

Werkdocument

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Aan

-

Van

A.A. Arends

Datum

oktober 1998

Nummer

RIKZ/AB-97.859x

Product

ZEESTRU*WS*4

Onderwerp

Statistische analyse van opgetreden stormvloedstanden bij Bath

Doorkiesnummer

0118-672301

Bijlage(n)

2

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 0118 672200

Telefax 0118 651046

**Statistische analyse
van opgetreden
stormvloedstanden
bij Bath**

Samenvatting

In dit document wordt op basis van een statistische analyse een relatie gezocht tussen het hoogwater in Bath enerzijds en anderzijds het hoogwater in Vlissingen, de windsnelheid in Vlissingen en de rijssnelheid van het getij. De gebruikte dataset is van de periode 1943-1995.

Uit de analyse blijkt dat de hoogwaterstand in Bath vooral wordt bepaald door de hoogwaterstand in Vlissingen, daarnaast is ook de windsnelheid van belang. De rijssnelheid van het getij in Vlissingen heeft nauwelijks invloed op het hoogwater in Bath. Behalve de wind en de hoogwaterstand in Vlissingen zijn ook interne factoren zoals de geometrie van belang. Dit blijkt uit de vergelijking van de resultaten van de gehele periode met resultaten uit kortere perioden. De relaties voldoen beter bij kortere perioden waarin de geometrie weinig is veranderd.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1. Inleiding.....	7
1.1 Probleemstelling	7
1.2 Indeling rapport.....	7
2. Statistisch model.....	9
2.1 Gebruikte data.....	9
2.2 Statistische methode.....	9
3. Resultaten van statistische analyse	12
3.1 Totale dataset	12
3.2 Dataset opdelen in representatieve perioden	13
3.3 Dataset opdelen in perioden van 5 jaar.	16
4. Conclusies en aanbevelingen.....	18
5. Literatuurlijst.....	20
 Bijlage 1 : waterstand- en windgegevens	21
Bijlage 2 : grafische presentatie van de resultaten van de statistische analyse.....	27

1. Inleiding

In de Westerschelde is een snellere stijging waar te nemen van de hoogwaterstand dan van de zeespiegel. De stijging van het hoogwater wordt veroorzaakt door menselijke ingrepen en door natuurlijke en autonome ontwikkelingen. In het kader van de veiligheid tegen overstromen is het van belang te weten waardoor de hoogwater stijging veroorzaakt wordt en hoe ver die zich doorzet. In dit document wordt de invloed van de wind op de stijging van het hoogwater onderzocht.

1.1 Probleemstelling

Zoals hierboven beschreven is, stijgt de hoogwaterstand sneller dan de gemiddelde zeespiegel. In het Westerschelde estuarium hebben veel menselijke ingrepen plaatsgevonden die van invloed zijn geweest op de getijvoortplanting in het estuarium. Behalve menselijke ingrepen kunnen ook externe factoren van invloed zijn geweest op de getijontwikkeling.

In 1987 is door Bollebakker et. al. een statistisch bepaalde relatie vastgesteld tussen de opgetreden hoogwaterstanden in Prosper en diverse getijkarakteristieken bij Vlissingen. In die relatie is de gemeten windsnelheid bij Vlissingen meegenomen. Uit dat onderzoek blijkt dat voor de periode 1971-1986 de hoogwaterstand bij Prosper voor 94% te beschrijven is als een functie van het opgetreden hoogwater in Vlissingen, de rijssnelheid van het getij bij Vlissingen en de windsnelheid bij Vlissingen.

De periode 1971-1986 valt rond de verdieping waardoor niet kan worden beoordeeld of de ingrepen die in het estuarium hebben plaatsgevonden van invloed zijn op de relatie.

In deze studie wordt daarom voor een langere periode onderzocht of het getij in Bath te verklaren is met behulp van getijkarakteristieken van Vlissingen en windsnelheden. Als dat het geval is dan betekent dit dat voor een lange periode een relatie moet gelden tussen de opgetreden hoogwaterstanden in Bath en in Vlissingen en de windsnelheden. Als dat niet het geval is, dan zijn waarschijnlijk interne factoren van invloed op de stormopzet en getijontwikkeling. Dit kan onderzocht worden door relaties op te stellen voor kleinere perioden waarin geen ingrepen gepleegd zijn.

Om te testen welke invloed de wind op de relatie heeft zal eerst een relatie worden gezocht waarbij de wind niet wordt meegenomen, vervolgens zal de windinvloed wel meegenomen worden.

Het onderzoek is uitgevoerd door middel van een statistische analyse naar een relatie tussen de opgetreden waterstanden in Bath en enkele getijkarakteristieken van het getij in Vlissingen voor korte en lange perioden. De gemeten dataset is voor de periode 1943-1995.

1.2 Indeling rapport

Na de inleiding zal in hoofdstuk 2 worden beschreven welke dataset gebruikt is en hoe deze geselecteerd is. Verder wordt beschreven welke modelhypothese(n) getoetst zullen worden. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de verschillende modellen beschreven en geanalyseerd. Tenslotte volgen in hoofdstuk 4 conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek.

2. Statistisch model

2.1 Gebruikte data

Om de resultaten van deze studie te kunnen vergelijken met de resultaten van de studie uitgevoerd door Bollebakker et. al. (1987) is van dezelfde randvoorwaarden gebruikt gemaakt. Dit houdt in dat :

- de opgetreden hoogwaterstand te Vlissingen hoger dient te zijn dan NAP +2,82 m.
- de windrichting te Vlissingen uit het 4^e kwadrant dient te komen, d.w.z. dat de windrichting niet kleiner mag zijn dan 270° en niet groter dan 360°.
- de windsnelheid te Vlissingen minimaal 7 m/s dient te zijn (gemeten 1 uur na hoogwater (HW) in Vlissingen). Deze uurwaarde wordt maatgevend geacht voor de periode die verstrijkt tussen HW_{Vlissingen} en HW_{Bath}.

De wind-gegevens zijn afkomstig van het KNMI. Van de dagen waarop de waterstand bij Vlissingen hoger was dan NAP +2,82 m is elk uur de windrichting en de windsnelheid gegevens (Vlissingen.dat). In 1951 treedt een trendbreuk op in de data omdat in dat jaar overgegaan is op een andere manier om de gemiddelde windsnelheid te berekenen. Dit is niet van invloed op de analyse.

De hoogwater-gegevens zijn afkomstig van metingen die door Rijkswaterstaat worden gedaan. Voor het station Vlissingen is naast de datum en tijd, de hoogwaterstand die hoger is dan NAP +2,82 m en de voorafgaande laagwaterstand gegeven. Voor het station Bath is alleen de hoogwaterstand gegeven (res1.txt).

De beide bestanden zijn geselecteerd volgens de bovenstaande criteria, met als resultaat een tabel waarin datum van het hoogwater in Vlissingen, laagwater Vlissingen (cm), hoogwater Vlissingen (cm), Hoogwater Bath (cm), rijssnelheid van het getij bij Vlissingen (cm/min), windrichting (°) en windsnelheid (dm/s) worden gegeven, zie bijlage 1. De rijssnelheid van het getij is de snelheid waarin het getij van laag naar hoog water gaat. In formule vorm is dit :

$$V_{\text{rijs}} = \frac{\text{HW} - \text{LW}}{\text{tijdsduur}(\text{LW} - \text{HW})}$$

waarin : V_{rijs} = Rijssnelheid [cm/min]
 HW = Hoogwater [cm]
 LW = Laagwater [cm]

2.2 Statistische methode

Met behulp van het statistiekpakket SYSTAT is een meervoudige (lineaire) regressie analyse uitgevoerd met deze dataset. Daarbij is het hoogwater in Bath een functie van één of meer van de volgende variabelen :

- hoogwater in Vlissingen
- windsnelheid
- rijssnelheid van het getij
- laagwater Vlissingen.

Allereerst is een test uitgevoerd om de correlatie tussen de variabelen te testen. In tabel 1 is het resultaat van deze test weergegeven.

PEARSON CORRELATION MATRIX
NUMBER OF OBSERVATIONS: 316

	LWVLISS	HWVLISS	HWBATH	RIJSSNEL	WINDSNEL
LWVLISS	1.000				
HWVLISS	0.310	1.000			
HWBATH	0.209	0.917	1.000		
RIJSSNEL	-0.872	0.008	0.097	1.000	
WINDSNEL	0.186	0.410	0.571	-0.051	1.000

tabel 1 : correlatie matrix

Uit deze tabel valt af te lezen dat het hoogwater in Vlissingen sterk gecorreleerd is met het hoogwater in Bath. Een correlatie van 1 wil zeggen dat beide variabelen volledig gecorreleerd zijn. Vanwege deze sterke correlatie, mag verwacht worden dat de hoogwaterstand bij Bath voor een groot gedeelte verklaard kan worden uit de hoogwaterstand bij Vlissingen.

Het laagwater in Vlissingen en de rijssnelheid vertonen ook een sterke correlatie zodat die twee variabelen niet verder in het zelfde model gebruikt zullen worden.

In eerste instantie zullen twee modelhypothesen worden getoetst.

Model 1 : Het hoogwater in Bath wordt bepaald door 1 of meer van de volgende variabelen : hoogwater in Vlissingen, windsnelheid en rijssnelheid.

Model 2 : Het hoogwater in Bath wordt bepaald door 1 of meer van de volgende variabelen : hoogwater in Vlissingen, windsnelheid en laagwaterstand in Vlissingen.

