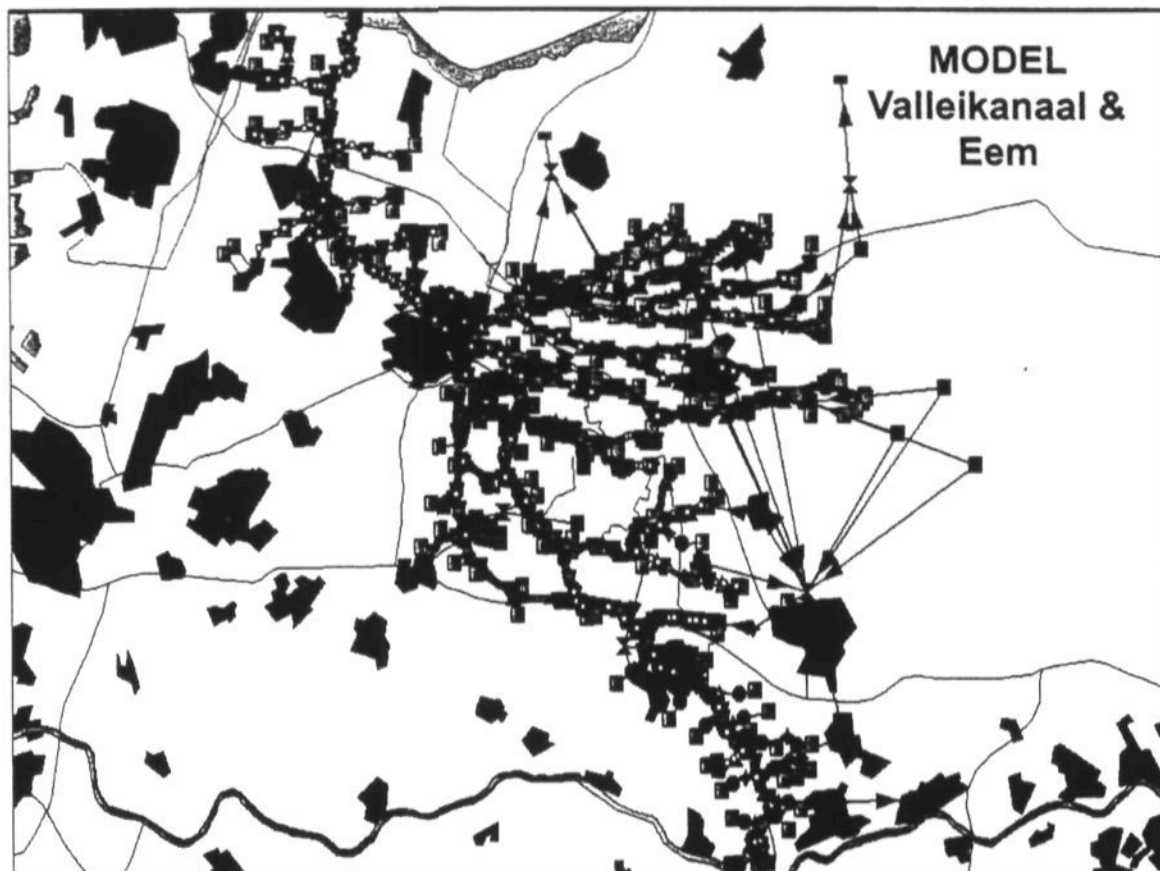
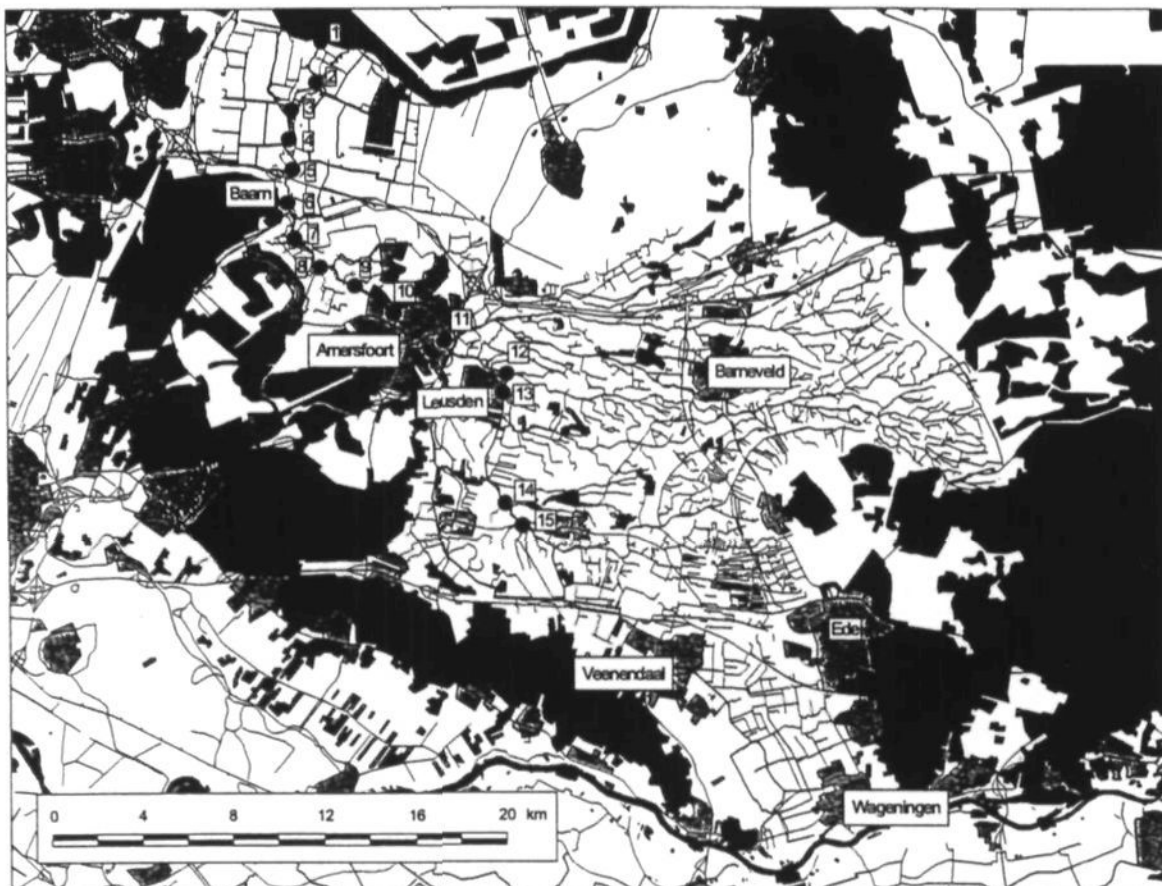
Het wordt aanbevolen bij een vervolg deze punten nader te beschouwen. De benadering van de waterstanden met een overschrijdingsfrequentie van 1/1250 per en 1/4000 per jaar door twee belastinggevallen geeft over het algemeen een goed beeld van de orde van grootte van de maatgevende waterstanden. Voor het voorbereiden van formele MHW's langs de Eem wordt aanbevolen de uitgangspunten ten aanzien van de neerslag scherper vast te stellen, en een meer geavanceerde statistische/probabilistische methode te kiezen.

