

BOUW, CALIBRATIE EN VERIFICATIE SCALWEST

T.B.V. PROJECT VERDIEPING

Rapportage Activiteit A

door Maarten Jansen

Ingenieursbureau Svašek bv

Projectnr. 1011

Mei 1997

Voorwoord

In het kader van het project Verdieping is door het ingenieursbureau Svasek B.V. bij het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) een kromlijinig model gemaakt van de Westerschelde gebaseerd op het pakket SIMONA/WAQUA. Met behulp van het door het RIKZ ontwikkelde pakket WAQAD is dit model gecalibreerd en geverifieerd. Dit model kan gebruikt gaan worden als adviesmodel ter ondersteuning van het beheer en beleid ten aanzien van de Westerschelde. Dit rapport is een verslag van de bouw, afregeling en verificatie van dit SCALWEST-model.

Op deze plaats wil ik drs. H. Verbeek, ir. A. Langerak, C. van der Male (allen RIKZ-Middelburg), drs. F. Tank (UU), P. Lievense en L. Dekker (RWS-Zeeland) en alle overige mensen die hebben bijgedragen aan de bouw en afregeling, bedanken voor hun adviezen, commentaar en goede samenwerking.

Middelburg, 10 juni 1997

Inhoudsopgave

Voorwoord	- 1 -
Lijst van Bijlagen	- 3 -
1. Inleiding	- 4 -
2. Aanpak verrichte werkzaamheden	- 6 -
3. Modelbeschrijving SCALWEST-model	- 7 -
3.1 MODELPARAMETERS	- 7 -
3.2 BEGINVOORWAARDEN	- 7 -
3.3 LOKATIES RANDVOORWAARDEN EN WINDGEGEVENS	- 8 -
4. Calibratie	- 9 -
4.1 GEBRUIKTE RANDVOORWAARDEN	- 9 -
4.2 BODEMRUWHEDEN	- 10 -
4.3 RESULTATEN	- 11 -
4.3.1 <i>Waterstanden</i>	- 11 -
4.3.2 <i>Debieten</i>	- 12 -
5. Verificatie	- 14 -
5.1 VERIFICATIE GEMIDDELD GETIJ: 19-21 JULI 1996	- 14 -
5.2 VERIFICATIE AUGUSTUSSTORM: 28-29 AUGUSTUS 1996	- 16 -
5.3 VERIFICATIE OKTOBERSTORM: 28-29 OKTOBER 1996	- 18 -
6. WAQAD afregeling	- 21 -
6.1 THEORIE WAQAD	- 21 -
6.2 RESULTATEN WAQAD	- 22 -
7 Problemen tijdens de afregeling	- 23 -
8 Conclusies en aanbevelingen	- 24 -
Literatuurlijst	- 25 -
Bijlagen	- 26 -

Lijst van Bijlagen

Bijlage I.1 Rooster fijnmazig model	- 26 -
Bijlage I.2 Rooster grofmazig model	- 28 -
Bijlage II.1 Getijcoëfficiënten calibratieperiode	- 29 -
Bijlage II.2 Windgegevens calibratieperiode	- 30 -
Bijlage III Resultaten calibratieperiode voor springtij	- 31 -
Bijlage IV Resultaten calibratieperiode voor doodtij	- 34 -
Bijlage V Ligging van debietraaien voor calibratie	- 37 -
Bijlage VI Debieten calibratie	- 38 -
Bijlage VII Windgegevens tijdens verificatieperiode 20-21 juli	- 41 -
Bijlage VIII Waterstanden op 21 juli	- 42 -
Bijlage IX Windgegevens tijdens verificatieperiode 28-29 augustus, windsnelheid	- 45 -
Bijlage X Waterstanden op 29 augustus	- 47 -
Bijlage XI Windgegevens tijdens verificatieperiode 28-29 oktober	- 50 -
Bijlage XII Waterstanden op 28 en 29 oktober	- 51 -
Bijlage XIII Indeling ruwheidsgebieden voor WAQAD-berekening	- 54 -
Bijlage XIV Resultaten WAQAD-berekeningen	- 55 -

1. Inleiding

Door Rijkswaterstaat directie Zeeland en het RIKZ zijn de afgelopen jaren een aantal numerieke rekenmodellen ontwikkeld, gebaseerd op het programmapakket WAQUA, ter ondersteuning van het beheer van de Westerschelde.

Een deel van deze modellen is ontwikkeld om snel de waterbeweging in de Westerschelde te kunnen berekenen, bijvoorbeeld ter advisering van de scheepvaart of waterschappen. Het SCALDIS400 model (Lievense, 1994) is hiervan een voorbeeld en heeft destijds het E-WESTII-model opgevolgd. Deze modellen hebben een grofmazig rechthoekig rooster met voor de Westerschelde een roosterafstand van 400 meter. Het SCALDIS400-model omvat de Westerschelde vanaf de rand Zeebrugge/Vlakte van de Raan/Westkapelle en de Schelde tot aan Gent.

Een ander deel van de modellen is gebouwd om voor studie en onderzoek te gebruiken. Het SCALDIS100 model (Dekker e.a., 1994) is hiervoor ontwikkeld, als opvolger van het DETWES-model. Het SCALDIS100 model heeft een roosterafstand van 100 meter voor de Westerschelde en omvat hetzelfde gebied als het SCALDIS400-model. De roosters van beide modellen zijn benedenstrooms van Bath rechtlijnig en bovenstrooms van Bath kromlijnig. Bovenstrooms van Rupelmonde zijn alle riviertakken in vereenvoudigde vorm in de modellen opgenomen.

Om een aantal beheersvragen te kunnen beantwoorden heeft de directie Zeeland behoefte aan een adviesmodel waarmee morfologische veranderingen op korte en middenlange termijn bepaald kunnen worden. Hiervoor is een model nodig dat voldoende gedetailleerd is om de effecten van bochtstroming, divergentie en convergentie en verdeling over hoofd- en nevengeulen te kunnen berekenen.

Omdat een model met een kromlijnig rooster dit beter kan berekenen dan een model met een rechtlijnig rooster en omdat de bodemschematisatie van de bestaande modellen verouderd is, is besloten tot de ontwikkeling van een kromlijnig 2DH waterbewegingsmodel van de Westerschelde en de Schelde, dat uitgaat van de huidige situatie (TO) met een bodemligging van 1996. Deze bodemschematisatie is gekozen als uitgangssituatie ten aanzien van de geplande 48'/43' verdieping van de Westerschelde. Dit model sluit tevens aan bij het nieuwe Kuststrookmodel van de Nederlandse kust. Voor u ligt de rapportage van de bouw, calibratie en verificatie van dit model, dat de naam SCALWEST heeft gekregen.

De ontwikkeling van dit model is een onderdeel van de opdracht van het RIKZ (brief, nr. RKZ-416) aan het Ingenieursbureau Svašek B.V. om een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van een meerdimensionaal morfodynamisch model van de Westerschelde (Verbeek, 1996). Hiertoe zijn door het RIKZ in het kader van het project VERDIEPING voor 1996/97 een aantal activiteiten gepland.

De bijdrage die het Ingenieursbureau Svašek B.V. levert omvat de volgende activiteiten:

- activiteit A: bouw, calibratie en verificatie van het kromlijnig 2DH waterbewegingsmodel SCALWEST.
- activiteit B: ontwikkeling van een 3D waterbewegingsmodel op basis van het SCALWEST-model om een beter beeld te krijgen van de maatgevende processen t.a.v. debietverdeling, sedimenttransport en morfodynamica voor de drempels in de Westerschelde.
- activiteit C: uitvoeren van een vooronderzoek naar de maatgevende morfologische processen in de Westerschelde.

Deze activiteiten zullen uitgevoerd worden door ir. M.H.P. Jansen, waarbij ondersteuning verleend wordt door ir. B. Blik en ir. E. Collard. Deze rapportage en werkzaamheden tijdens activiteit A zijn uitgevoerd door ir. M.H.P. Jansen op het RIKZ-kantoor te Middelburg.

Van RIKZ-zijde was projectbegeleider drs. H. Verbeek en is nauw samengewerkt met C. van der Male. Daarnaast is er regelmatig overleg gevoerd met P. Lievense en L. Dekker van Rijkswaterstaat Directie Zeeland.

Bij de ontwikkeling van het rooster zijn er contacten geweest met R. van Dijk en R. Plieger van het RIKZ-Den Haag en ir. G. van Banning van Alkyon Hydraulic Consultancy.

Graag zou ik vanaf deze plaats alle bovengenoemde personen en anderen die een bijdrage hebben geleverd aan de ontwikkeling van het SCALWEST-model bedanken.

In hoofdstuk 2 van deze rapportage zal manier van aanpak uiteen gezet worden waarna in hoofdstuk 3 een beschrijving van het model volgt. Daarna zullen in hoofdstuk 4 de resultaten van de calibratie aan bod komen en in hoofdstuk 5 de resultaten van de verificatie. Uiteindelijk zullen in hoofdstuk 6 nog de resultaten van de berekeningen met het programma WAQAD gepresenteerd worden.

2. Aanpak verrichte werkzaamheden

Zoals in de inleiding al vermeld is, heeft Rijkswaterstaat behoefte aan zowel waterbewegingsmodellen waarmee snel gerekend kan worden als modellen waarmee gedetailleerd gerekend kan worden. Om snel de waterbeweging te kunnen berekenen, bijvoorbeeld ten behoeve van de scheepvaart, zijn in het verleden modellen gebouwd met een grote roosterafstand (SCALDIS400, Lieveense, 1994).

Voor onderzoeks- of studievragen is een model gewenst dat gedetailleerd de waterbeweging in de Westerschelde kan berekenen. Dit kan met een model waarvan de roosterafstand kleiner is (bv. SCALDIS100, Dekker e.a., 1994). Een nadeel is dat hierdoor de rekentijd toeneemt.

Bij de opzet van een nieuw adviesmodel voor de Westerschelde is gestreefd naar een model waarmee de waterbeweging gedetailleerd berekend kan worden. Het model kan gebruikt worden ter vervanging van het SCALDIS100 model. De bouw van dit model, het fijnmazige SCALWEST-model, is het einddoel van activiteit A, waarvan dit de rapportage is.