Na de toetsing zijn de residuen geanalyseerd om te controleren of het gerechtvaardigd was om meervoudige regressie analyse toe te passen. De resultaten van de verschillende analyses zijn in het volgende hoofdstuk weergegeven.

3. Resultaten van statistische analyse

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van verschillende analyses worden getoond en geanalyseerd.

De relaties die uit de studie van Bollebakker et. al. (1987) volgen gelden voor Prosper terwijl in deze studie een relatie voor Bath wordt gezocht. Het is dus niet zinvol om de relatie van Bollebakker toe te passen op de hier gebruikte dataset. In Bijlage 2 zijn de resultaten grafisch uitgezet.

3.1 Totale dataset

Model 1 : De hoogwaterstand in Bath is een functie van één of meer van de volgende variabelen : hoogwaterstand Vlissingen, windsnelheid en rijssnelheid.

In tabel 2 worden de resultaten van de verschillende analyses gegeven. In de eerste kolom staat de relatie, in de tweede kolom staat de correlatiecoëfficiënt (R^2) en in de laatste kolom staat de standaard deviatie van het residu weergegeven.

Voor alle volgende tabellen geldt :

HW_B	= Hoogwater Bath	[cm]
HW_V	= Hoogwater Vlissingen	[cm]
LW_V	= Laagwater Vlissingen	[cm]
V_{rij}	= Rijssnelheid getij bij Vlissingen	[cm/min]
V_{wind}	= Windsnelheid bij Vlissingen	[dm/s]
R^2	= Correlatiecoëfficiënt	[-]
SD	= Standaard deviatie van het residu	[cm]

relatie	R^2	SD
$HW_B = 9,34 + 1,21 \cdot HW_V$	0,84	12,8
$HW_B = 8,5 + 1,21 \cdot HW_V + 12,25 \cdot V_{rij}$	0,85	12,5
$HW_B = 19,54 + 1,08 \cdot HW_V + 0,26 \cdot V_{wind}$	0,89	10,9
$HW_B = 0,6 + 1,08 \cdot HW_V + 17 \cdot V_{rij} + 0,27 \cdot V_{wind}$	0,90	10,4

tabel 2 : model 1

Uit de tabel volgt dat 84% van de variantie van het hoogwater bij Bath verklaart wordt uit het hoogwater bij Vlissingen. De standaardafwijking van het residu is 12,8 cm. Door de rijssnelheid in de vergelijking te betrekken wordt de relatie beter maar niet significant. Het meenemen van de windsnelheid in de vergelijking levert een significante verbetering op. De relatie waarin zowel de windsnelheid als de rijssnelheid wordt meegenomen levert geen significante verbetering op van de resultaten, waaruit geconcludeerd kan worden dat bij het toepassen van de hele dataset de variantie in de hoogwaterstand bij Bath voor 89% verklaart wordt uit de hoogwaterstand bij Vlissingen en de windsnelheid.

Model 2 : De hoogwaterstand in Bath is een functie van een of meer van de volgende variabelen : hoogwaterstand Vlissingen, windsnelheid en laagwater Vlissingen.

Voor dit model is een soortgelijke analyse gedaan, waarvan de resultaten in tabel 3 zijn weergegeven.

relatie	R ²	SD
$HW_B = -6,88 + 1,24 \cdot HW_V - 0,045 \cdot LW_V$	0,85	12,6
$HW_B = 0,57 + 1,12 \cdot HW_V - 0,054 \cdot LW_V + 0,27 \cdot V_{wind}$	0,89	10,5

tabel 3 : model 2

Vergelijking van de resultaten uit model 1 en model 2 laat zien dat het toepassen van het laagwater in Vlissingen geen verbetering van het model geeft. Op grond hiervan wordt bij de volgende analyses alleen de rijsnelheid meegenomen.

Met de dataset gebruikt door Bollebakker (1971-1986) kan een beter passende relatie worden verkregen dan met de hier gebruikte dataset (1943-1995). In de studie van Bollebakker wordt voor de hoogwaterstand in Prosper een relatie gevonden waarin de variabelen hoogwater Vlissingen, windsnelheid en rijsnelheid/laagwaterstand Vlissingen voorkomen, met $R^2 = 0,94$ en $SD = 7,4$ cm.

Invloed van de windsnelheid

Om tot een beter passende relatie te komen zijn verdere analyses op de wind uitgevoerd. De wind zorgt voor een opzet van het waterniveau. De windopzet is onder meer afhankelijk van de strijklengte van de wind en van de windsnelheid in het kwadraat. Het meenemen van de windsnelheid in het kwadraat levert nauwelijks een verbetering op van de resultaten.

Het ontbinden van de wind in de richting Vlissingen-Bath levert eveneens geen verbetering op van het resultaat. Als laatste mogelijkheid om de wind beter mee te nemen, is een ander selectie criterium voor de windrichting genomen. De windgegevens zijn geselecteerd op de windrichtingen uit de richting 231°-321° omdat de richting Vlissingen-Bath hier middenin ligt. Ook dit leverde geen verbetering van het resultaat op.

Conclusie

Er is een redelijk goede relatie te vinden die het verband weergeeft tussen enerzijds de hoogwaterstand in Bath en anderzijds de hoogwaterstand in Vlissingen, de rijsnelheid en de windsnelheid. De relatie verklaart het hoogwater in Bath niet volledig, waaruit te concluderen is dat de hoogwaterstand bij Bath van meerdere factoren afhankelijk is. In de volgende paragraaf zal getest worden of de verschillende ingrepen, die de geometrie van de Westerschelde veranderd hebben, een invloed hebben op de relatie.

3.2 Dataset opdelen in representatieve perioden

In het Westerschelde-estuarium is een aantal ingrepen gepleegd die de geometrie van het estuarium sterk hebben gewijzigd. In deze paragraaf zal onderzocht worden of die ingrepen van invloed zijn op de relatie. Eerst wordt dezelfde periode genomen als door Bollebakker gebruikt is om de resultaten van die studie met deze studie te vergelijken. Dit is de periode : 1971-1986

Vervolgens wordt de dataset opgedeeld in perioden naar inpoldering en tenslotte wordt een opdeling volgens vaargeulverdieping toegepast.

De gekozen perioden met betrekking tot inpoldering zijn :

- 1943-1959
- 1960-1980
- 1981-1995

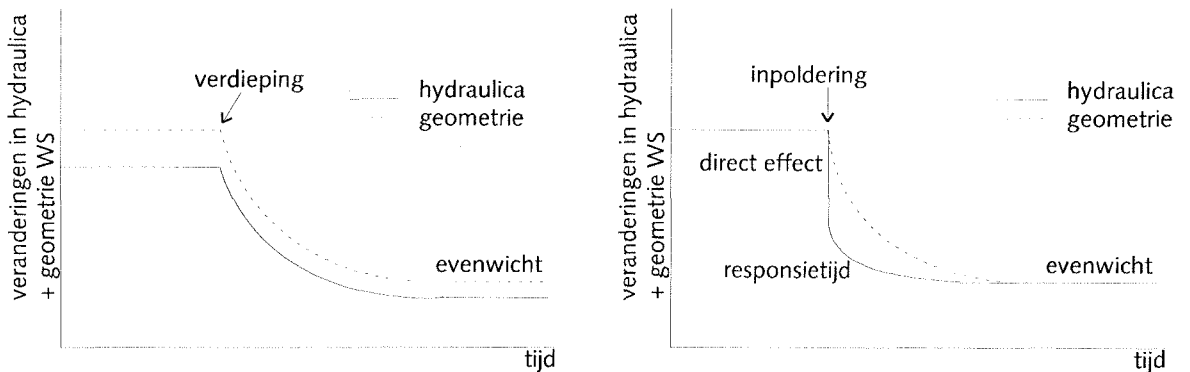
Van 1970-1975 heeft een vaargeulverdieping plaats gevonden. Omdat de ingreep 5 jaar heeft geduurd zijn twee indelingen gebruikt, één waarbij de hele baggertijd in de tweede periode wordt betrokken en één waarbij de hele baggertijd in de eerste periode wordt betrokken. Dit levert de volgende perioden :

- 1943-1969
- 1970-1995
- 1943-1975
- 1976-1995

Uit figuur 1 is de verandering van de geometrie als gevolg van baggeren en inpolderen af te lezen. Bij baggeren wordt gedurende een langere periode ingegrepen in de geometrie. De veranderingen die in de waterbeweging plaatsvinden volgen de geometrische veranderingen, maar zijn van een andere orde grote.

Als gevolg van een inpoldering wordt de waterstand direct beïnvloed. De geometrische aanpassingen in de Westerschelde volgen hierop in een langzamer tempo. De geometrische aanpassingen beïnvloeden de waterbeweging weer, maar die is veel minder groot.

Gedurende perioden dat de omstandigheden van hydraulica en geometrie nagenoeg constant zijn, zal een betere relatie tussen die grootheden worden gevonden dan in perioden waarin over de tijd verspreid, grote geometrische aanpassingen plaatsvinden. Op basis hiervan wordt verwacht dat opdeling naar perioden van inpoldering betere resultaten zal geven dan opdeling naar baggerinspanning.



figuur 1 : invloed van verdieping en inpoldering op de geometrie van de Westerschelde

Periode 1971-1986

Deze periode is gelijk aan de periode die in Bollebakker et. al. (1987) gebruikt is. In tabel 4 staan de resultaten van deze analyse weergegeven.