Literatuur

- RWS, 1968. Beschrijving van de provincie Utrecht behorende bij de waterstaatskaart. Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, 1968
- Bouwknegt, J. & A.J. Gelok, 1988. Regenduurlijnen voor het ontwerp en beheer van waterbeheersings- en rioleringsprojecten. Heidemij adviesbureau, Landinrichtingsdienst Utrecht, mei 1988.
- RWS, 1996. Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen. RIKZ, RIZA, DWW, september 1996.
- WL|Delft Hydraulics, 1998. Onafhankelijk Onderzoek Markermeer, eindrapport, mei 1998.
- INFRAM, 1999. Markermeer II. Bewezen sterkte met betrekking tot geotechnische stabiliteit. Concept. November 1999.
- WL|Delft Hydraulics, 2000. Evaluatie waterhuishoudkundig systeem Waterschap Vallei en Eem. Fase I : het huidige functioneren van het systeem, april 2000.



Overstroomde gebieden rondom Amersfoort tijdens enkele historische stormvloeden (uit RWS, 1968)

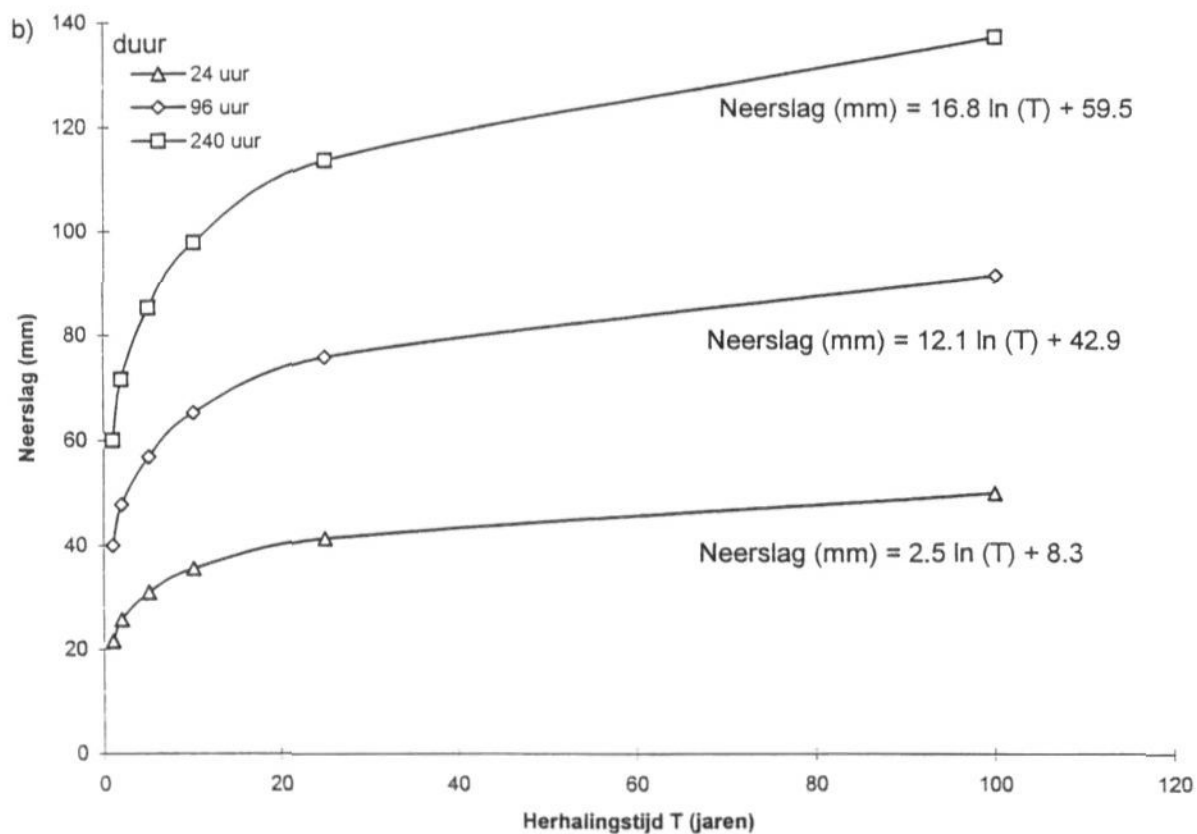
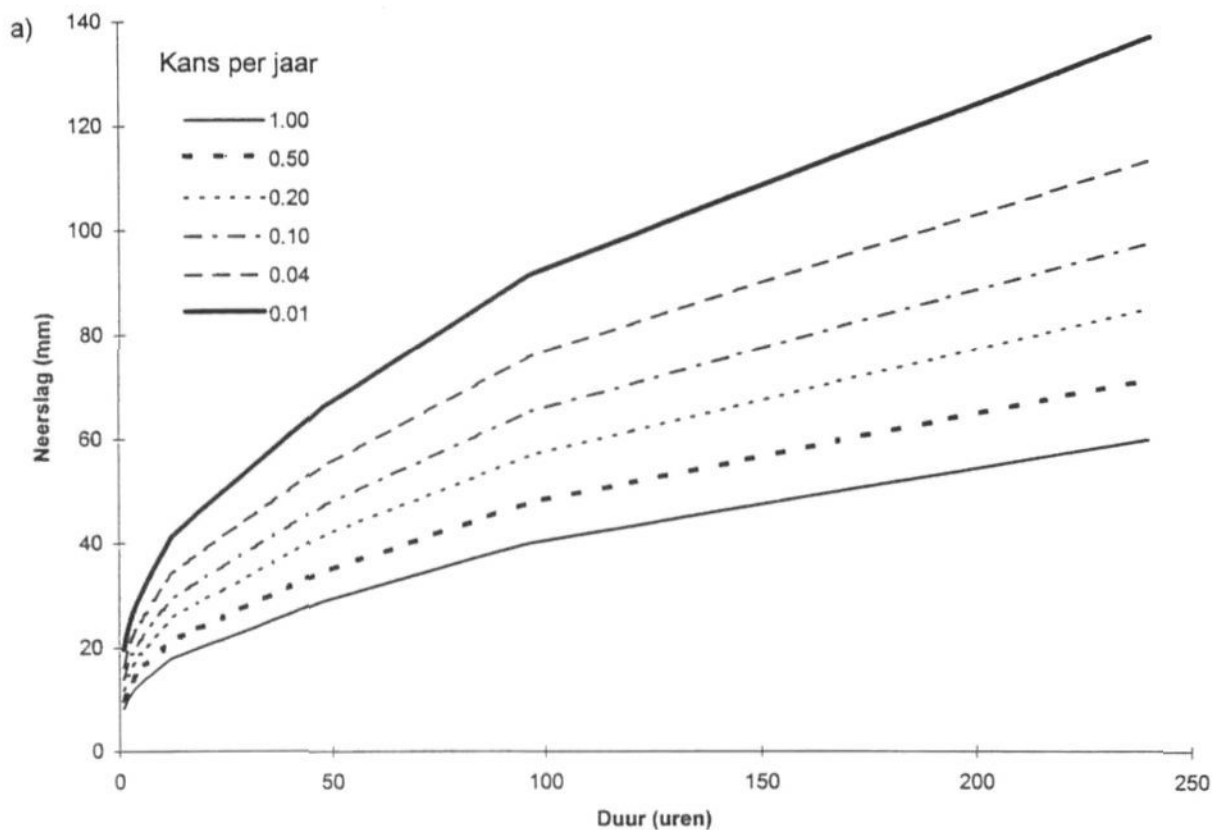