Daarnaast is parallel aan de ontwikkeling van het gedetailleerde model een grofmazige versie van dit model (1:3) gebouwd. Dit model kan dan in de toekomst voor de snelle berekeningen gebruikt gaan worden. Dit model is tevens een onderdeel van het KUSTSTROOK-model (van Banning, 1997b), een model van de hele Nederlandse kust. Dit grofmazige SCALWEST-model is (nog) niet gecalibreerd en geverifieerd.

Bij de afregeling van het fijnmazige SCALWEST-model is gebruik gemaakt van het programmapakket WAQAD (WAQUA-adjoint, Brouwer, 1996). Dit pakket kan d.m.v. wiskundige algoritmes aangeven hoe verschillende parameters aangepast moeten worden om een model te krijgen dat zo goed mogelijk de werkelijke opgetreden waterstand kan berekenen. In hoofdstuk 6 is een uitgebreide beschrijving van WAQAD te vinden. In een vroeg stadium is besloten om de introductie van WAQAD uit te voeren met het grofmazig model van de Westerschelde. De voornaamste reden hiervoor was het vermijden van een te groot verbruik van rekentijd en schijfruimte wanneer het fijne model van de Westerschelde gebruikt zou worden met WAQAD.

Verder zijn met het grofmazig model een aantal berekeningen uitgevoerd om de gevoeligheid van het model voor een aantal parameters te kunnen bepalen.

De roostergeneratie van het fijnmazig model is half januari door het ingenieursbureau Alkyon afgerond en afgesloten met een rapportage (Banning, 1997a). Hieruit is door het ingenieursbureau Svašek het grofmazig rooster gemaakt met kleine cosmetische aanpassingen (Sloehaven). Aan het fijne model zijn tevens nog grove schematisaties van de Hedwige polder en de Polder Kruibeke/Basel/Rupelmonde toegevoegd. Bovendien is aan beide modellen ook nog de schematisatie van de Zeeschelde bovenstrooms van Prosperpolder toegevoegd. Deze schematisatie is dezelfde als in de SCALDIS-modellen. De schematisatie van de kombergingsgebied bovenstrooms van Rupelmonde zal in een later stadium vervangen worden door een meer realistische weergave.

In bijlage I zijn het fijnmazig en grofmazig rooster weergegeven. Beide modellen bevatten de Westerschelde vanaf de rand Zeebrugge/Vlakte van de Raan/Westkapelle en de Schelde tot aan de sluizen bij Gent.

Daarna zijn de modellen verder ontwikkeld door bv. schotjes, enclosures, leidammen, waterstandsmeetpunten, debietraaien ed. aan te brengen.

De calibratie heeft plaatsgevonden voor een gemeten doottij en een springtij en voor 3 debietmetingen en voor de verificatie zijn een gemeten gemiddeld getij en 2 stormen gebruikt.

Naast de ontwikkeling van beide modellen is ook nog een prijsvraag uitgeschreven om een goede naam voor het nieuwe model te krijgen. Deze prijsvraag heeft drie winnaars opgeleverd. De afdeling AXI-Zeeland won de prijs voor de beste naam: SCALWEST, Fred Tank voor de meest ludieke naam: Kromme Hont en Fred Tijmann voor de slechtste naam: \$M. Alle drie de winnaars hebben een taart gekregen.

De naam voor het model zal SCALWEST zijn. In aansluiting hierop zal een eventueel te bouwen nieuw model voor de Oosterschelde SCALOOST gaan heten.

3. Modelbeschrijving SCALWEST-model

3.1 MODELPARAMETERS

Het afgeregelde fijne model heeft de volgende kenmerken gekregen:

•	aantal roosterpunten	:	82707
•	tijdstap	:	0.5 min
•	viscositeit	:	1 m ² /s
•	rekenduur (HP9000/735)	:	9,5 uur
•	bodemruwheid	:	Manning (0,022 m ^{-1/3} s)
•	droogvalprocedure	:	1 (gemiddeld criterium voor waterlevellokatie)
•	alfa-chezy	:	niet gebruikt

Het aantal roosterpunten is 82707 waarvan 56357 punten onder NAP. Op het traject Zeebrugge-Terneuzen is het aantal 23000, op het traject Terneuzen-Bath 32000, op het traject Bath-Rupelmonde 16000 en op het traject Rupelmonde- Gent 11000 (waarvan 3100 onder NAP). De roosterafstand varieert in breedterichting van 10 m tot 400 m en in lengterichting van 40 m tot 700 m.

In eerste instantie is in het model een bodemschematisatie uit 1994/95 aangebracht maar in een later stadium is model afgeregeld met een bodemschematisatie van 1996. De dieptegegevens zijn afkomstig uit ARC/Info, waarin een bodemschematisatie van de Westerschelde van 20 m. bij 20 m. beschikbaar is.

De tijdstap is 0,5 min (= 30 sec.). Een berekening met een tijdstap van 0,25 min. leverde voor de waterstanden geen verschil. Bij een kleinere tijdstap moet wel rekening gehouden worden met veranderingen in de stroomsnelheden. Wanneer in de toekomst met sedimenttransport gerekend gaat worden en dus stroomsnelheden nodig zijn, moet de invloed van de tijdstap opnieuw bekeken worden (dit komt aan de orde bij activiteit C).

Tijdens het gevoeligheidsonderzoek zijn twee viscositeitscoëfficiënten met elkaar vergeleken. Een hoge waarde voor de eddyviscositeit leidt tot een grotere energiedissipatie waardoor de getijgolf minder goed het gebied kan binnendringen. De invloed is sterker op laagwater dan op hoogwater. In het fijnmazig model is de invloed groter dan in het grofmazig model. Overigens is de invloed van de eddyviscositeit ten opzichte van de bodemruwheid vrij klein. Vooral de invloed op de waterstand bij Antwerpen is goed waarneembaar.

Tijdens de calibratie is ook gekeken naar de invloed van de droogvalprocedure. Bij de gemiddelde droogvalprocedure wordt een vak drooggezet als de waterstand + gemiddelde bodemligging in de omliggende (diepte)punten beneden een minimum waarde komt (EDS, 1996). Bij een maximale droogvalprocedure wordt een vak drooggezet als de waterstand + maximale bodemligging beneden deze minimum waarde komt.

Het verschil tussen een gemiddelde en maximale droogvalprocedure is dat bij de laatste een plaat later droogval en eerder onderloopt waardoor de amplitude van de getijgolf afneemt en het faseverschil toeneemt. Bij een maximale droogvalprocedure is het model minder stabiel dan bij een gemiddelde droogvalprocedure. Daarom is voor een gemiddelde droogvalprocedure gekozen.

Om de invloed van driedimensionale stroming ten gevolge van de zout-zoet gradiënt in de berekening mee te nemen kan een α -chezy coëfficiënt gedefinieerd worden. De Chezywaarde kan met deze coëfficiënt afhankelijk gemaakt worden van de saliniteit. Door deze coëfficiënt te gebruiken wordt de waterstand bij Bath lager en loopt de getijbeweging iets voor t.o.v. de T0-situatie. Bij Vlissingen is nauwelijks verschil waarneembaar. Aangezien de gemiddelde waterstand bij Bath niet verbetert bij het gebruik van de α -chezy coëfficiënt, is besloten deze coëfficiënt niet verder te gebruiken.

3.2 BEGINVOORWAARDEN

In de modellering wordt gestart met een beginwaterstand van NAP + 1,50 meter. Deze waterstand zorgt ervoor dat een groot gedeelte van de platen op tijdstip nul onder water staan. Dit is aan te bevelen in verband met het goed functioneren van de droogvalprocedure. Na een periode van ongeveer 6 uur is het model ingespeeld en na ongeveer 21 uur zijn de resultaten betrouwbaar (verschillen kleiner dan 0,001m). Alle berekeningen zijn gedaan met 24 uur inspeeltijd.

Er is geen verder onderzoek gedaan met een andere beginwaterstand.

Voor de zoutbeweging is het wel van belang om een gebiedsafhankelijke beginsituatie op te geven om een wekenlage inspeeltijd te voorkomen. In een relatief zoet waterbekken zijn de waterstanden hoger. Tijdens de calibratie is met 2 verschillende initiële zoutvelden gerekend, berekend met het E-WESTII model (Dekker, 1993). Dit zijn de zoutvelden die horen bij een Schelde afvoer van 40 m³/s en 160 m³/s en hoogwater bij Terneuzen. Bij Bath bleken de verschillen tussen deze 2 velden het grootst. Uiteindelijk is met een zoutveld behorend bij een Schelde afvoer van 40 m³/s gerekend omdat deze het beste overeenkomt met de gebruikte Schelde afvoer van 60 m³/s.

3.3 LOKATIES RANDVOORWAARDEN EN WINDGEGEVENS

Zoals in hoofdstuk 2 al is vermeld bevat het SCALWEST-model de Westerschelde en het stroomgebied van de Schelde in geschematiseerde vorm. Aan benedenstroomse zijde wordt het model begrensd door de denkbeeldige lijn Zeebrugge-Vlakte van de Raan-Westkapelle. Als randvoorwaardepunten worden de waterstanden in Zeebrugge, Vlakte van de Raan, Oostgat Noord en Westkapelle opgelegd. De waterstanden in deze punten worden bepaald door bij de gemeten waterstanden in een naburig waterstandsmeeetstation het verschil in M2-componenten (amplitude en fase) met behulp van verlooppunten op te tellen.

Deze gegevens zijn beschikbaar in een database van het VCZ-Middelburg waarin metingen van onder andere waterstanden, stroomsnelheden en windsnelheden en richtingen opgeslagen zijn.