Relatie	R ²	SD
$HW_B = 20 + 1,18 \cdot HW_V$	0,86	10,3
$HW_B = 14 + 1,17 \cdot HW_V + 6,38 \cdot V_{rijs}$	0,86	10,3
$HW_B = 26 + 1,06 \cdot HW_V + 0,26 \cdot V_{wind}$	0,93	7,3
$HW_B = 20 + 1,05 \cdot HW_V + 6,36 \cdot V_{rijs} + 0,26 \cdot V_{wind}$	0,93	7,3

tabel 4 : periode 1971 - 1986

Uit de tabel valt af te lezen dat de resultaten voor deze korte periode veel beter zijn dan voor de totale periode. Het meenemen van de rijsnelheid in de relatie tussen het

hoogwater in Bath en in Vlissingen levert nauwelijks een verbetering op. Het meenemen van de windsnelheid daarentegen levert een aanzienlijke verbetering op van de relatie. Voor de periode 1971 - 1986 kan het hoogwater in Bath het beste worden beschreven door een relatie waarin het hoogwater in Vlissingen en de windsnelheid worden meegenomen. De relatie verklaart 93% van de variantie van het hoogwater in Bath en het residu heeft een standaard afwijking van 7,3 cm.

Een vergelijking van de resultaten met de uitkomsten uit de studie van Bollebakker levert nagenoeg dezelfde waarden voor de variantie en de standaardafwijking van het residu.

Inpolderingen : periode 1943-1959, 1960-1980 en 1981-1995

Als eerste zal de indeling op basis van inpoldering worden bekeken. In tabel 5 staan de resultaten van deze analyse. Hierna zal een indeling naar verdiepingen geanalyseerd worden.

Bij alle analyses bleek dat het toevoegen van de windsnelheid in de relatie een significante verbetering oplevert, terwijl dit niet het geval is bij de rijssnelheid. Soms was het toevoegen van een combinatie van wind en rijssnelheid in de relatie beter dan alleen toevoegen van de windsnelheid. In tabel 5 zijn de relaties weergegeven waarin het hoogwater van Bath afhankelijk is van het hoogwater in Vlissingen, de windsnelheid (en de rijssnelheid).

Periode	relatie	R ²	SD
1943 - 1959	$HW_B = 13,65 + 1,09 \cdot HW_V + 0,22 \cdot V_{wind}$	0,93	10,2
	$HW_B = -1,12 + 1,08 \cdot HW_V + 0,23 \cdot V_{wind} + 10,56 \cdot V_{rijs}$	0,93	10,1
1960 - 1980	$HW_B = 39,06 + 1,02 \cdot HW_V + 0,24 \cdot V_{wind}$	0,91	8,4
	$HW_B = 30,80 + 1,01 \cdot HW_V + 0,25 \cdot V_{wind} + 6,89 \cdot V_{rijs}$	0,92	8,3
1981 - 1995	$HW_B = 11,42 + 1,22 \cdot HW_V + 0,27 \cdot V_{wind}$	0,91	9,5
	$HW_B = -14,26 + 1,11 \cdot HW_V + 0,27 \cdot V_{wind} + 24,23 \cdot V_{rijs}$	0,94	8,2

tabel 5 : perioden ingedeeld op basis van inpoldering

Het opdelen in perioden levert betere resultaten dan dat de hele periode in een keer wordt geanalyseerd waaruit inderdaad geconcludeerd kan worden dat de geometrie van invloed is op de ontwikkeling van het getij. Bij de eerste periode levert het meenemen van de rijssnelheid geen verbetering op, bij de tweede periode levert het wel een verbetering op, maar die is niet significant. Bij de derde periode levert het meenemen van de rijssnelheid wel een significante verbetering op. Wat daar de oorzaak van is, is niet duidelijk.

De variantie van de hoogwaterstand bij Bath wordt voor 93-94% verklaart uit het hoogwater bij Vlissingen, de windsnelheid en de rijssnelheid. De standaard afwijking van het residu ligt tussen 10,1 cm en 8,22 cm. Om deze resultaten te verkrijgen moet de dataset worden opgesplitst in perioden met ongeveer constante geometrie.

Baggerwerkzaamheden : periode 1943-1969, 1970-1995, 1943-1975 en 1976-1995

Hieronder zullen de resultaten worden beschreven die volgen uit een analyse nadat de dataset is opgedeeld in perioden naar baggerwerkzaamheden, zie begin deze paragraaf voor uitleg gekozen periode.

periode	relatie	R ²	SD
1943 - 1969	$HW_B = 21,41 + 1,06 \cdot HW_V + 0,24 \cdot V_{wind}$	0,91	9,7
	$HW_B = 10,50 + 1,06 \cdot HW_V + 0,25 \cdot V_{wind} + 8,54 \cdot V_{rijs}$	0,91	9,7
1970 - 1995	$HW_B = 20,64 + 1,09 \cdot HW_V + 0,27 \cdot V_{wind}$	0,91	9,6
	$HW_B = 0,013 + 1,08 \cdot HW_V + 0,26 \cdot V_{wind} + 19,14 \cdot V_{rijs}$	0,92	8,9
1943 - 1975	$HW_B = 24,78 + 1,06 \cdot HW_V + 0,23 \cdot V_{wind}$	0,90	9,8
	$HW_B = 13,36 + 1,06 \cdot HW_V + 0,24 \cdot V_{wind} + 8,63 \cdot V_{rijs}$	0,90	9,7
1976 - 1995	$HW_B = 18,96 + 1,10 \cdot HW_V + 0,26 \cdot V_{wind}$	0,91	9,8
	$HW_B = -1,82 + 1,08 \cdot HW_V + 0,26 \cdot V_{wind} + 20,45 \cdot V_{rijs}$	0,92	9,0

tabel 5 : perioden ingedeeld op basis van vaargeulverdieping

De variantie in het hoogwater bij Bath wordt voor 91% verklaart uit de hoogwaterstand bij Vlissingen en de windsnelheid. Het meenemen van de rijssnelheid levert geen significante verbetering op van de relatie. De standaard afwijking van het residu varieert tussen 8,9 cm en 9,7 cm afhankelijk van de periode.

Het opdelen naar vaarwegverdieping levert mindere resultaten dan het opdelen naar inpolderingen. Dit is te verklaren door het eerder genoemde reden dat vaarwegverdieping gedurende langere tijd geometrische veranderingen veroorzaakt, terwijl inpoldering een snelle reactie veroorzaakt. De perioden opgedeeld naar vaarwegverdieping hebben een minder constante geometrie en waterbeweging dan de perioden waarin de inpoldering als bepalende factor gebruikt is.

3.3 Dataset opdelen in perioden van 5 jaar.

In deze paragraaf wordt de dataset opgedeeld in perioden van 5 jaar om te onderzoeken of er ergens een duidelijke trendbreuk optreedt in de relatie. In tabel 6 worden alleen de waarden voor R² en voor de standaardafwijking van het residu gepresenteerd omdat daaruit kan worden geconcludeerd of de relaties beter dan wel minder voldoen.

Periode (aantal cases)	HW _B =f(...)	R ²	SD
1943 - 1945 (6)	HW _V	0,87	16,8
	HW _V + V _{wind}	0,98	6,1
	HW _V + V _{wind} + V _{rijs}	0,99	6,4
1945 - 1950 (7)	HW _V	0,97	7,6
	HW _V + V _{wind}	0,97	7,8
	HW _V + V _{wind} + V _{rijs}	0,97	8,9
1950 - 1955 (16)	HW _V	0,94	13,4
	HW _V + V _{wind}	0,96	11,6
	HW _V + V _{wind} + V _{rijs}	0,97	10,2
1955 - 1960 (32)	HW _V	0,77	9,0
	HW _V + V _{wind}	0,83	8,0
	HW _V + V _{wind} + V _{rijs}	0,83	8,0
1960 - 1965 (19)	HW _V	0,80	11,9
	HW _V + V _{wind}	0,89	9,2
	HW _V + V _{wind} + V _{rijs}	0,89	9,3
1965 - 1970 (28)	HW _V	0,91	8,2
	HW _V + V _{wind}	0,94	6,6
	HW _V + V _{wind} + V _{rijs}	0,94	6,6

1970 - 1975 (30)	HW_v	0,87	9,2
	$HW_v + V_{wind}$	0,91	7,9
	$HW_v + V_{wind} + V_{rijs}$	0,92	7,9
1975 - 1980 (33)	HW_v	0,90	10,9
	$HW_v + V_{wind}$	0,95	8,2
	$HW_v + V_{wind} + V_{rijs}$	0,95	8,1
1980 - 1985 (53)	HW_v	0,87	8,3
	$HW_v + V_{wind}$	0,95	5,1
	$HW_v + V_{wind} + V_{rijs}$	0,95	5,1
1985 - 1990 (26)	HW_v	0,79	12,0
	$HW_v + V_{wind}$	0,84	10,7
	$HW_v + V_{wind} + V_{rijs}$	0,92	7,9
1990 - 1995 (66)	HW_v	0,87	13,5
	$HW_v + V_{wind}$	0,93	10,1
	$HW_v + V_{wind} + V_{rijs}$	0,95	8,2

tabel 6 : opdelen in perioden van 5 jaar

Bij de interpretatie van deze resultaten moet er rekening me worden gehouden dat in de periode 1980-1985 en 1990-1995 veel meer stormvloedstanden zijn opgetreden dan in de andere perioden. Wat hiervan de oorzaak is, is niet bekend. In de periode 1945-1950 zijn veel minder stormvloedstanden geregistreerd. Het meenemen van de windsnelheid levert voor deze periode nauwelijks verbetering van de relatie op.