- a) Overzicht stroomgebied Eem
b) Overzicht SOBEK model van het stroomgebied van de Eem

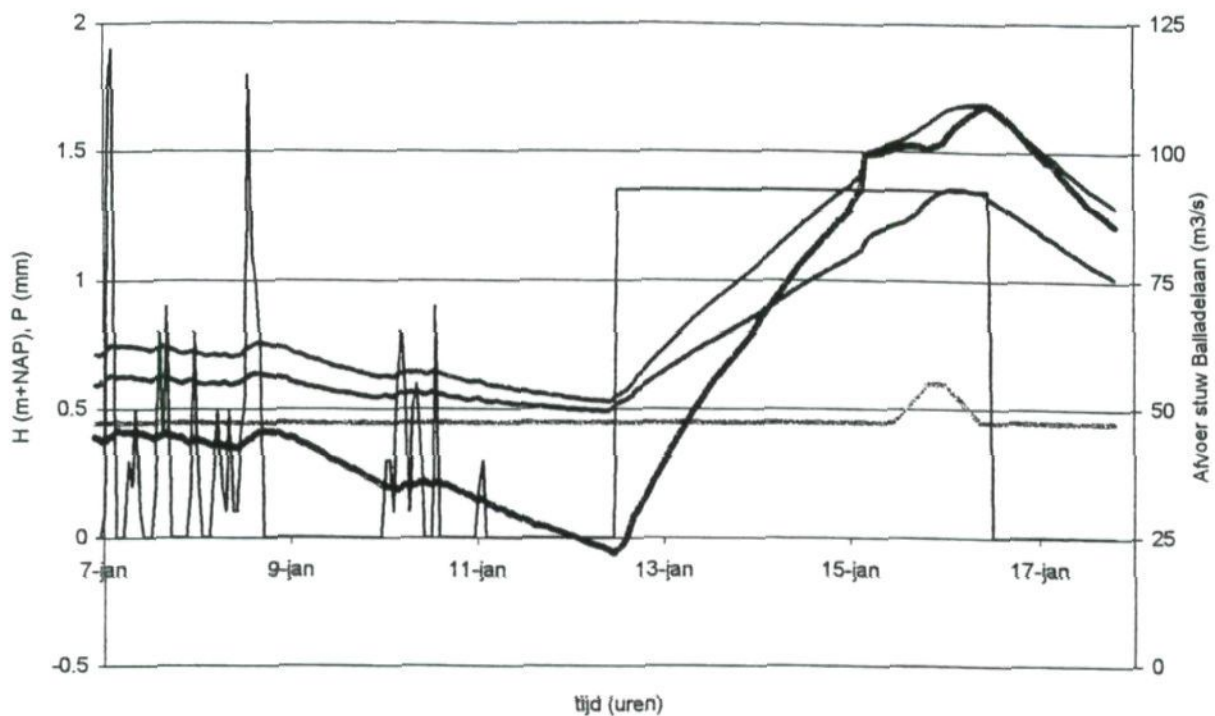
E000407a



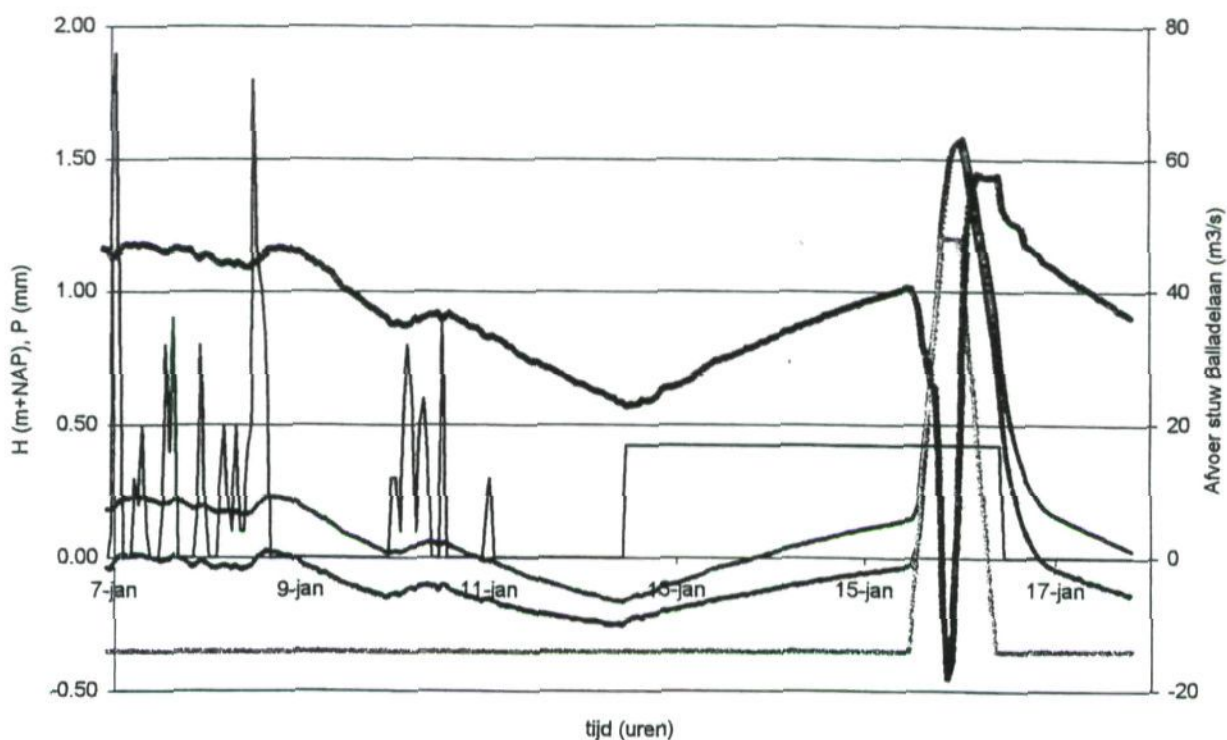
Ligging van de dijken en kades in het Eemland



a) Neerslag - duur relaties (Bouwknegt en Gelok, 1988),
b) extrapolatie neerslaghoeveelheden



— Waterstand bovenstrooms stuw — Waterstand benedenstrooms stuw - - - Waterstand Eemmondig
 — P (mm) — Debiet



— Waterstand bovenstrooms stuw — Waterstand benedenstrooms stuw - - - Waterstand Eemmondig
 — Neerslag (mm) — Debiet