In tabel 3.1 zijn van de lokaties van de randvoorwaarden de gegevens gepresenteerd.

randvoorwaarde punt	RD-coord.x	RD-coord.y	n-coord	m-coord.	bepaald uit station
Zeebrugge (ZEEB)	377001.0	2052.9	49	130	VR (Vlakte van de Raan)
Vlakte van de Raan (VRO)	392276.1	7167.1	49	91	VR
Oostgat Noord (WEKA)	399598.0	17874.1	49	48	WKAP (Westkapelle)
Westkapelle (WKAP)	396048.5	18987.5	60	48	WKAP

Tabel 3.1 Gegevens van lokaties randvoorwaarden

De benedenstroomse rand van het SCALWEST-model wordt gevormd door de lijn n=49 en m=48. Tussen de lokaties van de randvoorwaarden wordt de waterstand door het programma geïnterpoleerd. Omdat de rand m=48 (Oostgat Noord-Westkapelle) instabiliteiten veroorzaakte is besloten het punt Westkapelle te laten vervallen waardoor de rand m=48 een gesloten rand wordt.

Als bovenstroomse debietrandvoorwaarden is de Schelde afvoer voor de helft bij Rupelmonde en voor de helft bij Gent opgelegd. Tevens zijn ook de debieten van de Antwerpse Havendokken, het Zoommeer (bij Bath) en het Kanaal Gent-Terneuzen (bij Terneuzen) in de modellering meegenomen. Deze komen uit dezelfde database.

Als invoer voor de wind wordt voor het hele model de windsnelheid en windrichting gemeten bij Hansweert, opgelegd. Over het hele gebied staat dus een uniforme windsnelheid en richting. Bij de tweede verificatiesom zijn de windsnelheid en richting gemeten bij de Vlakte van de Raan opgelegd (paragraaf 5.2).

4. Calibratie

4.1 GEBRUIKTE RANDVOORWAARDEN

Het fijne model is afgeregeld op een doottij (27 april 1996) en op een springtij (5 mei 1996). In beide periodes was er vrij weinig wind (maximaal windkracht 2-3) en waren de getijdecoëfficiënten resp. 0,72 en 1,21. In bijlage II zijn de getijcoëfficiënten en de windsnelheden gepresenteerd. De Schelde/Rupelafvoer op deze dagen was 60 m³/s en verder zijn debieten van de Antwerpse havendokken (12 m³/s), het Zoommeer (2 m³/s) en de sluizen bij Terneuzen (20 m³/s) gebruikt.

De windsnelheid en windrichting bij Hansweert zijn gebruikt als invoer voor de hele Westerschelde.

In tabel 4.1 zijn de waterstanden en getijcoëfficiënten bij Vlissingen vermeld

	HW-stand	LW-stand	amplitude/Getijcoëfficiënt
Gem. Springtij	2.43	-2.04	4.47/1.16
Gem. Getij	2.05	-1.81	3.86/1.00
Gem. Doottij	1.55	-1.47	3.02/0.78
27 april 1996			
LW stand/tijd	HW stand/tijd	Getijverschil vloed/eb	Getijcoëfficiënt
-1.62/02:50	1.35/09:00	2.97/2.68	0.77/0.69
-1.33/15:20	1.26/21:30	2.59	0.67
5 mei 1996			
HW stand/tijd	LW stand/tijd	Getijverschil eb/vloed	Getijcoëfficiënt
2.59/03:00	-2.18/09:30	4.77/4.68	1.24/1.21
2.50/15:00	-2.26/21:50	4.76	1.23

Tabel 4.1 Waterstanden en getijcoëfficiënten bij Vlissingen tijdens de calibratieperioden
waterstanden in meters boven NAP

De randvoorwaarden zijn in 3 punten bepaald uit dichtbijgelegen waterstandsmeeetstations met behulp van de verlooplijnen van de M2-component en zijn afkomstig uit de database van het VCZ-Middelburg (zie paragraaf 3.3). Tussen de 3 punten wordt de waterstand geïnterpoleerd.

4.2 BODEMRUWHEDEN

De bodemruwheid is in eerste instantie overgenomen uit SCALDIS100. In SCALDIS100 is de Manningwaarde voor Voordelta en Westerschelde 0,022. De Manningwaarde op het traject van Bath tot Antwerpen is 0,020 en neemt bovenstrooms van Antwerpen af tot 0,015 bij Gent.

Omdat met name achter in het gebied, bovenstrooms van Bath, de getijamplitude te groot en het getijgolf te vroeg is, is de Manningwaarde op Westerschelde verhoogd naar de waarden die berekend zijn met het programma WAQAD (zie hoofdstuk 6). Daarna is voor verschillende delen van de Westerschelde bepaald welke aanpassingen gedaan moesten worden om een juiste representatie van de opgetreden waterbeweging te krijgen.

Dit leverde het volgende resultaat op:

traject	Manningwaarde	Chezy in diepe geul (15m)
Voordelta-Vlissingen	0,022	71 m ^{3/2} /s
Vlissingen-Overl.Hansw.	0,026	60 m ^{3/2} /s
Overl.Hansw.-Baalhoek	0,0265	59 m ^{3/2} /s
Baalhoek-Bath	0,025	63 m ^{3/2} /s
Bath-grens	0,022	71 m ^{3/2} /s
grens-Antwerpen	0,020/0,019	78/80 m ^{3/2} /s
Antwerpen-Rupelmonde	0,0155	101 m ^{3/2} /s
Rupelmonde-Gent	0,0170/0,0213	92/74 m ^{3/2} /s

Tabel 4.2 Bodemruwheden voor de Westerschelde zoals die bepaald zijn na calibratie bodemruwheden in Manningwaarden (m^{-2/3} s) en Chezy-coëfficiënten (m^{3/2}/s)

4.3 RESULTATEN

4.3.1 Waterstanden

Zoals al eerder werd genoemd is het model afgeregeld op spring- en doottij van resp. 5 mei en 27 april 1996. Hierbij is gekeken naar 8 waterstandspunten en 4 debietraaien. In tabel 4.3 is vermeld wat het verschil tussen de gemeten en berekende amplitude is voor 6 waterstandsstations in de Westerschelde.

springtij	ampl. gemeten	ampl.berekend	verschil
Vlissingen	4.77/4.76	4.75/4.73	-0,6 %
Terneuzen	5.15/5.13	5.18/5.15	+0,6 %
Hansweert	5.32/5.30	5.41/5.37	+1,5 %
Baalhoek	5.65/5.63	5.57/5.54	-1,5 %
Bath	5.79/5.76	5.75/5.72	-0,54%
Antwerpen	6.2/5.88	6.26/5.92	+0,57%
doodtij	ampl. gemeten	ampl.berekend	verschil
Vlissingen	2.97/2.59	2.94/2.57	-0.87 %
Terneuzen	3.26/2.90	3.27/2.89	-0.11 %
Hansweert	3.55/3.17	3.55/3.17	0.00 %
Baalhoek	3.78/3.40	3.74/3.36	-1.06 %
Bath	3.89/3.53	3.89/3.52	-0.25 %
Antwerpen	4.28/3.93	4.31/3.95	0.63 %

Tabel 4.3 Verschil in amplitude in 6 waterstandsstations in de Westerschelde
amplitudes in meters

In bijlage III zijn de resultaten voor springtij gepresenteerd en in bijlage IV de resultaten voor doottij.

Bij springtij liggen de toppen bij Vlissingen en Terneuzen goed maar loopt de berekening bij eb iets voor bij de meting. Bij Hansweert en Bath is de hoogwatertop bij de berekening iets spitzer dan bij de meting. De verschillen tussen de berekende en gemeten waterstand in de meetstations zijn ongeveer van dezelfde grootte als de meetonnauwkeurigheid (≤ 5 cm).

Bij doottij is de waterbeweging op het traject Vlissingen-Bath goed maar ligt de gemiddelde waterstand bij Antwerpen 12 cm. te hoog. De amplitude is hier wel goed. Hier zal na de aanpassing van de Zeeschelde verder naar gekeken Dit heeft waarschijnlijk te maken met een verschil in de zout-zoet gradiënt. Eventueel moet ook op het traject grens-Antwerpen de ruwheid nog aangepast worden.

4.3.2 Debieten

Aangezien voor de perioden die gebruikt zijn voor de afregeling op waterstanden geen snelheids- of debietmetingen beschikbaar zijn, zijn voor de calibratie van de debieten 3 andere perioden gekozen. Tijdens deze perioden varieerde de getijcoëfficiënt tussen de 1,08 en 1,27 (zie tabel 4.4). De debieten zijn gecalibreerd voor de meetraaien 3, 5a en 9. In bijlage V is de ligging van deze 3 meetraaien gepresenteerd.

Meetraai 3 ligt in de Overloop van Valkenisse en de Zimmermangeul. Hier zijn op 14 en 15 oktober 1996 stroomsnelheden gemeten met ADCP tijdens een getij met een getijcoëfficiënt van 1,08 tot 1,13 (Meetdienst Zeeland, 1997a). De wind was kracht 3-4 uit het zuiden.

Meetraai 5a ligt in het Zuidergat en de Schaar van Waarde. De metingen zijn in deze raai uitgevoerd op 30 september en 1 oktober 1996 tijdens een springtij (GC = 1.11 tot 1.22) (Meetdienst Zeeland, 1997b). Op 30 september was de windkracht 4-5 en draaide vanuit het westen naar het noorden waarbij de wind op 1 oktober naar kracht 3 ging.

De meest westelijk gelegen raai (raai 9) ligt in de Honte, de Schaar van Spijkerplaat en het Vaarwater langs de Hoofdplaat. Deze raai is gemeten op 3 en 5 juli 1996 tijdens een getij met een getijcoëfficiënt van 1,14 tot 1,27 (Meetdienst Zeeland, 1996). Op 3 juli was het windkracht 5-6 uit het zuiden en op 5 juli windkracht 3-4 uit het westen.