Over het algemeen geven de relaties voor kortere perioden betere resultaten dan de relaties voor langere perioden. De relaties voor de perioden 1955-1960, 1960-1965, 1970-1975 en 1985-1990 voldoen echter minder goed dan de relaties voor de overige perioden. De oorzaak kan zijn dat in sommige perioden is ingepolderd (1955-1960) of dat de gevolgen van inpoldering een periode er na nog doorwerken (1965-1970). De periode 1970-1975 levert waarschijnlijk een slechte relatie als gevolg van de vaargeulverdieping die in die periode heeft plaats gevonden. Gedurende die periode veranderde de geometrie van het bekken voortdurend.

Het meenemen van de rijssnelheid levert over het algemeen geen significante verbetering op van de relatie.

Onderzoek naar trendbreuken in de ontwikkeling van de coëfficiënten van de verschillende relaties, R^2 en standaarddeviatie in de loop van de tijd leverde geen bruikbare resultaten op.

4. Conclusies en aanbevelingen

Er is een duidelijk verband tussen de hoogwaterstand in Bath en in Vlissingen. De opgetreden windsnelheid heeft een grote invloed op de ontwikkeling van het getij. De rijssnelheid van het getij in Vlissingen heeft nauwelijks tot geen invloed op de hoogwaterstand in Bath.

Bij analyse van de volledige dataset blijkt dat er een duidelijke relatie is tussen het hoogwater in Bath enerzijds en het hoogwater in Vlissingen en de windsnelheid anderzijds. De relatie verklaart ongeveer 90% van de variantie van de hoogwaterstand bij Bath.

Als de dataset wordt opgedeeld in korte perioden wordt een beter resultaat verkregen. Het opdelen in perioden naar inpoldering levert betere resultaten op dan het opdelen naar perioden van vaargeulverdieping. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de snellere morfologische reactie tijd van inpolderingen dan van vaargeulverdieping.

Als de dataset wordt opgedeeld in perioden van 5 jaar worden de resultaten nog beter. Enkele perioden geven een iets minder resultaat, waarschijnlijk vanwege de ingrepen die gedurende die periode zijn gepleegd waardoor de geometrie niet constant is.

Behalve de wind en getijkarakteristieken in Vlissingen is de geometrie van invloed op de relatie tussen het getij in Bath en in Vlissingen. In vervolgstudies moet die invloed zeker worden meegenomen.

5. Literatuurlijst

Bollebakker, P., H. de Jong, Sj v.d. Kamer, 1987.

Een analyse van de stromvloedstanden bij Antwerpen (Prosperpolder), opgetreden in de periode 1971-1986. Nota GWWS-87-407. Dienst Getijdewateren. Rijkswaterstaat.

Wilkinson, Leland.

SYSTAT: The System for Statistics. Evanston, IL: SYSTAT, Inc. 1988.

Bijlage 1 : Waterstand- en windgegevens

datum HW (jjjmmdd)	LW Vlissingen (cm)	HW Vlissingen (cm)	HW Bath (cm)	stijgsnelheid (cm/min)	windrichting (°)	windsnelheid (dm/s)
19430207	-218	287	351	1.44	360	71
19430406	-123	320	385	1.21	270	85
19430406	-123	320	385	1.21	270	102
19430407	-227	320	425	1.33	338	203
19431230	-174	292	345	1.24	293	72
19440126	-138	358	445	1.22	293	116
19440313	-160	290	358	1.22	293	86
19460209	-122	296	370	1.15	360	78
19460220	-82	322	402	1.09	315	92
19460220	-82	322	402	1.09	338	100
19471126	-38	296	363	0.84	270	116
19480708	-144	287	365	1.06	293	134
19490301	-35	382	460	1.06	338	134
19490315	-194	290	348	1.34	315	72
19491026	-138	334	410	1.10	293	145
19500403	-169	287	344	1.27	315	97
19501113	-157	297	357	1.28	270	124
19510324	-157	295	375	1.29	320	87
19511129	-98	327	373	1.06	330	82
19511129	-98	327	373	1.06	320	72
19520127	-186	284	351	1.32	300	77
19521107	-112	289	372	1.00	360	154
19530131	-166	315	404	1.22	290	170
19530201	24	455	560	1.06	310	201
19530201	45	364	422	0.86	330	149
19540116	-61	285	353	0.87	270	129
19540305	-184	294	367	1.33	310	108
19540929	-142	295	351	1.17	310	103
19541109	-119	286	345	1.08	300	113
19541109	-119	286	345	1.08	300	93
19541222	90	295	352	0.57	280	108
19541223	-91	356	440	1.12	290	185
19541224	50	306	373	0.67	300	154
19551006	-143	314	390	1.32	280	144
19551007	-77	294	360	1.00	280	139
19551017	-135	290	342	1.15	270	72
19551231	-216	294	363	1.46	300	72
19560118	-153	299	361	1.12	290	93
19561005	-154	280	335	1.19	290	113
19561005	-154	280	335	1.19	290	108
19561006	-144	307	356	1.24	350	72
19570214	-166	298	365	1.31	270	108
19570826	-132	289	348	1.17	270	93
19570826	-132	289	348	1.17	290	93
19570912	-175	290	360	1.31	280	165
19571022	-143	285	334	1.14	310	93
19571209	-106	307	358	1.20	300	87
19580107	-74	310	377	1.11	290	118
19580110	-46	308	368	0.96	280	108
19580111	-160	314	383	1.26	300	134
19580119	-77	305	369	1.11	290	98
19580205	-175	300	374	1.38	270	118
19580306	-173	308	377	1.37	300	103
19580307	-156	295	358	1.20	290	82
19581014	-209	300	351	1.41	280	77
19581014	-172	289	333	1.28	270	77
19581015	-156	314	364	1.27	280	118
19581016	-178	301	353	1.33	300	144

datum HW (jjjjmmdd)	LW Vlissingen (cm)	HW Vlissingen (cm)	HW Bath (cm)	stijgsnelheid (cm/min)	windrichting (°)	windsnelheid (dm/s)
19581016	-101	344	409	1.19	310	139
19581017	-112	323	376	1.18	340	118
19581017	-128	286	327	1.12	360	72
19590109	-158	310	374	1.28	280	129
19590110	-204	293	346	1.40	300	98
19590111	-126	295	346	1.14	310	98
19590111	-170	287	344	1.31	270	118
19590112	-132	342	393	1.28	290	123
19590112	-122	304	368	1.23	320	118
19600129	-170	305	374	1.34	290	87
19600921	-110	327	406	1.12	300	154
19601105	-149	290	339	1.25	270	82
19610321	-109	367	422	1.22	330	108
19620205	-190	301	371	1.38	290	87
19620217	30	310	390	0.76	280	129
19620405	-201	313	392	1.63	290	118
19620406	-169	283	349	1.29	300	82
19620916	-239	290	340	1.56	280	87
19620918	-145	289	338	1.17	290	93
19621115	-126	341	399	1.23	300	108
19621210	-89	294	339	1.06	280	108
19621216	-126	313	395	1.20	280	175
19621216	14	284	337	0.74	310	93
19641023	-122	305	362	1.14	280	93
19641024	-93	319	370	1.16	320	77
19641203	-82	317	377	1.11	290	93
19641204	-31	296	352	0.83	300	87
19641204	-74	310	372	0.98	310	98
19650214	-21	294	352	0.79	330	108
19650418	-167	290	362	1.31	310	87
19651124	-54	324	387	0.99	280	98
19651130	-51	300	394	0.96	280	165
19651210	-74	365	440	1.22	300	93
19651211	-91	292	360	1.02	270	98
19660324	-146	288	359	1.19	290	113
19660324	-132	283	352	1.12	290	87
19660325	-149	296	363	1.29	320	87
19660328	-70	299	372	1.05	300	113
19660915	-135	291	358	1.17	270	149
19661116	-156	304	375	1.28	280	144
19661116	-52	373	448	1.09	310	134
19661116	-52	373	448	1.09	310	134
19661213	-154	300	364	1.30	350	77
19661230	-136	284	363	1.24	270	134
19670224	-37	289	360	0.87	290	113
19670224	-37	289	360	0.87	280	98
19670329	-194	290	360	1.38	280	113
19671005	-158	344	413	1.41	290	93
19680104	-134	321	396	1.23	300	103
19680711	-186	312	400	1.35	330	154
19680924	-180	306	374	1.43	290	113
19680924	-158	294	357	1.26	300	77
19690202	-145	313	400	1.31	290	123
19690203	-29	303	381	0.85	290	98
19690829	-206	304	376	1.44	310	72
19690829	-150	285	350	1.19	350	113
19691110	-38	330	410	0.88	270	159
19691128	-94	297	359	1.04	320	87
19691128	-94	297	359	1.04	330	93
19700209	-170	290	368	1.31	280	108
19700916	-240	289	362	1.53	320	72
19701002	-141	315	389	1.23	280	129