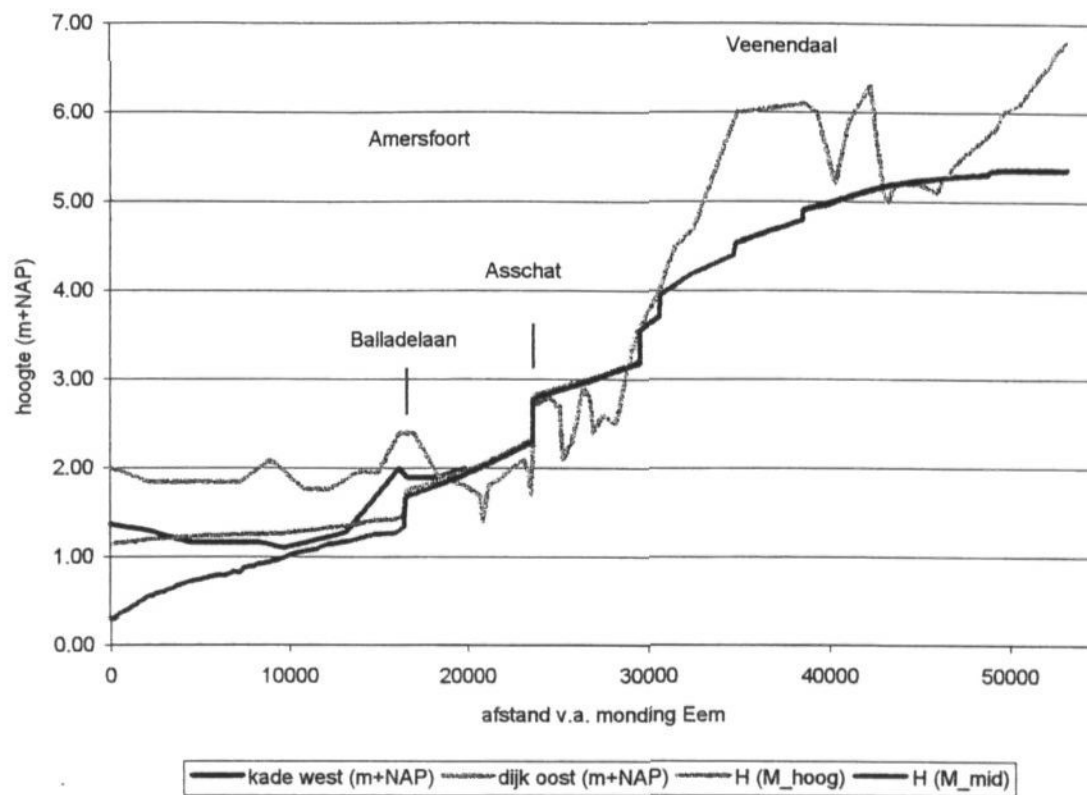
Verloop waterstand en afvoer stuw Balladelaan voor

a) M_midden, b) W_midden

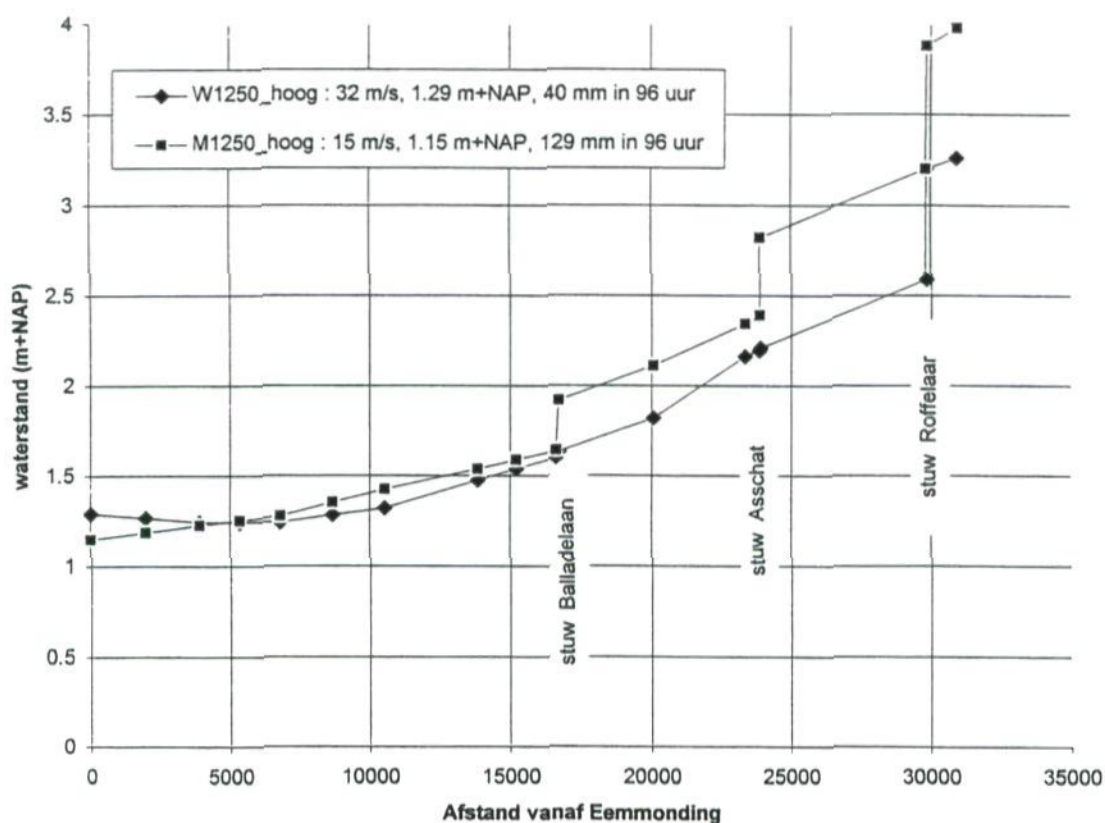
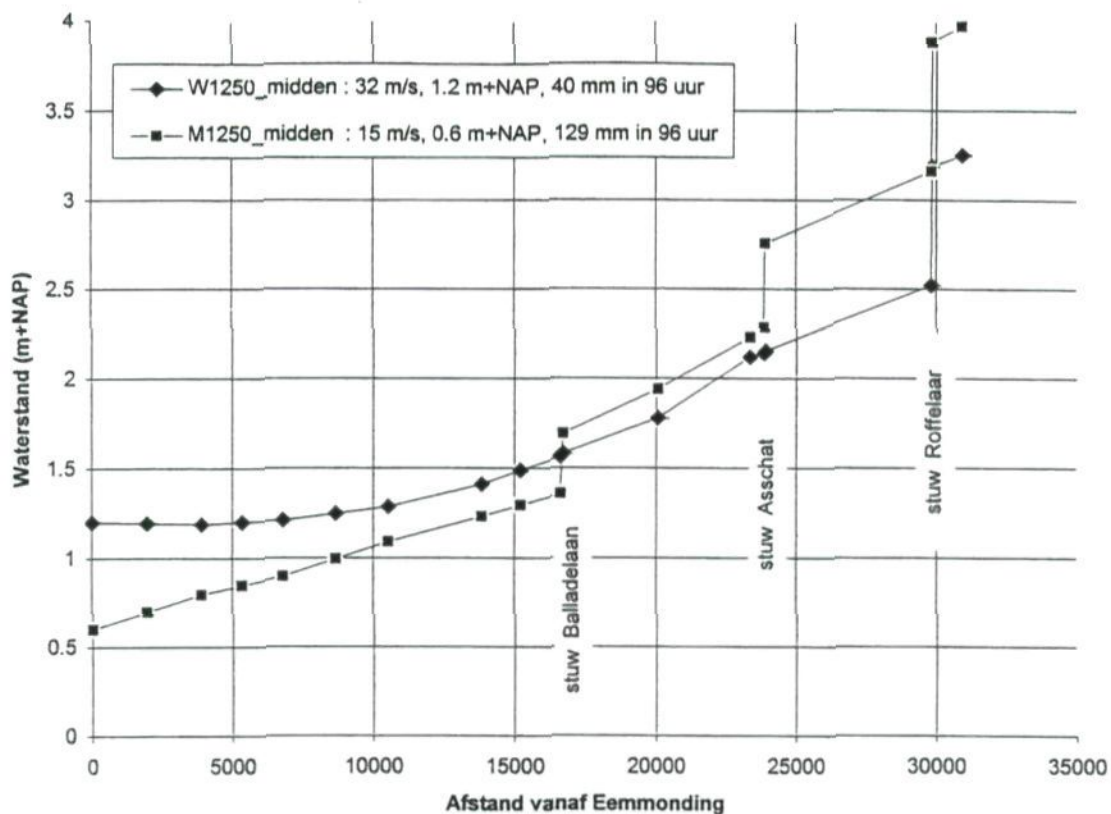
WL | DELFT HYDRAULICS