In tabel 4.4 zijn de waterstanden en getijcoëfficiënten bij Vlissingen van de bovengenoemde periodes nogmaals vermeld

	HW-stand	LW-stand	amplitude/Getijcoëf.
Gem. Springtij	2.43	-2.04	4.47/1.16
Gem. Getij	2.05	-1.81	3.86/1.00
Gem. Doodtij	1.55	-1.47	3.02/0.78
3 en 5 juli 1996 Vlissingen			
HW stand/tijd	LW stand/tijd	Getijverschil eb/vloed	Getijcoëfficiënt
2.58/03.10 (3-7)	-2.24/09.45	4.82/4.63	1.25/1.20
2.39/15.30	-2.51/22.20	4.9	1.27
2.58/04.50 (5-7)	-1.89/11.10	4.47/4.42	1.16/1.14
2.53/17.15			
30 sept. en 1 okt. 1996 Hansweert			
HW stand/tijd	LW stand/tijd	Getijverschil eb/vloed	Getijcoëfficiënt
3.35/04.40 (30-9)	-2.09/11.10	5.44/5.10	1.22/1.14
3.01/17.00	-2.28/23.30	5.29	1.19
2.89/05.30 (1-10)	-2.06/11.45	4.95/4.97	1.11/1.11
2.91/17.40		5.05	1.13
14 en 15 oktober 1996 Bath			
HW stand/tijd	LW stand/tijd	Getijverschil eb/vloed	Getijcoëfficiënt
2.74/04.05 (14-10)	-2.45/10.40	5.19/5.44	1.08/1.13
2.99/16.25	-2.46/23.10	5.45	1.13
2.96/04.40 (15-10)	-2.28/11.20	5.25/5.29	1.09/1.09
3.01/16.50	-2.40/23.50	5.41	

Tabel 4.4 Waterstanden en getijcoëfficiënten van de Westerschelde van de perioden waarvoor de debieten gecalibreerd zijn, waterstanden in meters boven NAP

In bijlage VI zijn de gemeten en berekende debieten door de 3 raaien gepresenteerd. Hieronder staan in tabel 4.5 de eb en vloedvolumes tijdens de bovengenoemde perioden.

geul	gemeten		berekend		verschil	
	ebvolume	vloedvolume	ebvolume	vloedvolume	eb	vloed.
Overl.v.Valk.(R3)	252,24	261,81	264,88	260,35	4,7%	-1%
Zimmerman (R3)	24,61	21,35	25,24	22,93	2,6%	7,5%
Zuidergat (R5a)	284,89	239,66	305,54	254,15	7,4%	6,3%
Sch.v.Waarde(R5a)	158,59	176,00	170,03	183,63	7,1%	4,3%
Honte (R9)	960,94	924,41	1008,74	988,74	5%	6,9%
Vaarw.I.H.pl. (R9)	115,46	114,28	127,74	117,43	10,4%	2,6%

Tabel 4.5 Eb- en vloedvolumes in 3 raaien in de Westerschelde
* getijvolumes in milj.m³

De berekende getijvolumes representeren goed de gemeten getijvolumes. Dit komt ook omdat de gemeten getijvolumes uit metingen met ADCP komen, die betrouwbaarder zijn dan de vroegere snelheidsmetingen.

Behalve voor het Vaarwater langs de Hoofdplaat zijn de verschillen allemaal kleiner dan 10%. Met een gemiddelde fout van 5% in de debieten en 1% in de waterstand leidt dit tot een gemiddelde fout in de watersnelheid van 6%.

5. Verificatie

Om de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van het model te controleren zijn drie perioden doorgerekend ter verificatie. De eerste periode is een gemiddeld getij zonder veel wind, de tweede en derde periode zijn perioden met storm, waarbij tijdens de eerste storm de windsnelheden over het gebied sterk varieerden en tijdens de tweede periode er weinig verschillen in windsnelheden over het gebied waren.

5.1 VERIFICATIE GEMIDDELD GETIJ: 19-21 JULI 1996

De eerste periode beslaat 20 en 21 juli 1996 toen in het gebied een gemiddeld getij optrad. Zie tabel 5.1 voor de opgetreden waterstanden en getijcoëfficiënten bij Vlissingen. De windsnelheid bij Hansweert was maximaal 5 m/s op 20 juli uit ZO-richting en daarna uit het westen (zie bijlage VII).

	HW-stand	LW-stand	amplitude/Getijcoëf.
Gem. Springtij	2.43	-2.04	4.47/1.16
Gem. Getij	2.05	-1.81	3.86/1.00
Gem. Doodtij	1.55	-1.47	3.02/0.78
20 juli 1996			
HW stand/tijd	LW stand/tijd	Getijverschil eb/vloed	Getijcoëfficiënt
1.99/04:40	-1.88/10:50	3.87/3.83	1.00/0.99
1.95/17:00	-2.20/23:25	4.15/4.19	1.08/1.09
21 juli 1996			
HW stand/tijd	LW stand/tijd	Getijverschil eb/vloed	Getijcoëfficiënt
1.99/05:15	-1.78/11:30	3.77/3.71	0.98/0.96
1.93/17:30	-2.12/23:55	4.05	1.05

Tabel 5.1 Waterstanden en getijcoëfficiënten bij Vlissingen op 20 en 21 juli 1996
waterstanden in meters boven NAP

In bijlage VIII zijn voor een vijftal meetstations de berekende en gemeten waterstand op 21 juli uitgezet. In tabel 5.2 zijn voor deze meetstations de verschillen op hoog- en laagwater gepresenteerd, in tabel 5.3 zijn de tijdsverschillen bij een waterstand van NAP bij vloed en eb vermeld en in tabel 5.4 staan de gemiddelde afwijking en de standaard afwijking van deze meetstations.

	gemeten			berekend			verschil		
	hw1	lw1	hw2	hw1	lw1	hw2	hw1	lw1	hw2
Cadzand	1.93	-1.73	1.79	1.88	-1.70	1.82	-0.05	0.03	0.03
Vlissingen	1.99	-1.78	1.93	1.97	-1.77	1.88	-0.02	0.01	-0.05
Terneuzen	2.18	-1.91	2.15	2.24	-1.92	2.15	0.06	-0.01	0.00
Hansweert	2.33	-2.05	2.25	2.36	-2.06	2.28	0.03	-0.01	0.03
Baalhoek	2.56	-2.08	2.48	2.53	-2.11	2.44	-0.03	-0.03	-0.04
Bath	2.63	-2.10	2.54	2.69	-2.15	2.59	0.06	-0.05	0.05
Antwerpen	2.74	-2.38	2.70	2.94	-2.36	2.89	0.20	0.02	0.19

Tabel 5.2 Verschillen in hoog- en laagwaterstanden tussen meting en berekening waterstanden in meters boven NAP

hw1: 21-7-1996 05:15

lw1: 21-7-1996 11:30

hw2: 21-7-1996 17:30

plaats	gemeten		berekend		verschil meting/berekening	
	max vloed	max eb	max vloed	max eb	vloed	eb
Cadzand	2:52	8:14	2:55	8:12	3	-2
Vlissingen	3:13	8:36	3:16	8:31	2	-5
Terneuzen	3:29	9:00	3:31	8:56	2	-4
Hansweert	3:51	9:24	3:52	9:18	2	-6
Baalhoek	4:05	9:41	4:07	9:38	2	-4
Bath	4:16	9:58	4:16	9:60	-1	1
Antwerpen	4:45	10:23	4:37	10:34	-9	11

Tabel 5.3 Verschillen in tijdstippen waterstand van NAP op 21 juli
tijdstippen in uur:min op 21 juli 1996

	gem. afwijking	standaardafwijking
Cadzand	-0.01	0.04
Vlissingen	-0.05	0.04
Terneuzen	-0.04	0.04
Hansweert	-0.03	0.04
Baalhoek	-0.05	0.03
Bath	-0.01	0.04
Antwerpen	0.10	0.06

Tabel 5.4 Gemiddelde en standaardafwijking van de waterstand op 20 en 21 juli 1996
afwijking waterstand in meters

Zoals te zien is komen de gemeten en berekende waterbeweging goed met elkaar overeen.

Van Vlissingen tot Hansweert loopt de berekening bij vloed een aantal minuten voor. Hierdoor ligt de gemiddelde waterstand in de berekeningen iets te laag (4 cm). De verschillen liggen in de orde van nauwkeurigheid van de waterstandsmeeetstations namelijk enkele centimeters.

De verschillen bij Antwerpen zijn groter. De laagwaters komen goed overeen maar de hoogwaterstand ligt 20 cm te hoog. Hierdoor loopt de berekende waterbeweging bij vloed voor en bij eb achter. De waterbeweging bij Antwerpen zal bij de aanpassing van het Zeeschelde-traject opnieuw bekeken moeten worden.

5.2 VERIFICATIE AUGUSTUSSTORM: 28-29 AUGUSTUS 1996

De tweede periode waarvoor het model geverifieerd is, is de periode van 28 en 29 augustus 1996. Tijdens deze periode heeft er een storm gewoed die bij Vlissingen op 29 augustus een opzet heeft veroorzaakt van 1,20 meter t.o.v. het astronomisch getij. In bijlage IX zijn de windsnelheid en richting voor verschillende plaatsen gedurende deze periode weergegeven. Duidelijk is te zien dat vanaf 22:00 uur 28-8 een storm uit het westen heeft gewoed met maximale windsnelheden van boven de 20 m/s (windkracht 9). Tijdens deze periode is er een groot verschil in windsnelheden over het gebied. Na 03:00 uur 29 augustus, zakt de wind ten westen van Terneuzen naar 5 m/s (windkracht 4) terwijl in Vlake van de Raan en Cadzand de windsnelheden tot 21:00 uur nog rond de 20 m/s liggen. Er zijn berekeningen gedaan met de windsnelheid en richting van Hansweert en Vlake van de Raan als invoer. De onderstaande resultaten zijn van de berekening met de wind in Vlake van de Raan als invoer. Er is geen variabel windveld ingevoerd. In tabel 5.5 zijn de opgetreden hoog- en laagwaterstand bij Vlissingen weergegeven met de opgetreden getijcoëfficiënt.