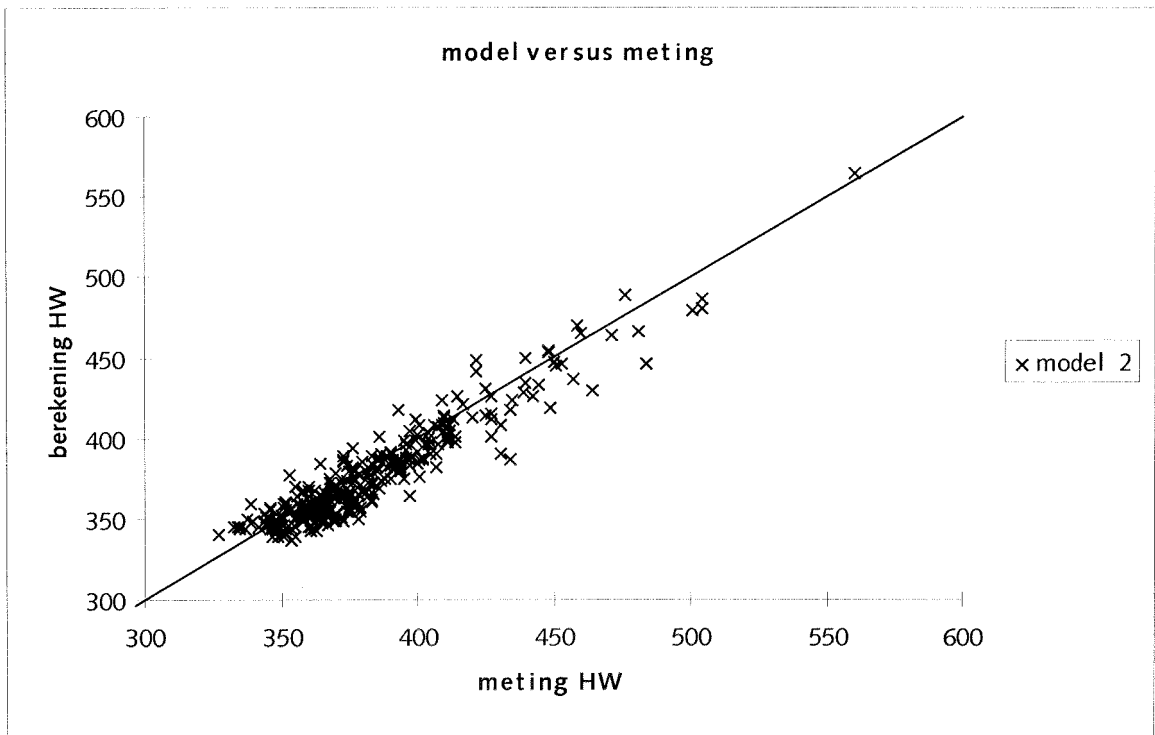
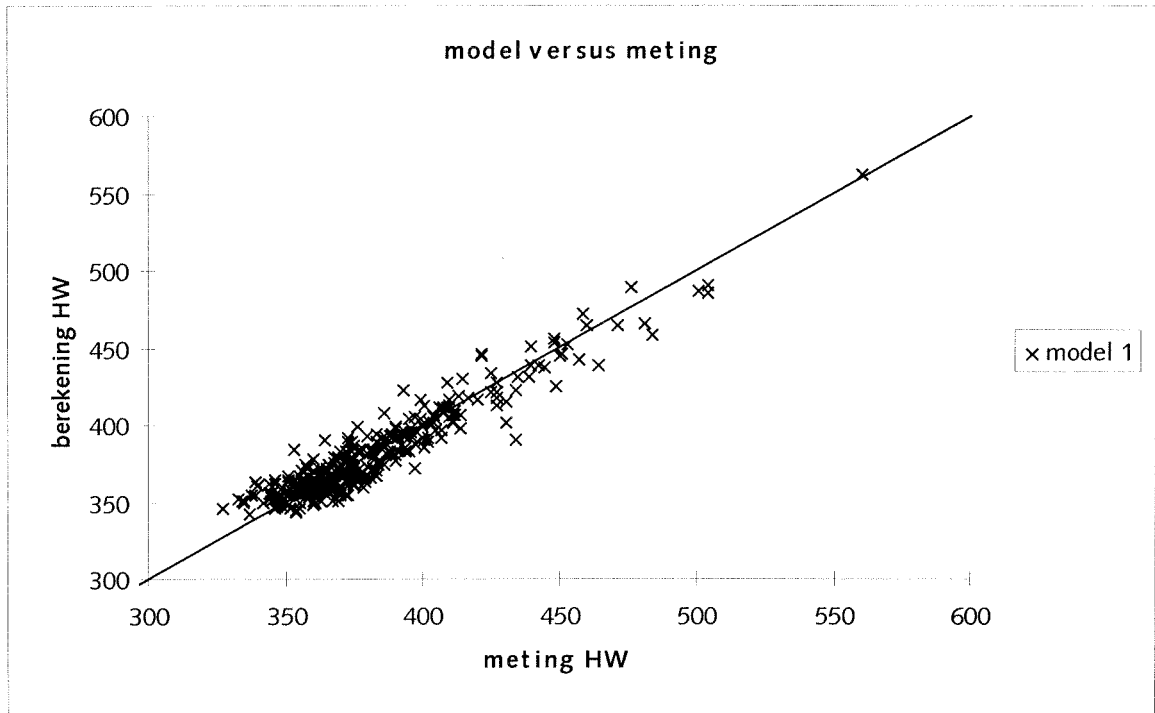
datum HW (jjjjmmdd)	LW Vlissingen (cm)	HW Vlissingen (cm)	HW Bath (cm)	stijgsnelheid (cm/min)	windrichting (°)	windsnelheid (dm/s)
19701003	-71	332	404	1.12	300	113
19701003	-75	319	389	1.08	310	113
19701003	-75	319	389	1.08	310	113
19701019	-93	333	397	0.98	280	113
19701020	-82	297	362	0.96	320	103
19701109	-78	292	363	0.96	310	103
19701115	-180	312	380	1.39	340	129
19711117	-100	299	358	1.03	300	93
19711121	-199	296	370	1.25	300	113
19720415	-212	301	372	1.44	340	129
19720416	-183	284	350	1.32	340	82
19721022	-176	287	348	1.25	320	93
19721123	-185	293	359	1.36	280	108
19721124	-141	298	357	1.18	360	87
19730403	12	335	412	1.00	320	118
19730403	-109	288	356	1.12	330	103
19730407	-202	293	365	1.41	270	113
19731113	-166	320	398	1.30	290	108
19731113	-75	350	425	1.20	280	139
19731115	-147	299	368	1.18	280	98
19731214	-64	355	427	1.06	300	103
19731214	-139	349	457	1.36	310	165
19731215	-37	294	366	0.81	340	103
19740207	-199	301	378	1.41	320	82
19741129	-116	283	367	1.10	300	108
19741211	-126	296	380	1.19	290	129
19741218	-56	310	397	0.95	280	144
19741230	-140	297	375	1.17	320	82
19750128	-104	312	390	1.02	320	93
19751006	-191	287	349	1.31	270	82
19751007	-194	291	351	1.35	350	72
19751117	-90	286	346	0.95	340	87
19751120	-135	320	391	1.27	330	98
19751203	-150	292	357	1.19	330	82
19760103	-28	394	476	1.06	290	175
19760104	26	313	379	0.71	300	72
19760120	-180	335	427	1.46	270	134
19760122	-162	329	403	1.31	280	98
19761123	-170	298	351	1.24	330	82
19761124	-217	289	347	1.42	310	82
19770407	-182	294	355	1.32	300	72
19771001	-100	294	370	1.12	290	149
19771112	-143	313	386	1.27	270	185
19771113	-79	349	415	1.19	280	129
19771113	-122	345	401	1.27	310	77
19771115	-54	373	459	1.18	270	190
19771115	-80	329	409	1.13	280	144
19771116	-120	284	373	1.13	290	113
19771124	-68	291	356	1.04	290	123
19771125	-58	294	361	0.92	310	108
19771125	-96	284	350	1.01	340	123
19771230	-74	315	391	1.03	310	103
19780326	-162	304	393	1.39	280	165
19780524	-206	284	347	1.38	340	93
19780525	-175	285	348	1.30	350	87
19781017	-191	290	361	1.34	290	113
19790102	-232	340	443	1.72	330	165
19790111	-90	284	361	1.02	280	123
19791105	-127	317	388	1.26	300	113
19791106	-150	339	409	1.35	300	87
19791218	-104	297	383	1.09	270	190
19800201	-127	296	364	1.18	340	118