H3658

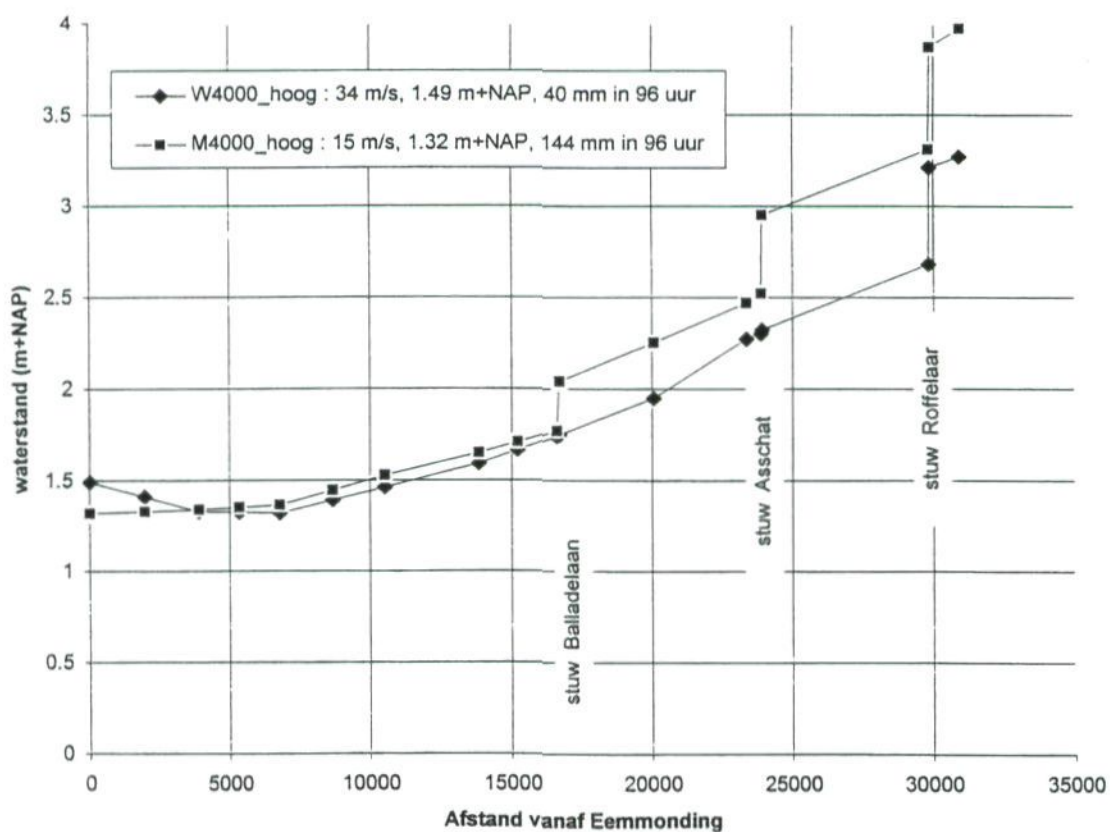
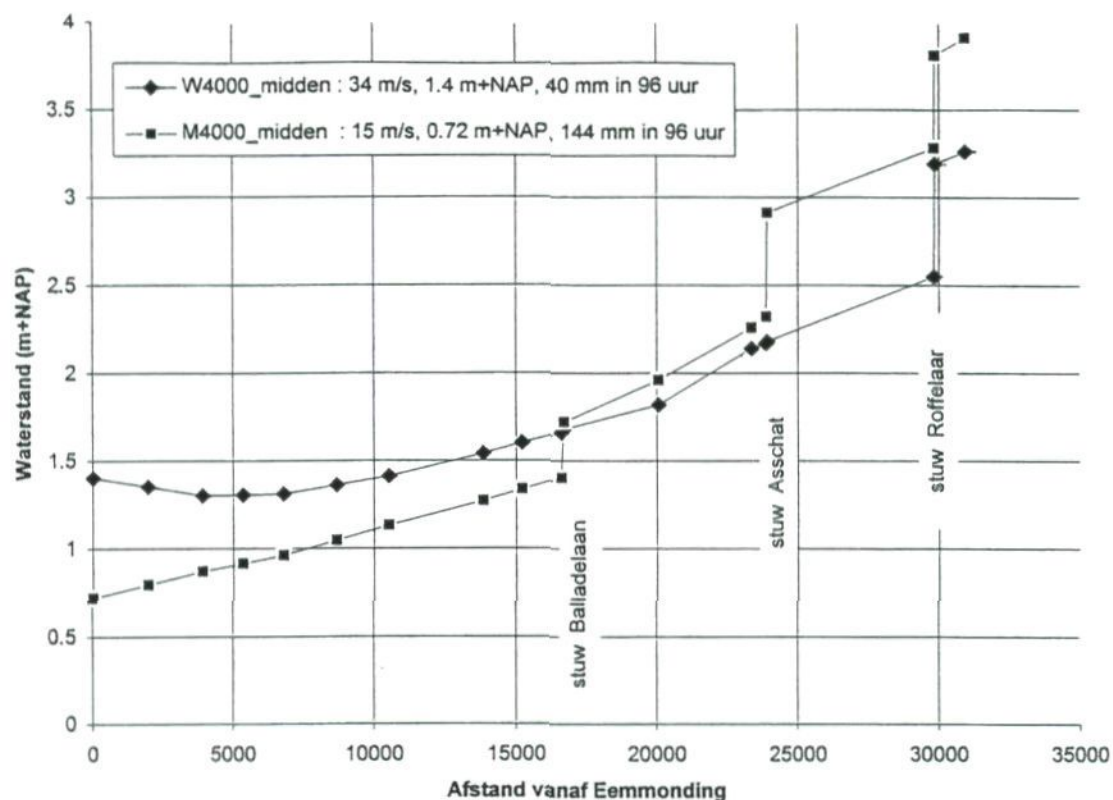
FIG. 5