	HW-stand	LW-stand	amplitude/Getijcoëf.
Gem. Springtij	2.43	-2.04	4.47/1.16
Gem. Getij	2.05	-1.81	3.86/1.00
Gem. Doodtij	1.55	-1.47	3.02/0.78
28 augustus 1996			
HW stand/tijd	LW stand/tijd	Getijverschil eb/vloed	Getijcoëfficiënt
2.36/01:05	-1.97/07:30	4.33/4.36	1.12/1.13
2.39/13:30	-2.07/20:00	4.46/5.43	1.16/1.41
29 augustus 1996			
HW stand/tijd	LW stand/tijd	Getijverschil eb/vloed	Getijcoëfficiënt
3.36/02:10	-1.00/07:50	4.36/4.60	1.13/1.19
3.60/14:15	-1.53/20:50	5.13	1.33

Tabel 5.5 Waterstanden en getijcoëfficiënten bij Vlissingen tijdens de augustusstorm 1996
waterstanden in m. boven NAP

In bijlage X zijn de berekende en gepresenteerde waterstanden voor een vijftal meetstations gepresenteerd. In tabel 5.6 zijn voor deze meetstations de verschillen op hoog- en laagwater gepresenteerd, in tabel 5.7 zijn de tijdsverschillen bij een waterstand van NAP bij vloed en eb vermeld en in tabel 5.8 staan de gemiddelde afwijking en de standaard afwijking van deze meetstations.

	gemeten			berekend			verschil		
	hw1	lw1	hw2	hw1	lw1	hw2	hw1	lw1	hw2
Cadzand	3.13	-1.02	3.46	3.09	-0.96	3.34	-0.04	0.06	-0.12
Vlissingen	3.36	-1.00	3.60	3.27	-1.01	3.43	-0.09	-0.01	-0.17
Terneuzen	3.68	-1.11	3.96	3.68	-1.00	3.87	0.00	0.11	-0.09
Hansweert	3.96	-1.27	3.98	3.85	-1.13	3.94	-0.11	0.14	-0.04
Baalhoek	4.32	-1.29	4.30	4.14	-1.02	4.14	-0.18	0.27	-0.16
Bath	4.54	-1.32	4.44	4.40	-0.95	4.38	-0.14	0.37	-0.06
Antwerpen	4.61	-1.47	4.69	4.81	-0.82	4.83	0.20	0.65	0.14

Tabel 5.6 Verschillen in hoog- en laagwaterstanden tussen meting en berekening waterstanden in meters boven NAP

hw1: 29-8-1996 02:10

lw1: 29-8-1996 07:50

hw2: 29-8-1996 14:15

	gemeten		berekend		verschil	
	max eb	max vloed	max eb	max vloed	eb	vloed
Cadzand	6:04	9:41	6:07	10:12	3	31
Vlissingen	6:22	9:47	6:19	10:03	-2	16
Terneuzen	6:51	10:00	6:53	10:02	2	2
Hansweert	7:17	10:23	7:19	10:26	3	3
Baalhoek	7:32	10:40	7:52	10:36	20	-4
Bath	7:47	10:51	8:16	10:49	30	-2
Antwerpen	8:16	11:21	9:12	11:16	57	-5

Tabel 5.7 Verschillen in tijdstippen waterstand van NAP op 29 augustus tijdstippen in uur:min op 29 augustus 1996

	gem afwijking	standaardafwijking
Cadzand	-0.08	0.09
Vlissingen	-0.10	0.09
Terneuzen	-0.05	0.11
Hansweert	-0.06	0.11
Baalhoek	0.01	0.17
Bath	0.08	0.21
Antwerpen	0.37	0.27

Tabel 5.8 Gemiddelde en standaardafwijking van de waterstand op 28 en 29 augustus 1996 (4 getijden) afwijkingen in meters

De verschillen tussen de berekende en gemeten waterstanden zijn, zoals verwacht in het westelijk deel kleiner dan in het oostelijk deel. Dit komt omdat als randvoorwaarde voor de wind de windsnelheid en richting bij Vlake van de Raan gekozen zijn. Wanneer de windgegevens van Hansweert worden gebruikt ligt de gemiddelde waterstand in het hele gebied 30 tot 40 cm te laag. Bij gebruik van de gegevens uit Vlake van de Raan is de opzet bij Vlissingen en Terneuzen redelijk goed maar wordt de amplitude in oostelijke richting kleiner en de opzet groter in vergelijking tot de gemeten waterstand. Bovendien zit tijdens vloed (tussen 11:00 uur en 13:00 uur, 29-8) zowel in de gemeten als in de berekende waterbeweging een gekke slingering. Deze is misschien het gevolg van het wegvallen van de wind in een groot deel van het gebied.

De berekende waterbeweging zal de gemeten waterbeweging beter benaderen wanneer een gebiedsafhankelijke windinvoer gekozen wordt. Hiertoe kan in SIMONA een SVWP-bestand ingelezen worden. Vanwege tijdgebrek is dit niet gedaan.

Omdat het model voor deze storm niet voldoet aan de criteria is nog een andere storm doorgerekend (zie paragraaf 5.3) waarbij de windsnelheid en richting niet zoveel variëren over het gebied.

5.3 VERIFICATIE OKTOBERSTORM: 28-29 OKTOBER 1996

De derde periode waarvoor het model geverifieerd is, is de periode van 28 en 29 oktober 1996. Deze periode is doorgerekend om er achter te komen hoe het model op andere stormen zou reageren. Tijdens deze periode heeft er een storm gewoed waardoor net als bij de storm van 28/29 augustus 1996 bij Vlissingen een opzet van 1,20 meter t.o.v. het astronomisch getij heeft plaatsgevonden.

Het grootste verschil met de storm van augustus 1996 is dat tijdens de oktoberstorm de wind minder varieerde over het gebied. In bijlage XI zijn de windsnelheid en richting gedurende deze periode weergegeven. Duidelijk is te zien dat vanaf 27 oktober 12:00 uur de windsnelheid tussen de 10 en 15 m/s schommelt (windkracht 6-7, uit zuid-westelijke richting) en dat de storm rond 23:00 uur, 28 oktober, begint. Tot 07:00 uur liggen de windsnelheden dan tussen 15 en 20 m/s (windkracht 7-8, uit het ZW-W). Daarna zakt de wind weer naar windkracht 6-7. Tijdens deze periode is er geen groot verschil tussen Hansweert en Vlake van de Raan wat betreft windsnelheid en windrichting.

In tabel 5.9 zijn de opgetreden hoog- en laagwaterstand bij Vlissingen weergegeven met de opgetreden getijcoëfficiënt.

	HW-stand	LW-stand	amplitude/Getijcoëf.
Gem. Springtij	2.43	-2.04	4.47/1.16
Gem. Getij	2.05	-1.81	3.86/1.00
Gem. Doodtij	1.55	-1.47	3.02/0.78
28 oktober 1996			
HW stand/tijd	LW stand/tijd	Getijverschil eb/vloed	Getijcoëfficiënt
2.74/02:30	-1.68/09:00	4.42/4.53	1.15/1.17
2.85/14:40	-1.90/21:30	4.75/4.59	1.23/1.19
29 oktober 1996			
HW stand/tijd	LW stand/tijd	Getijverschil eb/vloed	Getijcoëfficiënt
2.69/03:20	-0.80/09:00	3.49/4.33	0.90/1.12
3.53/15:30	-1.19/21:55	4.72	1.22

Tabel 5.9 Waterstanden en getijcoëfficiënten bij Vlissingen tijdens de oktoberstorm 1996
waterstanden in meters boven NAP

In bijlage XII zijn voor een vijftal meetstations de berekende en gemeten waterstand op 29 oktober uitgezet.

In tabel 5.10 zijn voor deze meetstations de verschillen op hoog- en laagwater gepresenteerd, in tabel 5.11 zijn de tijdsverschillen bij een waterstand op NAP bij vloed en eb vermeld en in tabel 5.12 staan de gemiddelde afwijking en de standaardafwijking over de 2 getijden van deze meetstations.

	meting				berekening				verschil			
	hw1	lw1	hw2	lw2	hw1	lw1	hw2	lw2	hw1	lw1	hw2	lw2
Cadzand	2.51	-0.82	3.38	-1.22	2.42	-0.71	3.35	-1.23	-0.09	0.11	-0.03	-0.01
Vlissingen	2.69	-0.80	3.53	-1.19	2.63	-0.76	3.46	-1.29	-0.06	0.04	-0.07	-0.10
Terneuzen	2.84	-0.78	3.79	-1.31	2.86	-0.88	3.77	-1.40	0.02	-0.10	-0.02	-0.09
Hansweert	3.17	-1.03	3.90	-1.44	3.13	-1.03	3.89	-1.53	-0.04	0.01	-0.01	-0.09
Baalhoek	3.38	-1.08	4.16	-1.49	3.29	-1.04	4.11	-1.55	-0.09	0.04	-0.06	-0.06
Bath	3.47	-1.14	4.24		3.48	-1.07	4.26		0.01	0.07	0.02	
Antwerpen	3.50	-1.34	4.43		3.66	-1.18	4.56		0.16	0.17	0.13	

Tabel 5.9 Verschillen in hoog- en laagwaterstanden tussen meting en berekening waterstanden in meters boven NAP

hw1: 29-10-1996 03:20

lw1: 29-10-1996 09:00

hw2: 29-10-1996 15:30

	meting		berekening		verschil	
	max vloed	max eb	max vloed	max eb	vloed	eb
Cadzand	10:34	19:26	10:43	19:29	9	3
Vlissingen	10:54	19:48	11:03	19:44	9	-4
Terneuzen	11:09	20:15	11:14	20:10	5	-5
Hansweert	11:40	20:46	11:42	20:42	2	-4
Baalhoek	11:52	21:03	11:57	21:06	5	3
Bath	12:06	21:21	12:08	21:29	1	8
Antwerpen	12:31		12:29	22:08	-2	

Tabel 5.11 Verschillen in tijdstippen waterstand van NAP op 29 oktober 1996 tijdstippen in uur:min op 29 oktober 1996

	gem.afwijking	st.afwijking
Cadzand	-0.02	0.07
Vlissingen	-0.06	0.06
Terneuzen	-0.06	0.07
Hansweert	-0.03	0.08
Baalhoek	-0.04	0.08
Bath	0.02	0.10
Antwerpen	0.13	0.09

Tabel 5.12 Gemiddelde en standaardafwijking van de waterstand op 28 en 29 okt. 1996
afwijkingen waterstanden in meters

De berekende en gemeten waterstanden komen bij deze storm beter overeen dan bij de augustusstorm (paragraaf 5.2). In de Westerschelde verschillen de hoogwaterstanden maximaal 10 cm. Op het moment dat de wind draait (06:00 uur, 29-10) zijn de verschillen het grootst omdat in werkelijkheid de waterstand in de Voordelta opgestuwd wordt. In oostelijke richting dempt dit verschijnsel uit. Bij Antwerpen zijn de verschillen tijdens hoog- en laagwater in de orde van 13 tot 17 cm. Net als tijdens de periode 20/21 juli (paragraaf 5.1) ligt ook hier de berekende waterstand boven de gemeten. Hier zal bij de aanpassing van de Zeeschelde naar gekeken worden.