datum HW (jjjjmmdd)	LW Vlissingen (cm)	HW Vlissingen (cm)	HW Bath (cm)	stijgsnelheid (cm/min)	windrichting (°)	windsnelheid (dm/s)
19800419	-152	302	367	1.18	330	82
19800420	-117	339	408	1.20	330	98
19800831	-157	319	390	1.38	290	118
19801024	-184	285	347	1.31	270	72
19801025	-194	322	394	1.46	290	93
19801025	-154	318	378	1.31	330	77
19801206	-117	295	358	0.96	330	82
19810115	-21	294	372	0.82	290	129
19810210	-182	285	369	1.26	300	108
19810322	-192	318	405	1.30	290	149
19810820	-124	291	365	1.11	330	98
19811013	-177	301	382	1.37	280	129
19811013	-91	302	373	1.00	270	98
19811014	-191	297	368	1.42	280	82
19811113	-178	291	358	1.32	280	98
19811114	-161	327	391	1.32	320	72
19811124	-173	303	371	1.33	280	108
19811124	-74	310	392	0.96	280	139
19811125	-31	300	367	0.85	290	108
19811125	-100	283	360	1.01	280	129
19811128	-118	302	374	1.17	280	113
19811128	-112	289	355	1.13	310	77
19811129	-126	286	355	1.12	310	113
19811214	-119	317	394	1.28	280	113
19820311	-169	338	435	1.42	280	165
19820311	-117	323	398	1.29	270	98
19820408	-145	313	385	1.23	330	103
19820821	-199	300	369	1.43	280	123
19821007	-147	290	354	1.20	310	113
19821015	-106	283	359	1.08	280	118
19821117	-79	317	386	1.01	290	118
19830104	-126	283	355	1.22	270	82
19830118	-92	332	410	1.08	290	134
19830130	-193	310	408	1.55	270	180
19830131	-97	328	411	1.20	290	113
19830201	-200	290	382	1.20	270	195
19830202	6	371	450	0.95	310	113
19830326	-152	308	401	1.06	320	154
19830911	-152	292	359	1.21	290	108
19830912	-113	306	381	1.15	280	134
19831006	-196	286	353	1.37	270	129
19831008	-200	289	355	1.39	270	77
19831009	-176	314	387	1.42	310	77
19840104	-13	322	400	0.85	270	149
19840104	-13	287	354	0.86	310	82
19840108	-68	284	352	0.93	290	93
19840207	-55	298	376	0.94	300	103
19840207	-77	287	365	1.09	280	118
19840208	-87	289	367	0.98	320	113
19840303	-83	340	420	1.13	320	118
19840910	-74	296	367	0.99	290	98
19840926	-214	298	366	1.50	290	93
19850412	-76	291	383	0.99	280	170
19851110	-50	314	376	0.98	310	108
19851111	-103	296	363	1.05	280	98
19860112	-161	296	369	1.29	270	113
19860115	-61	327	412	1.03	290	139
19860325	-86	293	369	1.10	280	144
19860330	-191	287	363	1.40	270	134
19861020	-183	341	464	1.48	280	175
19861021	-88	283	358	1.10	270	129
19861102	-159	307	376	0.48	350	103

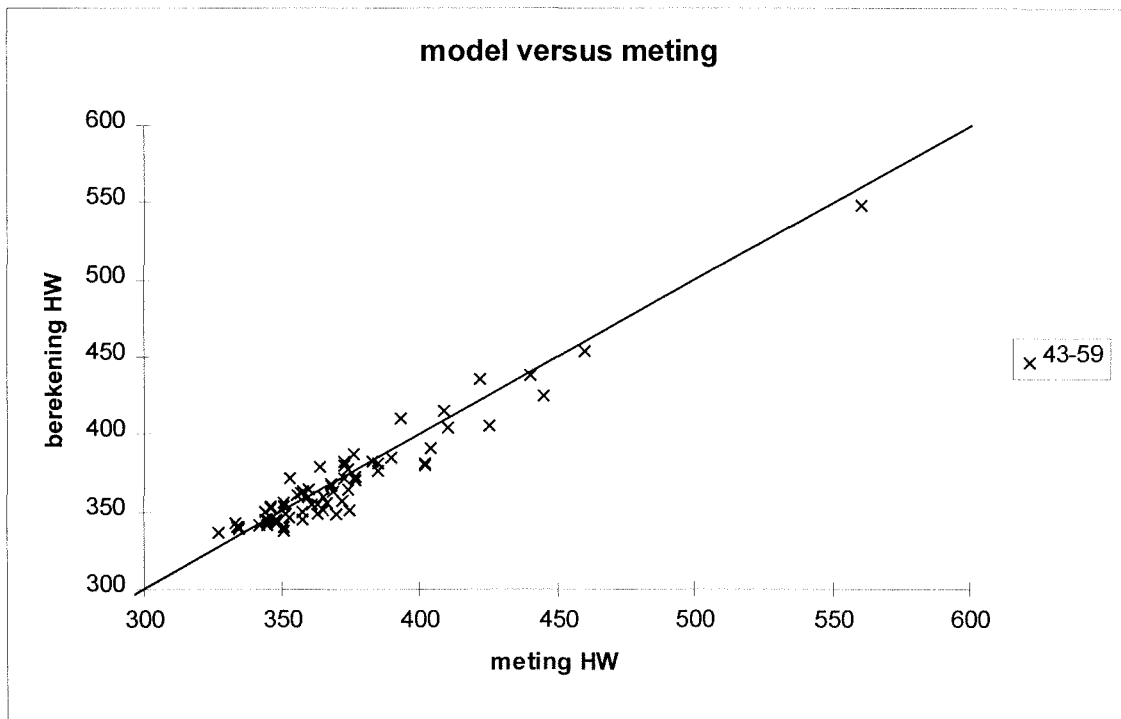
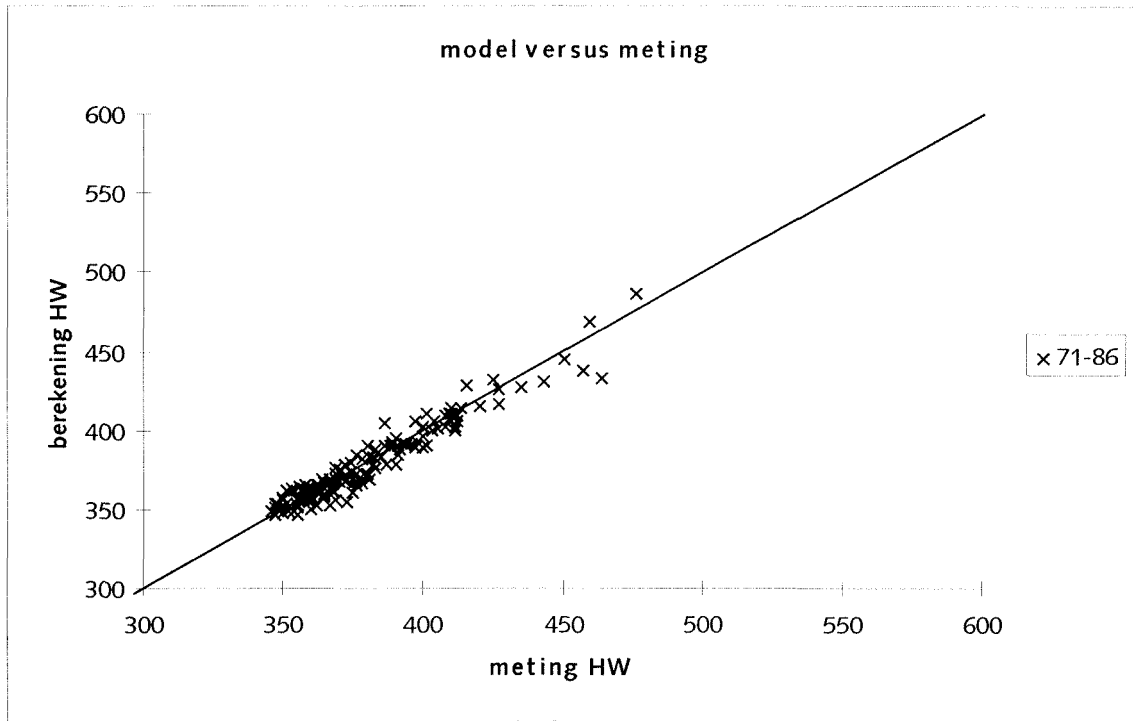
datum HW (jjjjmmdd)	LW Vlissingen (cm)	HW Vlissingen (cm)	HW Bath (cm)	stijgsnelheid (cm/min)	windrichting (°)	windsnelheid (dm/s)
19861216	-47	287	360	0.97	270	87
19861219	-118	314	411	1.15	280	165
19861219	-50	302	373	1.05	290	98
19870302	-267	318	431	1.58	290	123
19870329	-186	302	384	1.36	310	98
19871120	-97	293	372	1.07	310	82
19871121	-97	318	394	1.11	330	93
19871121	-97	318	394	1.11	330	82
19880122	-249	325	427	1.64	340	134
19880208	-124	306	395	1.30	290	118
19880217	-170	300	383	1.27	310	87
19880219	-213	298	379	1.48	340	77
19880223	-161	287	370	1.21	320	98
19880307	-153	297	379	1.25	320	87
19880913	-153	293	370	1.24	290	77
19890214	-110	334	410	1.00	320	108
19890325	-127	298	375	1.21	290	93
19890325	-127	298	375	1.21	280	82
19900203	-170	291	397	1.30	290	139
19900208	-101	300	382	1.10	270	144
19900212	-140	304	388	1.31	270	123
19900213	-105	305	384	1.14	290	113
19900214	-154	307	407	1.26	280	170
19900227	-98	384	504	1.32	270	206
19900227	-98	384	504	1.32	280	185
19900228	-36	370	471	1.11	270	180
19900301	-93	364	453	1.36	320	139
19900301	-180	304	401	1.40	310	129
19900302	-146	328	404	1.26	350	103
19900309	-189	286	378	1.38	280	108
19900325	-135	295	375	1.25	340	118
19900427	-195	284	361	1.33	310	98
19900821	-179	291	367	1.34	320	93
19900907	-136	294	363	1.15	330	113
19900907	-136	294	363	1.15	330	82
19900919	-167	306	382	1.33	300	77
19900920	-119	338	414	1.25	290	82
19900921	-72	322	396	1.04	270	129
19901007	-210	292	367	1.46	290	87
19901007	-93	331	396	1.12	330	77
19901103	-160	300	371	1.24	330	93
19901212	-68	299	356	0.84	320	108
19901212	41	295	355	0.65	340	144
19910417	-153	294	363	1.18	350	82
19911105	-168	298	374	1.31	320	77
19911220	-153	299	375	1.21	290	113
19911220	-20	311	389	0.89	290	123
19911224	-118	319	397	1.21	310	93
19911226	-176	286	361	1.25	280	82
19920415	-196	294	375	1.36	330	129
19921026	-152	314	388	1.37	330	82
19921111	-210	354	484	1.71	290	180
19921112	-126	289	374	1.19	280	129
19921112	-121	293	376	1.17	280	108
19921113	-159	297	370	1.22	310	72
19921126	-157	338	449	1.38	280	144
19930125	-57	318	414	0.97	290	149
19930125	-57	318	414	0.97	290	149
19930125	-79	349	434	1.21	320	98
19930219	-101	314	434	1.11	330	129
19930221	-156	329	411	1.26	320	118
19930221	33	343	417	0.76	340	134