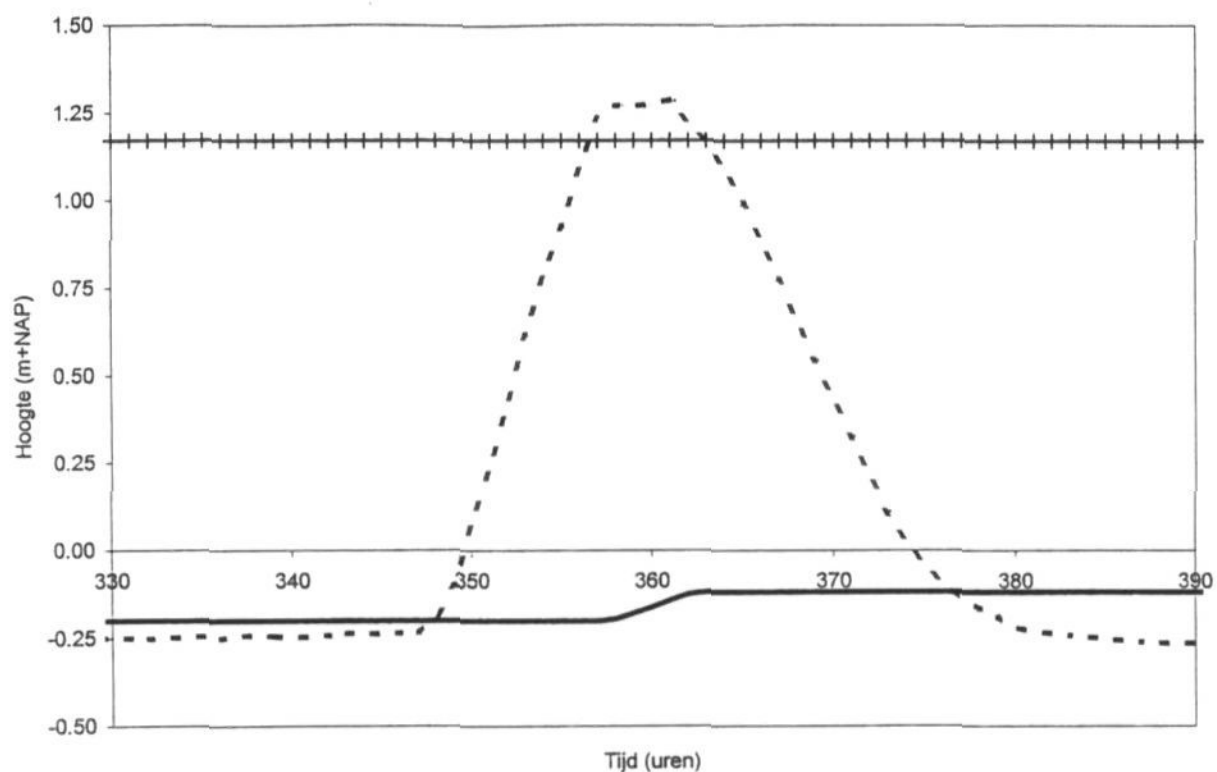
Voorbeeld van het lengteprofiel van de waterstanden
langs Valleikanaal en Eem



Resultaten SOBEK-berekeningen (1/1250)
a) Meerpeilstatistiek midden, b) Meerpeilstatistiek hoog



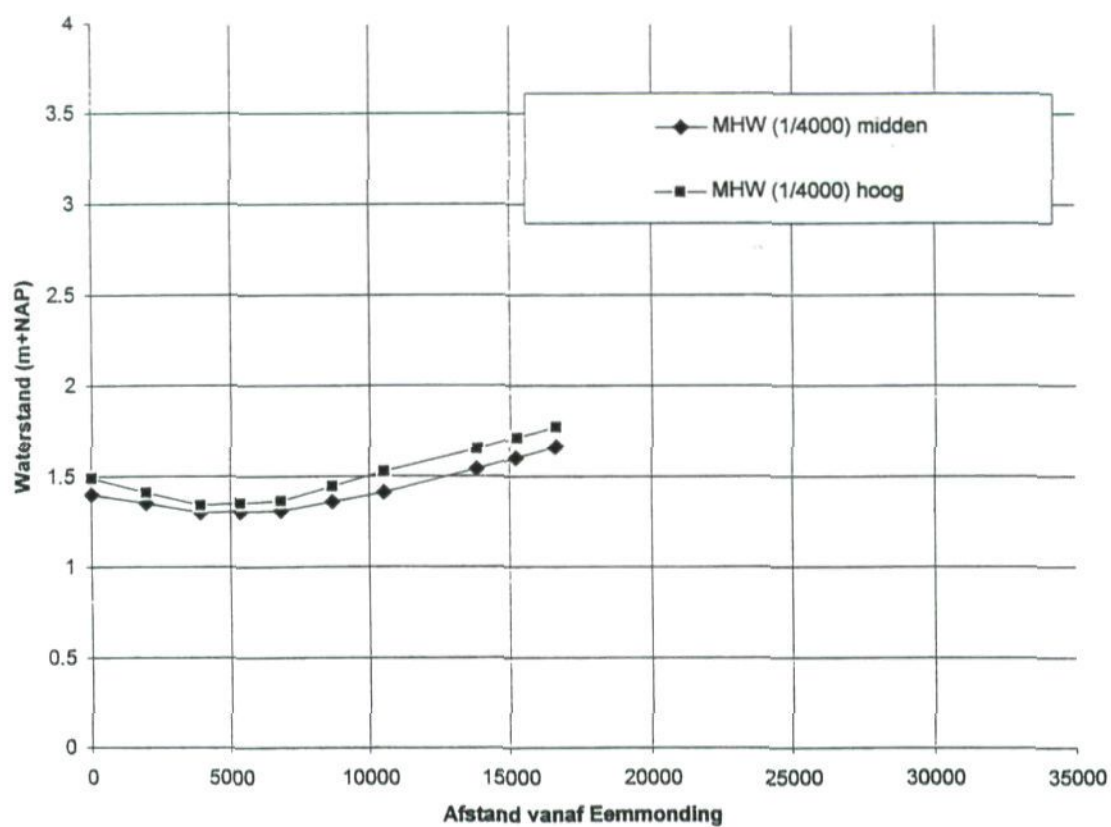
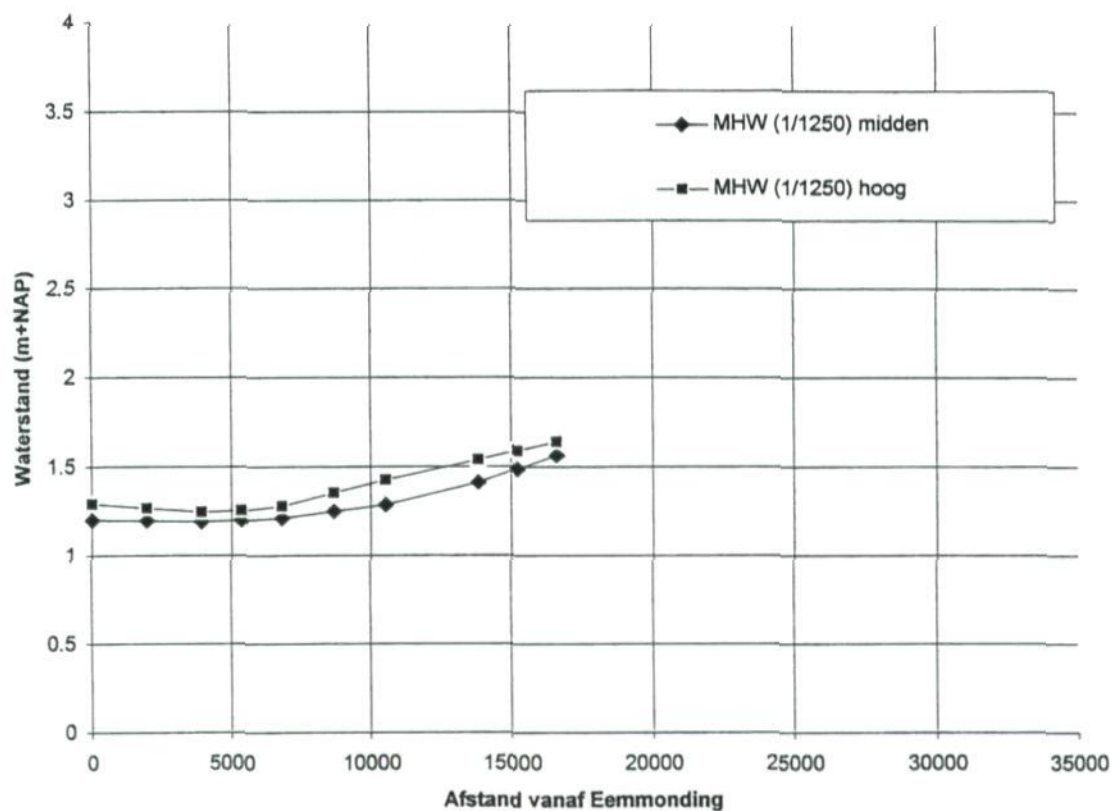
Resultaten SOBEK-berekeningen (1/4000)
c) Meerpeilstatistiek midden, d) Meerpeilstatistiek hoog