6. WAQAD afregeling

6.1 THEORIE WAQAD

Om een numeriek mathematisch model voor bijvoorbeeld WAQUA-berekeningen af te regelen, kan ook gebruik gemaakt worden van de adjoint methode. Hiermee kan een model met meerdere fysische parameters afgeregeld worden. De programmatuur die op basis van deze methode voor WAQUA ontwikkeld is heet WAQAD (WAQUA -adjoint) (Brouwer, e.a., 1996). Allereerst wordt een kostenfunctie bepaald. Deze wordt als volgt bepaald:

$$J(p) = \frac{1}{2} \sum_{m,n,k} (h_{m,n}^k(p) - \hat{h}_{m,n}^k)^2$$

waarin:

p = parameter
 $h_{m,n}^k$ = berekende waarde
 $\hat{h}_{m,n}^k$ = gemeten waarde
 m,n = roostercoördinaat
 k = tijdstip

Deze kostenfunctie wordt bepaald over alle locaties en alle tijdstippen. Bij het afregelen van een model moet gestreefd worden naar een minimalisatie van de kostenfunctie. Aangezien de kostenfunctie een parabolisch verloop heeft, kan wanneer de kostenfunctie voor 3 waarden van p bekend is, het minimum en de bijbehorende waarde van p bepaald worden.

In principe is het mogelijk om voor elke berekende waarde (waterstanden, stroomsnelheden, debieten, zout, sedimentconcentratie enz.) een kostenfunctie te bepalen. Binnen het huidige WAQAD gebeurt dit alleen met waterstanden.

De waterstanden worden met behulp van een impliciet rekenschema door WAQUA berekend. Met WAQAD is het mogelijk om voor bijvoorbeeld de randvoorwaarden, bodemligging, bodemruwheid of verticale viscositeit (alleen 3D) te calibreren.

Hiertoe bepaalt de berekening voor elk, vooraf op te geven gebied, een gradiënt, een richting waarin gezocht moet worden naar een zo optimaal mogelijke waarde. De parameter p geeft hierbij aan met welk percentage de te calibreren grootheden aangepast moeten worden. Door dit iteratief te doen kan het gewenste resultaat bereikt worden. Een voordeel van de methode is dat verschillende parameters tegelijkertijd kunnen worden afgeregeld.

Door een penalty in WAQAD te gebruiken kan voorkomen worden dat er te grote verschillen tussen de gebieden ontstaan. Wanneer bijvoorbeeld de bodemruwheid wordt aangepast kan op de overgang van twee vakken een te grote sprong in de bodemruwheid ontstaan. Een penalty kan toegepast worden om fysisch onjuiste waarden te voorkomen. Dit geldt overigens niet wanneer het gebied is opgedeeld in driehoeken i.p.v. rechthoeken. Een andere bron van fouten is de schaarste en onnauwkeurigheid van meetdata. Wanneer geprobeerd wordt een gebied aan te passen waarvoor weinig of geen meetdata beschikbaar zijn kunnen te grote aanpassingen volgen. Bij aanpassingen van meerdere fysieke parameters bestaat de kans dat ze allen een klein beetje in de goede richting aangepast worden of dat de te grote aanpassing van een parameter gecompenseerd wordt door de andere parameter te veel in de verkeerde richting aan te passen.

Op basis van de nauwkeurigheid van de meetdata kan men door de penalty kleine of iets grotere aanpassingen nastreven. Bij aanpassing van bodemdiepten zijn minder grote aanpassingen gewenst dan bij Bodemruwheden.

Een volledige iteratie met WAQAD bestaat uit het volledig doorrekenen van een periode met WAQPRO, waarna met WAQAD de periode terug gerekend wordt en door de gemeten en berekende waterstanden met elkaar te vergelijken, de gradiënt bepaald wordt. Om deze vergelijking te maken moet van elk tijdstip een mapfile bewaard worden. Om diskruimte te besparen is gewerkt met restart-files.

6.2 RESULTATEN WAQAD

Voor dit onderzoek is alleen gekeken op welke wijze WAQAD werkt en hoe de resultaten geïnterpreteerd moeten worden.

Daartoe zijn met het grofmazig model verschillende sommen gedraaid waarbij alleen de Bodemruwheden procentueel aangepast zijn. Tussen Vlissingen en Prosperpolder is de Westerschelde onderverdeeld in 7 parameters oftewel gebieden waarvan de bodemruwheid aangepast konden worden (zie bijlage XIII).

Als ijkdata zijn gemeten waterstanden op 10 plaatsen in de Westerschelde genomen. Een periode van 4 dagen is doorerekend waarbij een halve dag inspeeltijd is aangehouden. Uiteindelijk zijn 4 iteraties gedraaid.

In bijlage XIV zijn de verschillen in waterstanden tussen de berekeningen en meting voor en na iteratie met WAQAD gepresenteerd.

In tabel 6.1 staan de procentuele aanpassingen van de bodemwrijving na 4 iteraties

vak/parameter	aanpassing	nieuwe Manning-waarde
Vlissingen/ Breskens	11,4%	0,02451
Sloehaven/Borssele	11,6%	0,02454
Terneuzen	9,3%	0,02406
Overl.v.Hansw./Hansweert.	6,0%	0,02332
Walsoorden/Baalhoek	2,9%	0,02264
Bath	0%	0,02198
Prosperpolder	-0,8%	0,02098

Tabel 6.1 Aanpassingen aan de bodemruwheden zoals die uit WAQAD zijn gekomen
Manningwaarden in $m^{2/3}/s$

Op de Westerschelde is uit deze berekening gekomen dat de bodemruwheid verhoogd moet worden ten opzichte van de beginwaarde ($= 0,022 m^{2/3}/s$). Deze bodemruwheden zijn overgezet naar het fijne model en vervolgens verder aangepast. De uiteindelijke bodemruwheden die gebruikt worden in het fijne model (zie paragraaf 4.2) liggen hoger dan de waarden die uit WAQAD afkomstig zijn.

In bijlage XIV is te zien dat de aanpassingen aan de bodemruwheden bij Vlissingen en Terneuzen nauwelijks effect hebben op de waterstand. Bij Bath wordt de hoogwaterstand beter benaderd en de laagwaterstand slechter. Waarschijnlijk zullen nog meer parameters (bv. zout/zoetverdeling, viscositeit, bodemligging) aangepast moeten worden om een goede benadering van de opgetreden waterbeweging te verkrijgen.

7 Problemen tijdens de afregeling

Tijdens de simulaties ter kalibratie van het fijnmazig model zijn de volgende problemen aan het licht gekomen:

- Instabiliteit bij rand Westkapelle: de rand van het punt Oostgat tot Westkapelle ($m = 46$) levert instabiliteiten in de roosterpunten dicht bij de rand op. Dit komt doordat de rand van het model schuin door een diepe vaargeul (Oostgat) loopt en direct achter de rand deze geul een bocht maakt. Vooral bij springtij (hoge stroomsnelheden) treden er instabiliteiten op.
Als oplossing voor deze problemen is de rand Oostgat Noord-Westkapelle dicht gezet. Dit betekent dat er geen debieten meer door deze rand kunnen stromen en dat bij Westkapelle geen waterstandsrand meer aanwezig is (zie paragraaf 3.3). Het Oostgat trekt daarom in de huidige berekeningen een te klein debiet.
Bij een ander getij of bij het grofmazig model zijn er nauwelijks problemen geweest bij deze rand.
- Instabiliteiten bij Terneuzen. Bij springtij treedt rond kentering (vloedstroom in diepe geul, ebstroom aan de oever) aan de oever een neer op. Deze ontstaat doordat de overgang in bodemdiepte in langsrichting te sprongsgewijs verloopt. Door een geleidelijker diepteverloop is dit verholpen.
- Instabiliteiten bij Perkpolder, Antwerpen en Rupelmonde. Voornamelijk rond havenmonden en scherpe bochten in het model treden er bij maximale stroomsnelheden soms problemen op. Dit betreft slechts zeer kleine en tijdelijke problemen. Wanneer op een van deze plaatsen de problemen bij toekomstige berekeningen groter worden kan dit verholpen worden door een grotere viscositeit te gebruiken. Hierdoor wordt de stroming op plaatsen waar scherpe bochten zijn of een neer ontstaat beter gesimuleerd.
De instabiliteiten bij Perkpolder zijn verholpen door de kustlijn wat vloeiender te laten verlopen.

8 Conclusies en aanbevelingen

Het SCALWEST-model is na de bouw gecalibreerd op waterstanden voor een springtij en doottij en geverifieerd voor een gemiddeld getij en 2 stormen. Tijdens de calibratie zijn opgetreden getijden met het model berekend. De verschillen in amplitudes tussen de meting en berekening waren kleiner dan 2%. Alleen lag de gemiddelde waterstand bij Antwerpen tijdens de berekening 12 cm. hoger. Hier wordt nog bij de aanpassing van de Zeeschelde naar gekeken.

Tevens is het model gecalibreerd voor 3 debietraalen. De berekende en gemeten getijvolumes verschillen maximaal 7,5 % van elkaar. Een uitzondering hierop is het ebvolume door het Vaarwater langs de Hoofdplaat waar het verschil 10,4% is. Dit is echter een kleine geul zodat het verschil geen grote invloed heeft op de getijvolumes in de overige geulen van de Westerschelde. Aangezien de (snelheids)metingen niet zo nauwkeurig zijn als de waterstandsmetingen is afgezien van verdere calibratie van de getijvolumes. De berekening van een gemiddeld getij ter verificatie komt goed overeen met de meting. De maximale verschillen tussen hoog en laagwaterstanden zijn maximaal 6 cm. Een uitzondering hierop is Antwerpen waar de laagwaterstanden goed overeenkomen maar de berekende hoogwaterstanden 20 cm boven de gemeten hoogwaterstanden liggen. Zoals hierboven al genoemd wordt hier nog nader naar gekeken. In de overige waterstand stations is er nauwelijks verschil in de fase (maximaal 6 minuten).