datum HW (jjjjmdd)	LW Vlissingen (cm)	HW Vlissingen (cm)	HW Bath (cm)	stijgsnelheid (cm/min)	windrichting (°)	windsnelheid (dm/s)
19930407	-163	288	363	1.29	290	72
19931114	-183	383	501	1.51	300	185
19931115	-15	372	448	1.02	350	134
19931115	-153	283	354	1.23	360	72
19931216	-146	318	405	1.31	280	123
19940126	-33	287	369	0.88	310	103
19940128	-128	323	431	1.29	290	170
19940128	-10	386	481	1.03	310	123
19940130	-204	321	407	1.43	280	82
19940314	-90	305	378	1.10	280	87
19940317	-124	296	385	1.20	290	139
19940329	-231	285	362	1.47	280	103
19950101	-148	309	386	1.18	340	82
19950101	-93	339	427	1.10	300	129
19950102	-72	371	451	1.08	310	108
19950102	-81	357	439	1.17	360	103
19950110	-68	292	348	0.84	310	77
19950218	-162	291	366	1.28	270	87
19950220	-127	296	375	1.21	270	103
19950319	-190	284	365	1.35	270	108
19950320	-160	320	393	1.34	320	98
19950518	-167	304	383	1.36	320	77
19950828	-159	306	366	1.31	320	87
19950928	-124	332	399	1.26	290	98
19951225	-210	298	377	1.50	290	98

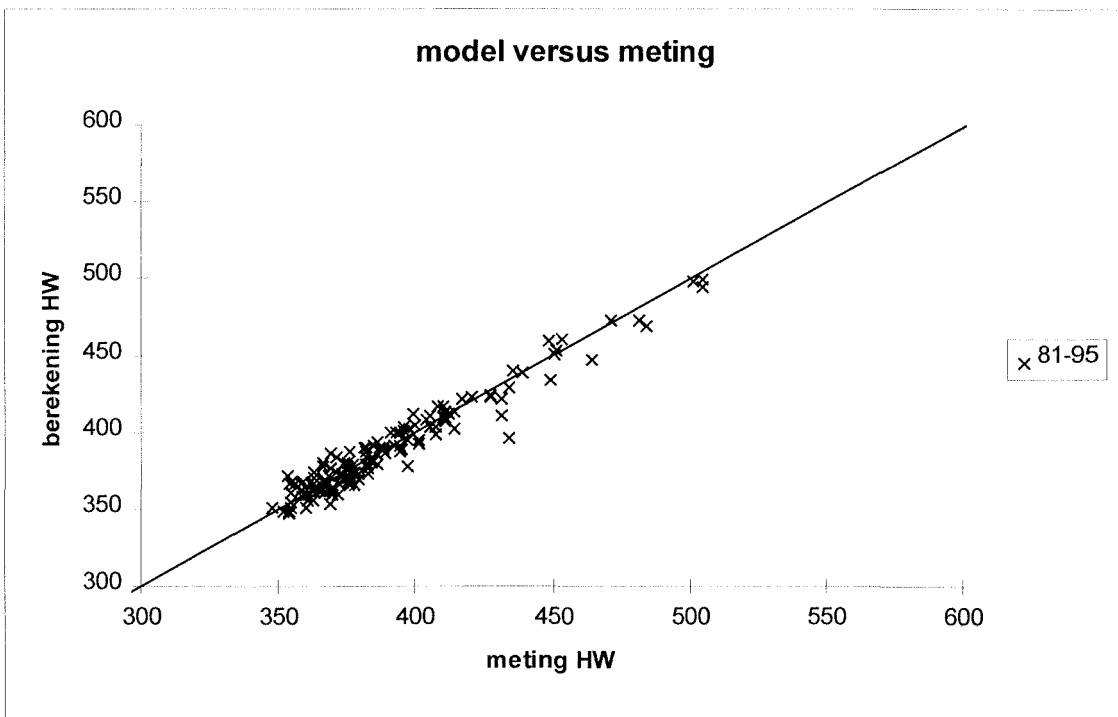
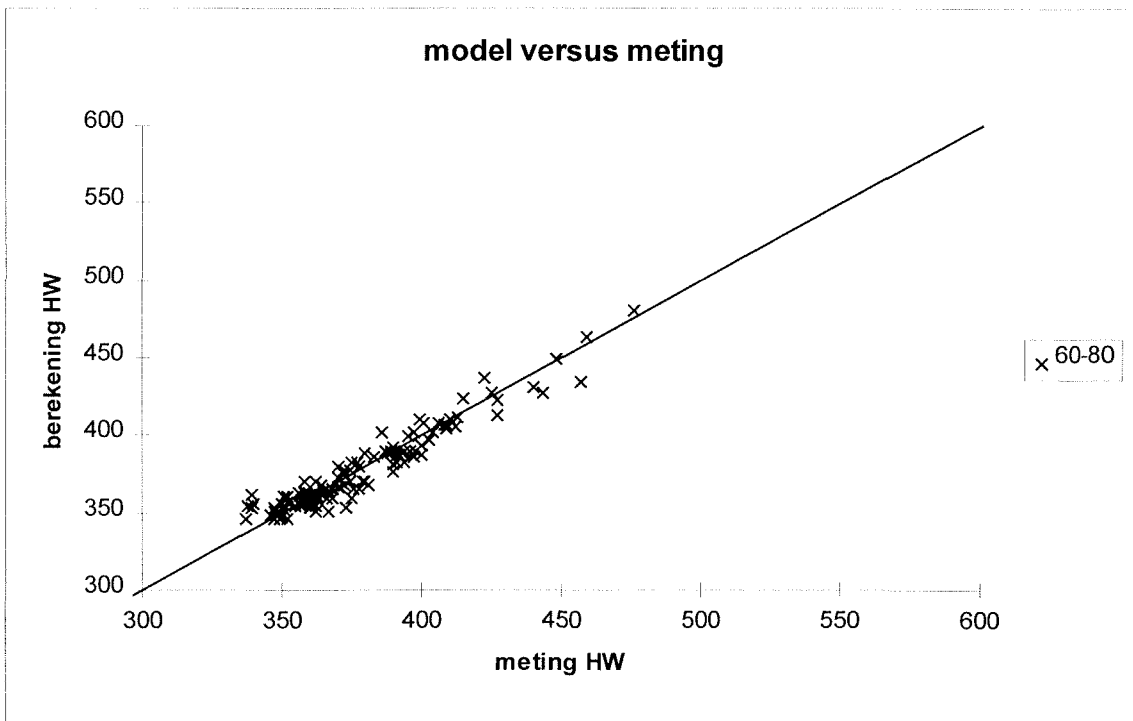
Bijlage 2 : grafische presentatie resultaten statistische analyse