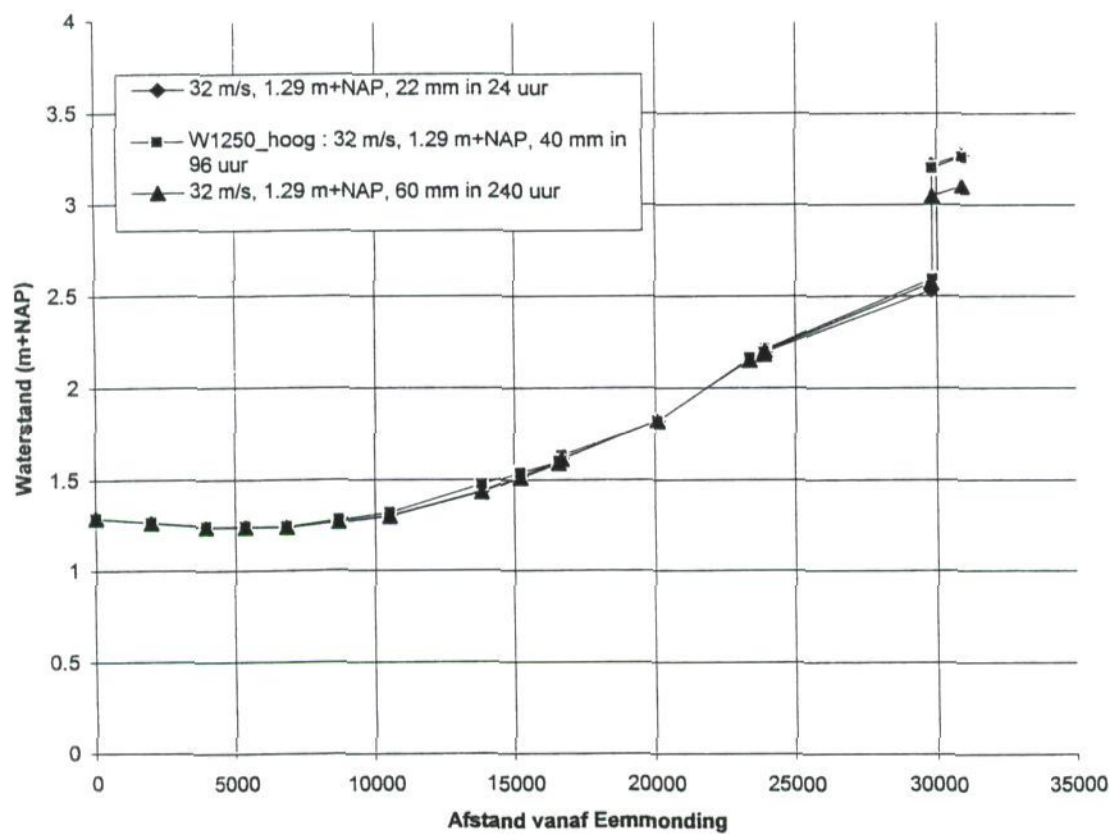
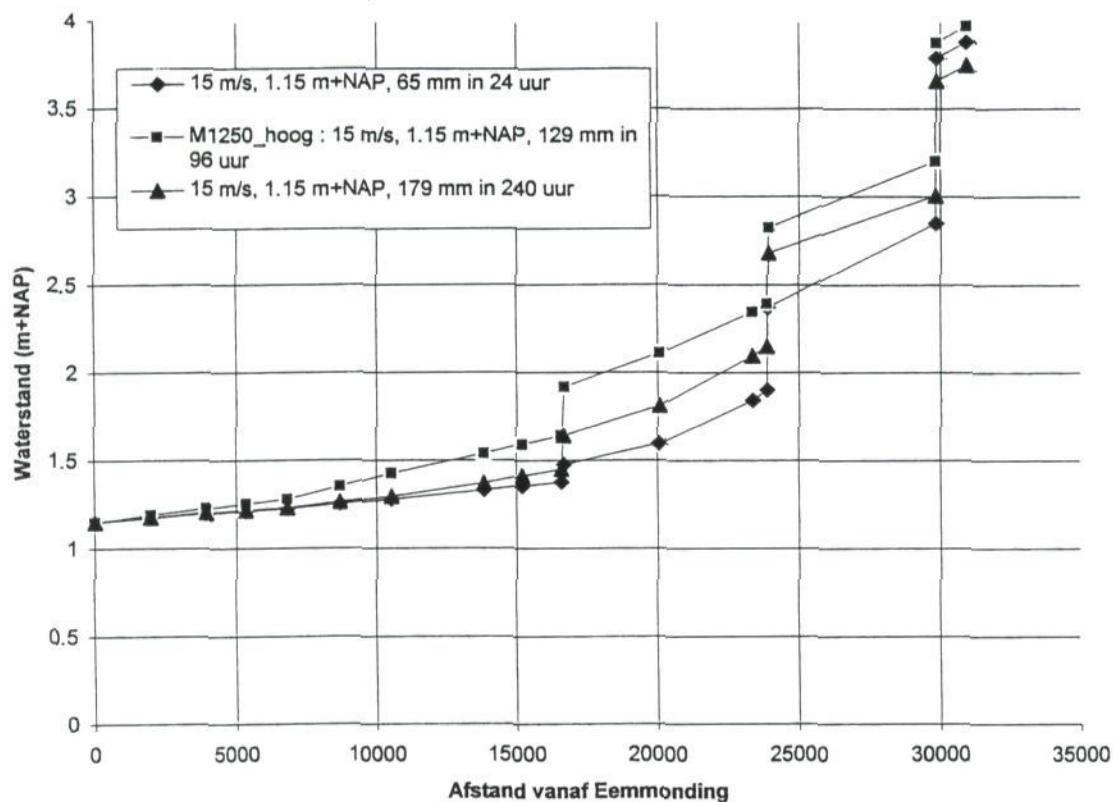
Waterstand Zuidpolder (m+NAP)
 Waterstand Eem (m+NAP)

 Hoogte kade (25% kadeflengte is lager)

Voorbeeld van het waterstandsverloop in de Zuidpolder
als gevolg van het overlopen van de kade



Indicatieve hoogwaterstanden voor een overschrijdingskans
van a) 1/1250 per jaar, b) 1/4000 per jaar