De tweede verificatieperiode was een augustusstorm. Tijdens deze storm was er een grote variatie in windsnelheid over de Westerschelde. Het ontbrak aan tijd om dit veld goed in het model te brengen en daarom zijn als invoer uniforme windsnelheden en richtingen gebruikt. Daardoor zijn er grote verschillen tussen de gemeten en berekende waterstanden. De verschillen in laagwaterstanden lopen in oostwaartse richting op. Bovendien dempt de getijgolf in deze richting te sterk.

Daarom is een derde verificatieperiode berekend, ditmaal een storm die in oktober 1996 plaatsvond. De berekende waterstanden liggen nu veel dichterbij de gemeten waterstanden. De maximale verschillen tussen hoog- en laagwaterstanden zijn nu maximaal 10 cm. Een uitzondering hierop is wederom Antwerpen.

Concluderend kan gezegd worden dat het SCALWEST-model de waterbeweging in de Westerschelde goed simuleert. De waterbeweging op de Zeeschelde verdient echter nog wel nader onderzoek en verbetering.

Het model is zo goed als operationeel en kan standalone gedraaid worden. Er zijn nog wel een aantal aandachtspunten waar in de nabije toekomst naar gekeken moet worden.

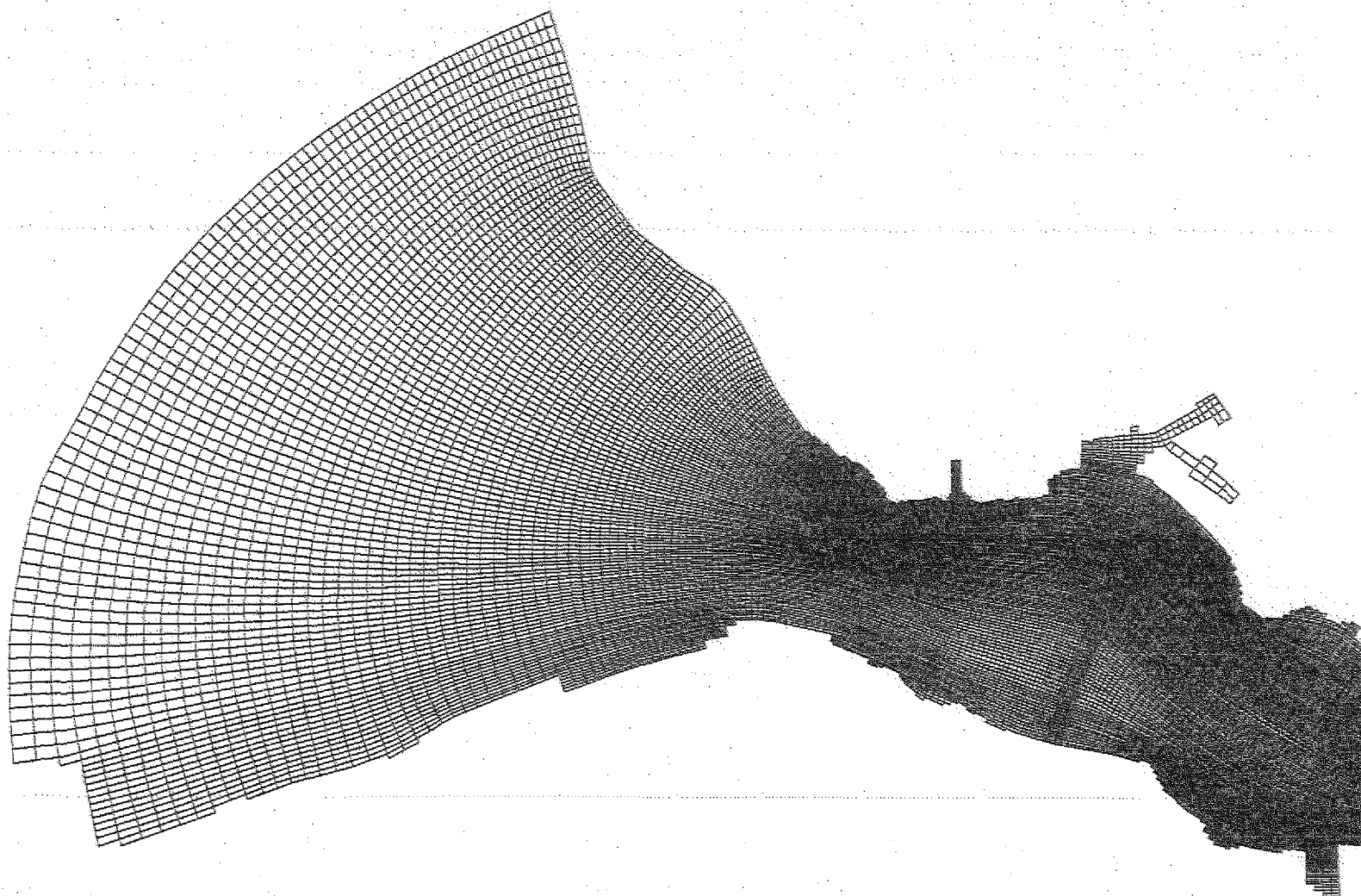
- Uit stabiliteitsoverwegingen is de rand Oostgat-Westkapelle dicht gezet. Hierdoor wordt min of meer het Oostgat afgesloten. Door het Oostgat tot de lijn $n=49$ door te trekken kan dit verholpen worden. Daarbij moet ook gekeken worden naar de eventuele aanpassingen die nodig zijn op de randvoorwaarden. Getracht moet worden om de waterbeweging bij Westkapelle goed te krijgen.
- Voor een meer realistische modellering van de Zeeschelde en haar zijtakken is het verstandig om een nieuwe modellering voor de Zeeschelde te maken. Inmiddels wordt hieraan door het ingenieursbureau Alkyon gewerkt.
- In de modellering is de windrichting en -snelheid bij Hansweert gebruikt. Een vraag die hierbij rijst is hoe de wind varieert over het gebied en welke gevolgen dat heeft voor de waterbeweging. Het verdient de aanbeveling om nog een zeer zware storm met het model te berekenen (januari of februari 1990). Het verdient bovendien de aanbeveling om ook een nieuw initieel zoutveld aan te maken dat aangepast is aan de huidige situatie.
- Om de randvoorwaarden te checken op hun betrouwbaarheid kan in de toekomst misschien een berekening gedaan worden m.b.v. een Kalman-filter. De randvoorwaarden zijn bepaald door uit een waterstandsstation met behulp van verlooplijnen van de M2-component op de randvoorwaardepunten de waterstand te berekenen. De overige componenten (bv. S2, M4) zijn dus niet aangepast.

Literatuurlijst

- Banning, G. van, *Roostergeneratie Westerschelde, Kuststrook en Zuidelijke Noordzee. Deel 1: Roostergeneratie Westerschelde*. Emmeloord: Alkyon Hydraulic Cosultancy, 1997a
- Banning, G. van, *Roostergeneratie Westerschelde, Kuststrook en Zuidelijke Noordzee. Deel 2: Redesign Kuststrookmodelrooster*. Emmeloord: Alkyon Hydraulic Cosultancy, 1997b
- Brouwer, J.R., E.E.A. Mouthaan, M. Verlaan, *User's Guide WAQAD*. Werkdocument RIKZ/OS-96.115x. Den Haag: Rijksinstituut voor Kust en Zee, april 1996
- Dekker, L., P. Lieveense en C. van der Male, *Calibratie en verificatie SCALDIS100*. RIKZ/AB-94.839x. Middelburg: Rijksinstituut voor Kust en Zee, oktober 1994
- Dekker, L., *Scaldis: Modeloriëntatie, randvoorwaarden, beginvoorwaarden en metingen*. Memo. Rijkswaterstaat Directie Zeeland. september 1993
- EDS, *User's Guide WAQUA*. SIMONA-rapportnr. 92-10. Rijkswaterstaat/Rijksinstituut voor Kust en Zee, januari 1996
- Lieveense, P., *Waterbewegingsmodel SCALDIS400*. Rapport nr. AX 94.072. Middelburg: Rijkswaterstaat Directie Zeeland, december 1994
- Meetdienst Zeeland, *Debietmeting (ADCP) Westerschelde Raai - 9, 3 en 5 juli 1996*. Notitie nr. ZLMD-96.N.013A. Vlissingen: Afdeling AXMH, Meetdienst Zeeland, december 1996
- Meetdienst Zeeland, *Debietmeting (ADCP) Westerschelde Raai - 3, 14 en 15 oktober 1996*. Notitie nr. ZLMD-96.N.041A. Vlissingen: Afdeling AXMH, Meetdienst Zeeland, februari 1997a
- Meetdienst Zeeland, *Debietmeting (ADCP) Westerschelde Raai - 5A, 30 sept. en 1 okt. 1996*. Notitie nr. ZLMD-96.N.043A. Vlissingen: Afdeling AXMH, Meetdienst Zeeland, februari 1997b
- Verbeek, H., *Morfologisch onderzoek van de Westerschelde, een zoektocht naar de mogelijkheden*. Werkdocument RIKZ/OS-96.814x. Middelburg: Rijksinstituut voor Kust en Zee, mei 1996