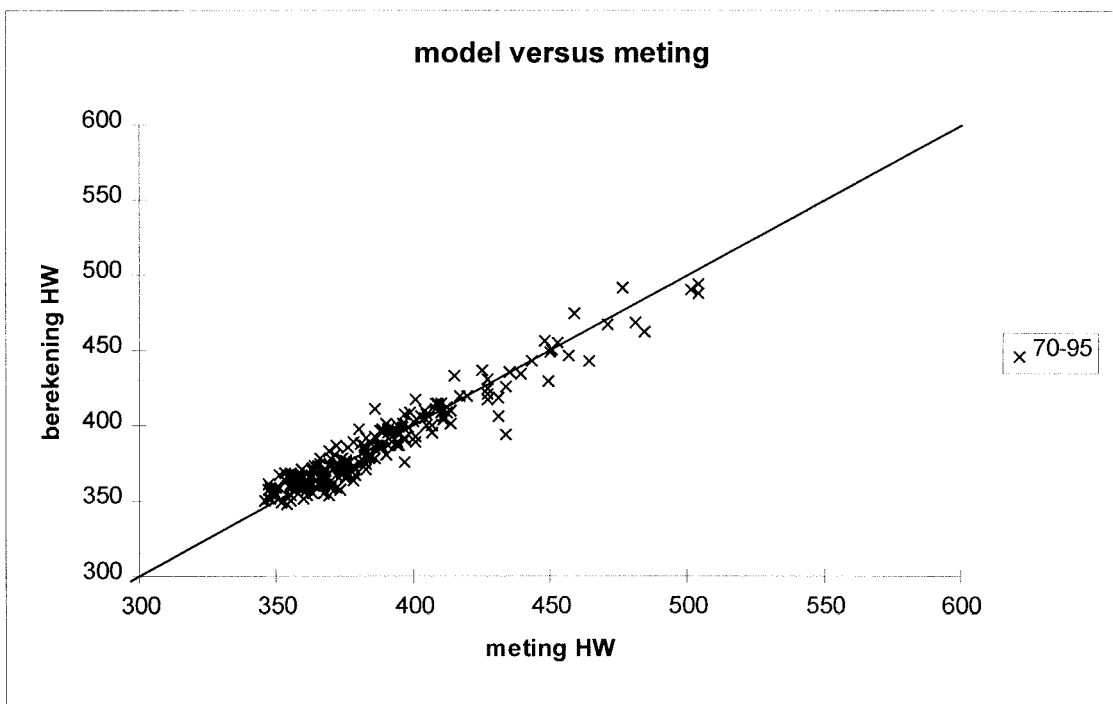
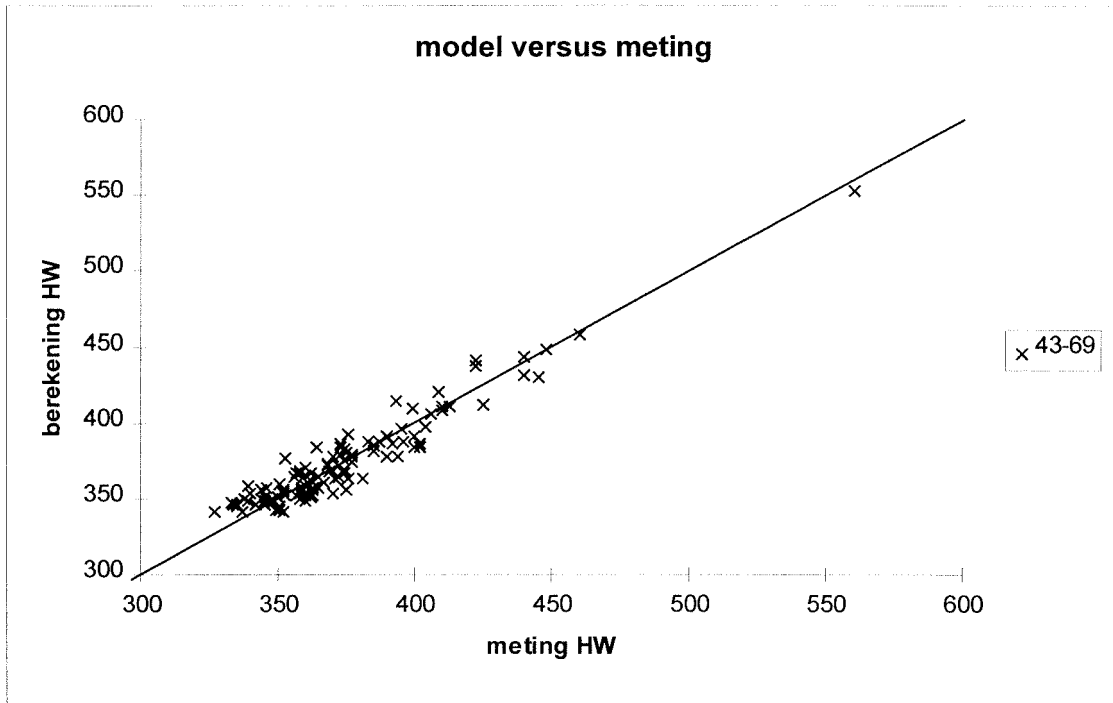
Overzicht van modelresultaten versus de opgetreden hoogwaterstanden van totale periode



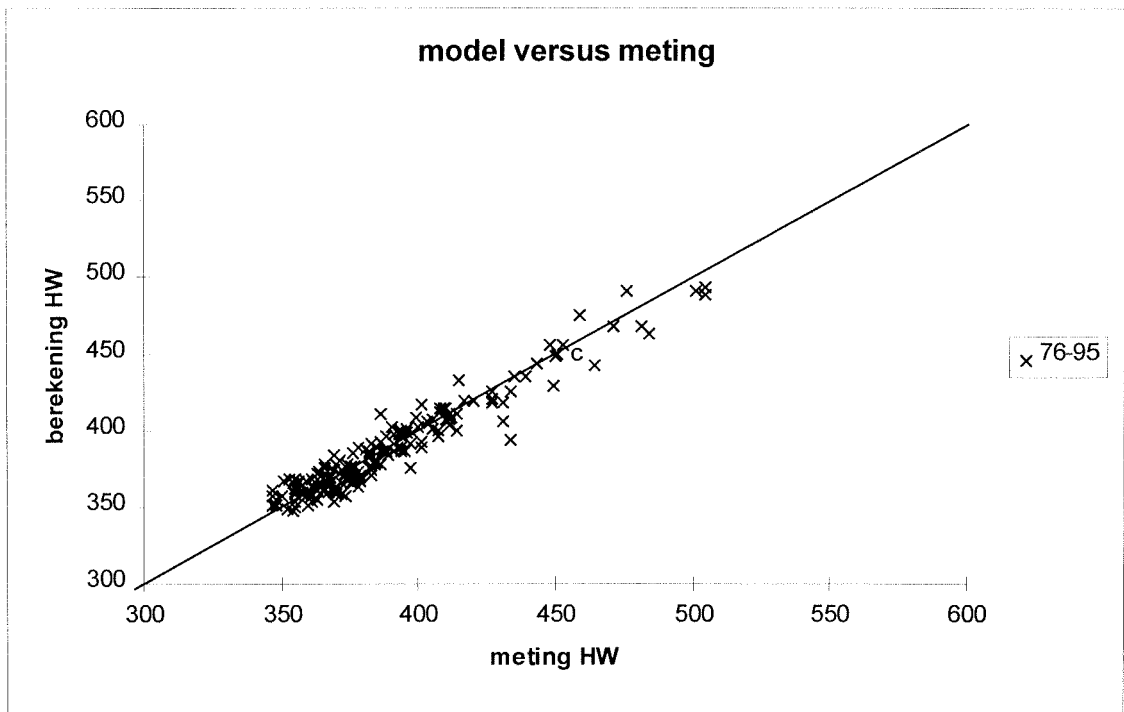
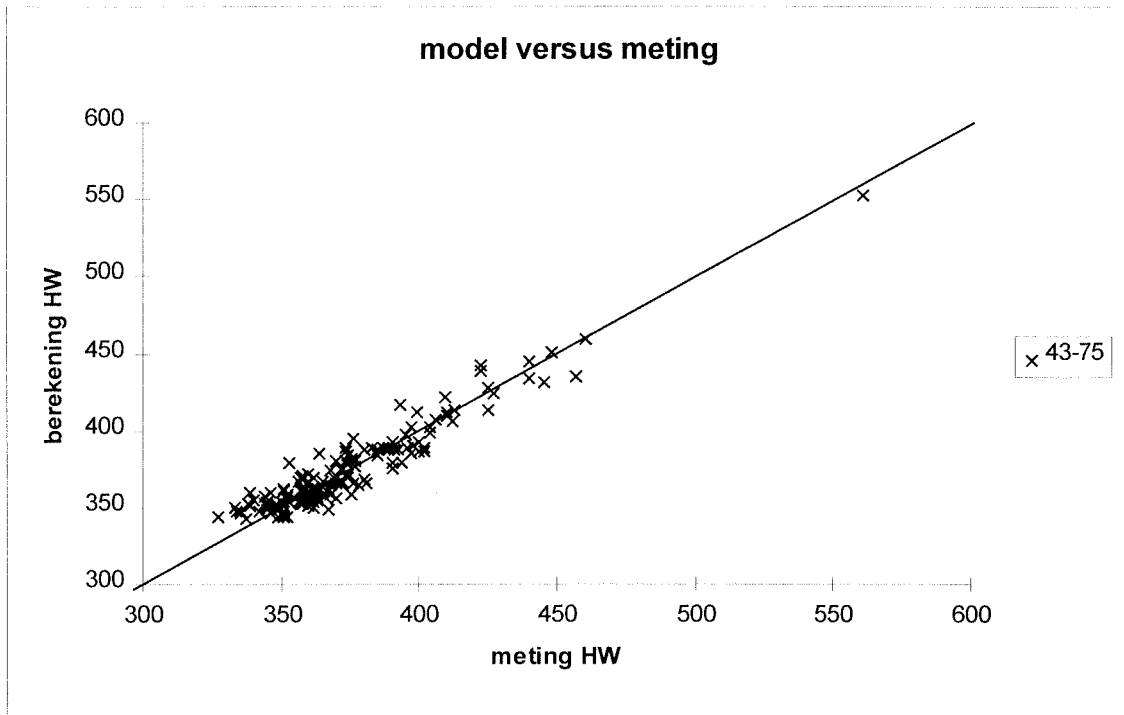
Overzicht van modelresultaten versus de opgetreden hoogwaterstanden van de periode 1971-1986 (Bollebakker) en de periode 1943-1959 (inpoldering)



Overzicht van modelresultaten versus de opgetreden hoogwaterstanden van de periode 1960-1980 en de periode 1981-1995 (beide ingedeeld naar inpoldering)



Overzicht van modelresultaten versus de opgetreden hoogwaterstanden van de periode 1943-1969 en de periode 1970-1995 (de scheiding van de perioden ligt voor aanvang van de vaargeulverdieping 70/75)



Overzicht van modelresultaten versus de opgetreden hoogwaterstanden van de periode 1943-1969 en de periode 1970-1995 (de scheiding van de perioden ligt na afloop van de vaargeulverdieping 70/75)