Gevoeligheidsonderzoek
duur en intensiteit neerslag

Bijlage Resultaten SOBEK-berekeningen

case name		M1250 _midden	M1250 _hoog	M4000 _midden	M4000 _hoog	W1250 _midden	W1250 _hoog	W4000 _midden	W4000 _hoog
overschrijdingsfrequentie									
- neerslag	[/jr]	1/1250	1/1250	1/4000	1/4000	1/1	1/1	1/1	1/1
- windsnelheid	[/jr]	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1250	1/1250	1/4000	1/4000
- neerpeil	[/jr]	1/1250	1/1250	1/4000	1/4000	1/1	1/1	1/1	1/1
statistiek									
Emmondig									
- meerpeil	[NAP + .. m]	0.45	1.00	0.57	1.17	-	-	-	-
- waterstand	[NAP + .. m]	0.60	1.15	0.72	1.32	1.20	1.29	1.40	1.49
wind									
- windsnelheid	[m/s]	15	15	15	15	32	32	34	34
- windrichting	[°]	300	300	300	300	300	300	300	300
neerslaggebeurtenis									
- duur	[hr]	96	96	96	96	96	96	96	96
- totale neerslag	[mm]	129	129	144	144	40	40	40	40
- neerslag	[mm/hr]	1.34	1.34	1.50	1.50	0.42	0.42	0.42	0.42
afstand vanaf Emmondig									
locatie	[m]	waterstand	waterstand	waterstand	waterstand	waterstand	waterstand	waterstand	waterstand
		[NAP + .. m]	[NAP + .. m]	[NAP + .. m]	[NAP + .. m]	[NAP + .. m]	[NAP + .. m]	[NAP + .. m]	[NAP + .. m]
Monding Eern	0	0.60	1.15	0.72	1.32	1.20	1.29	1.40	1.49
Mastpolder	1 948	0.70	1.19	0.80	1.33	1.20	1.27	1.35	1.41
Gemaal Eernnes	3 896	0.80	1.23	0.87	1.34	1.19	1.25	1.30	1.33
Zuidpolder	5 353	0.85	1.25	0.92	1.35	1.20	1.25	1.30	1.33
Gemaal de Haar	6 809	0.90	1.28	0.96	1.37	1.21	1.25	1.29	1.32
Langelind	8 665	0.99	1.35	1.05	1.45	1.25	1.28	1.35	1.39
Middelwijk	10 521	1.09	1.43	1.13	1.53	1.29	1.32	1.41	1.46
Amersfoort W	13 836	1.23	1.54	1.27	1.65	1.41	1.48	1.54	1.59
Industrie	15 212	1.29	1.59	1.34	1.71	1.49	1.54	1.62	1.67
Begin Eern	16 587	1.36	1.64	1.40	1.77	1.56	1.60	1.69	1.74
Verschild monding & begin Eern [m]		0.76	0.49	0.68	0.45	0.36	0.31	0.29	0.25

M1250 _hoog 24	M1250 _hoog 240	W1250 _hoog 24	W1250 _hoog 240
1/1250	1/1250	1/1	1/1
1/1	1/1	1/1250	1/1250
1/1250	1/1250	1/1	1/1
hoog	hoog	hoog	hoog
1.15	1.15	1.29	1.29
15	15	32	32
300	300	300	300
24	240	24	240
65	179	22	60
2.71	0.75	0.92	0.25
waterstand	waterstand	waterstand	waterstand
[NAP + .. m]	[NAP + .. m]	[NAP + .. m]	[NAP + .. m]
1.15	1.15	1.29	1.29
1.17	1.19	1.27	1.27
1.20	1.23	1.24	1.25
1.21	1.24	1.24	1.25
1.23	1.28	1.24	1.25
1.25	1.28	1.27	1.28
1.28	1.31	1.30	1.32
1.33	1.41	1.44	1.46
1.35	1.47	1.52	1.54
1.38	1.53	1.60	1.60
0.23	0.38	0.31	0.31

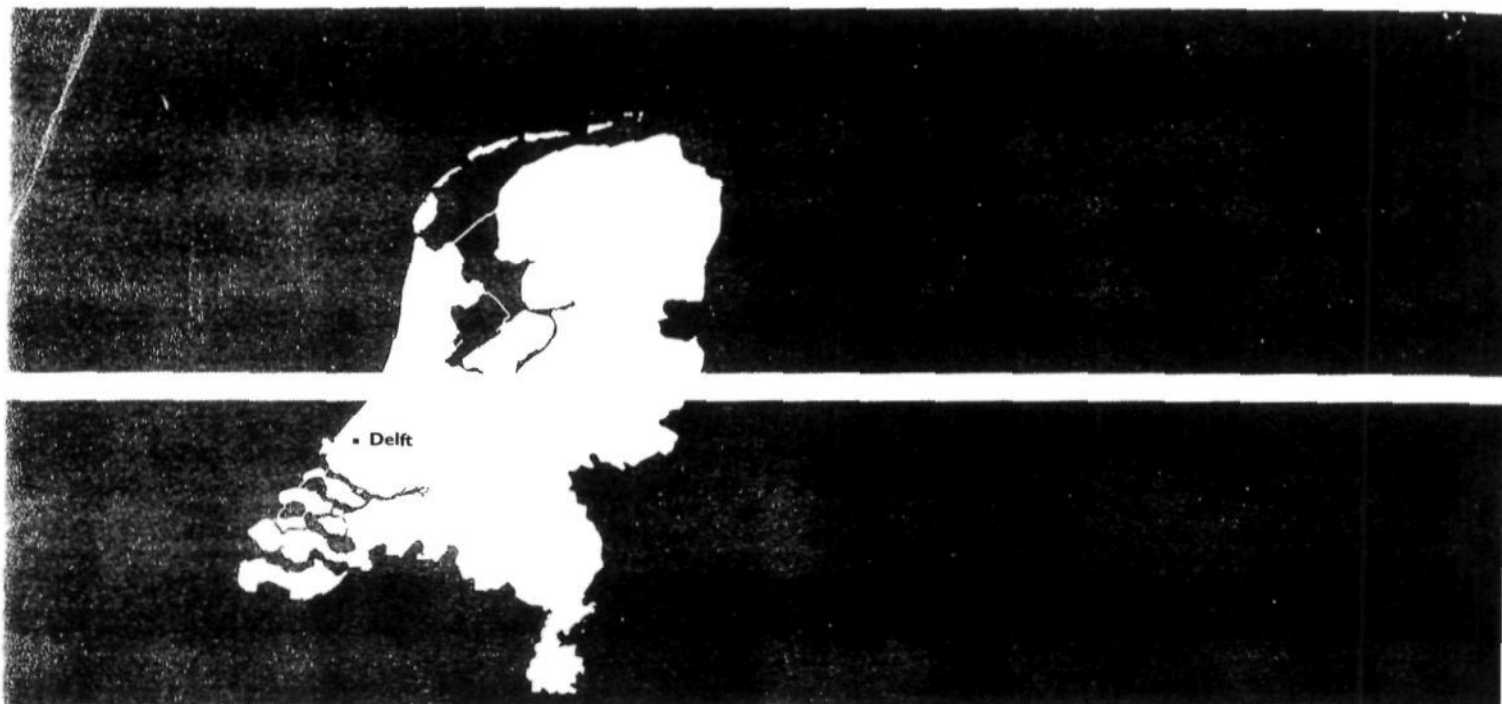
4000

300

300

1150

1250



WL | Delft Hydraulics

Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