Bijlagen

Rooster SCALWEST-fijn

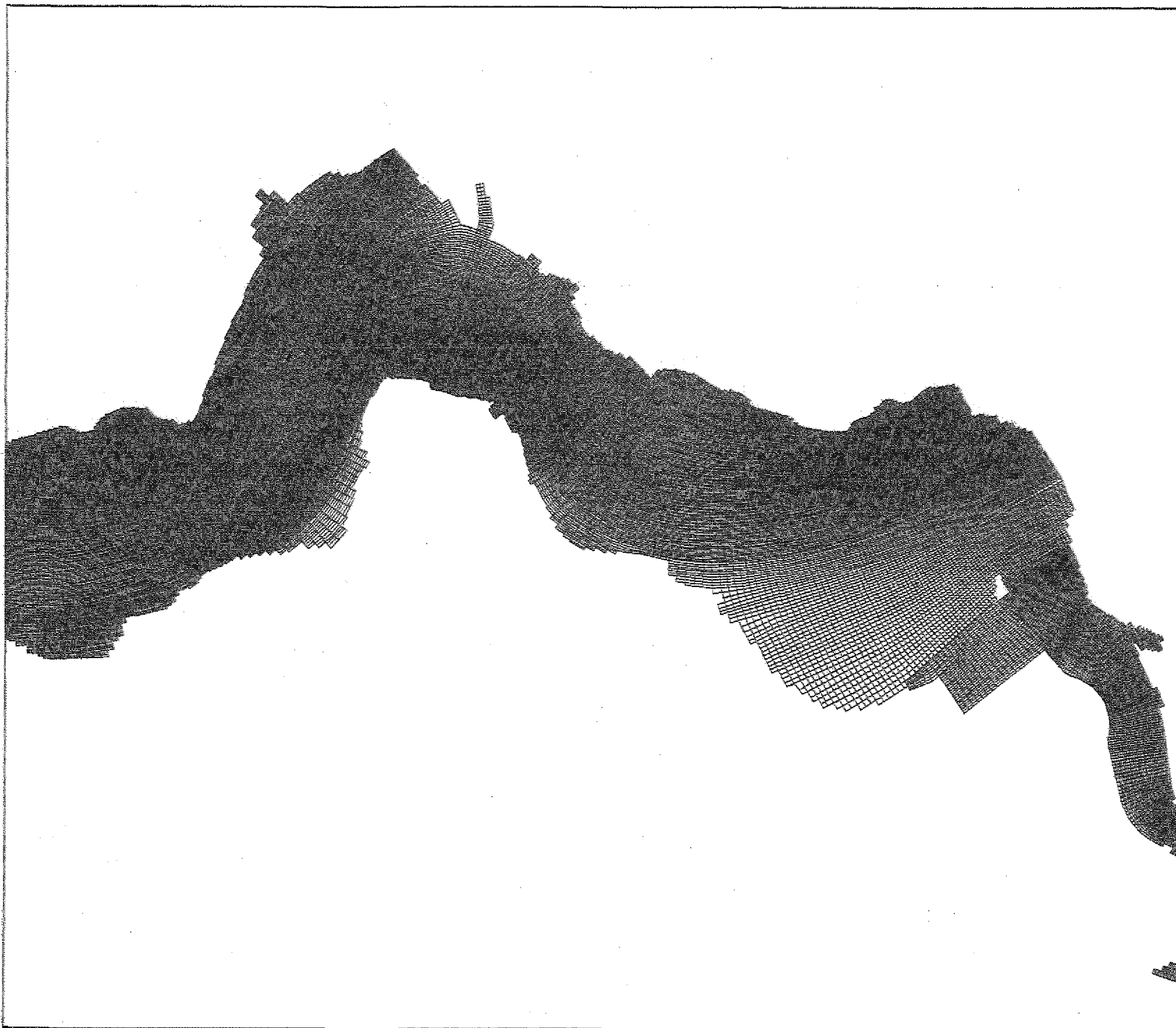


Schaal: 1:198.000

Verdiep



Rijksinstituut voor Kust en Zee
Rijkswaterstaat



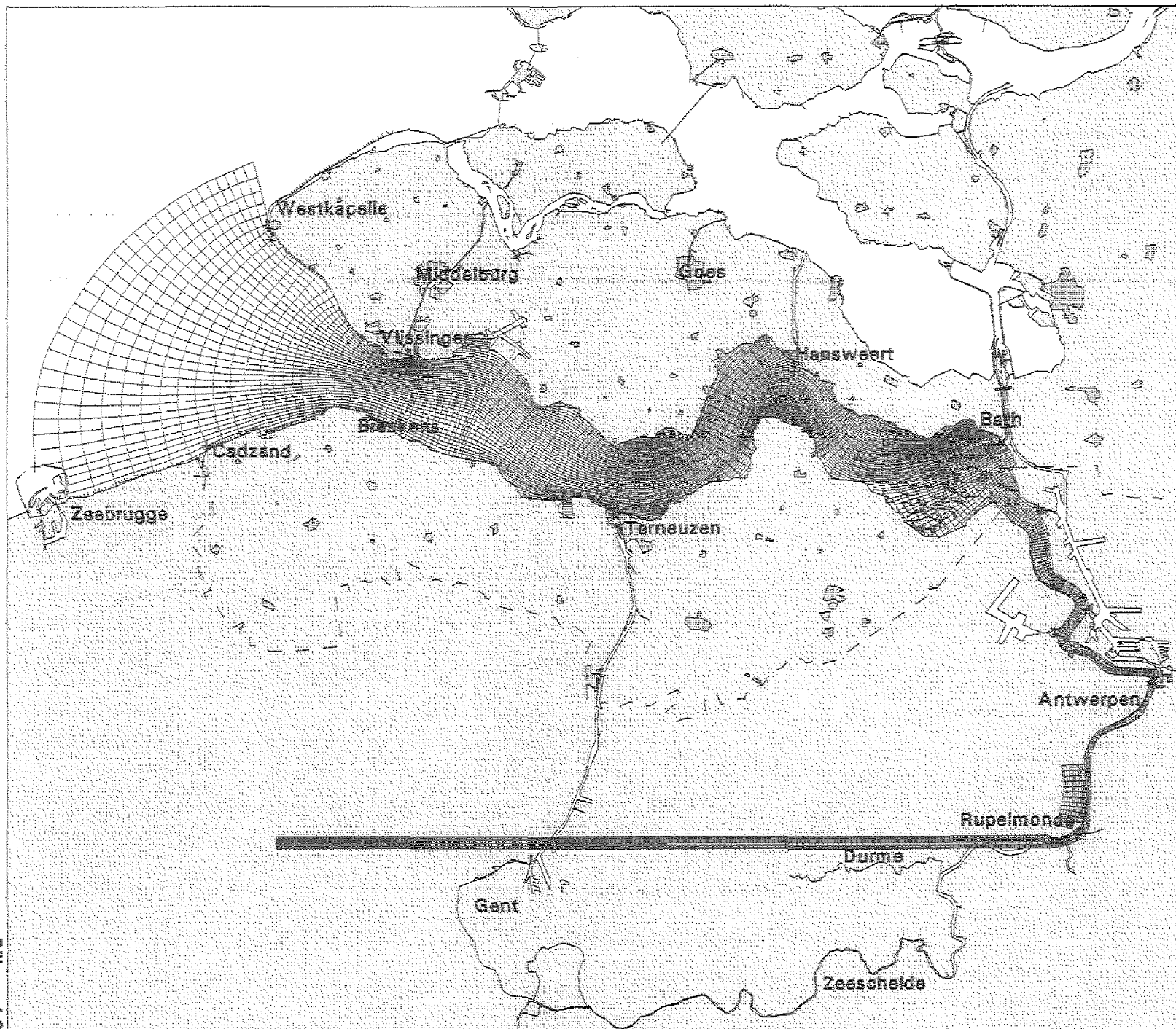
Rooster SCALWEST-fijn

Schaal: 1:150.000



Verdiep

Rijksinstituut voor Kust en Zee
Rijkswaterstaat



Rooster Scalwest-grof

Bijlage I.2

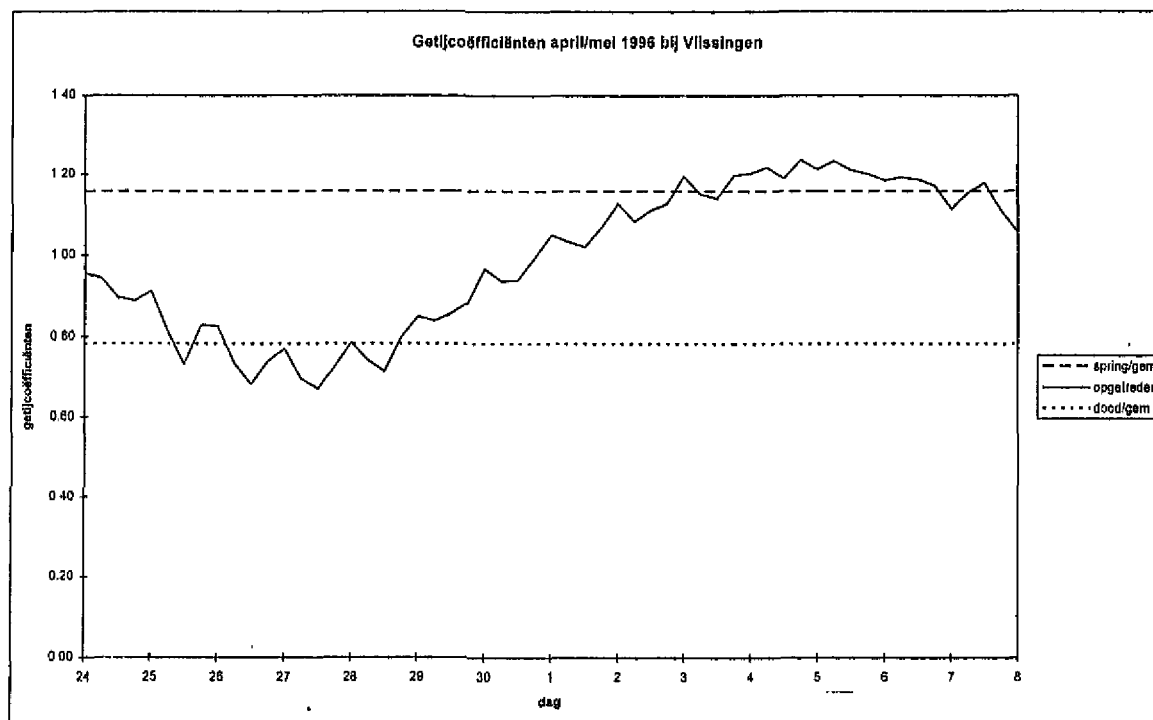
Schaal: 1:413.000

Verdieping

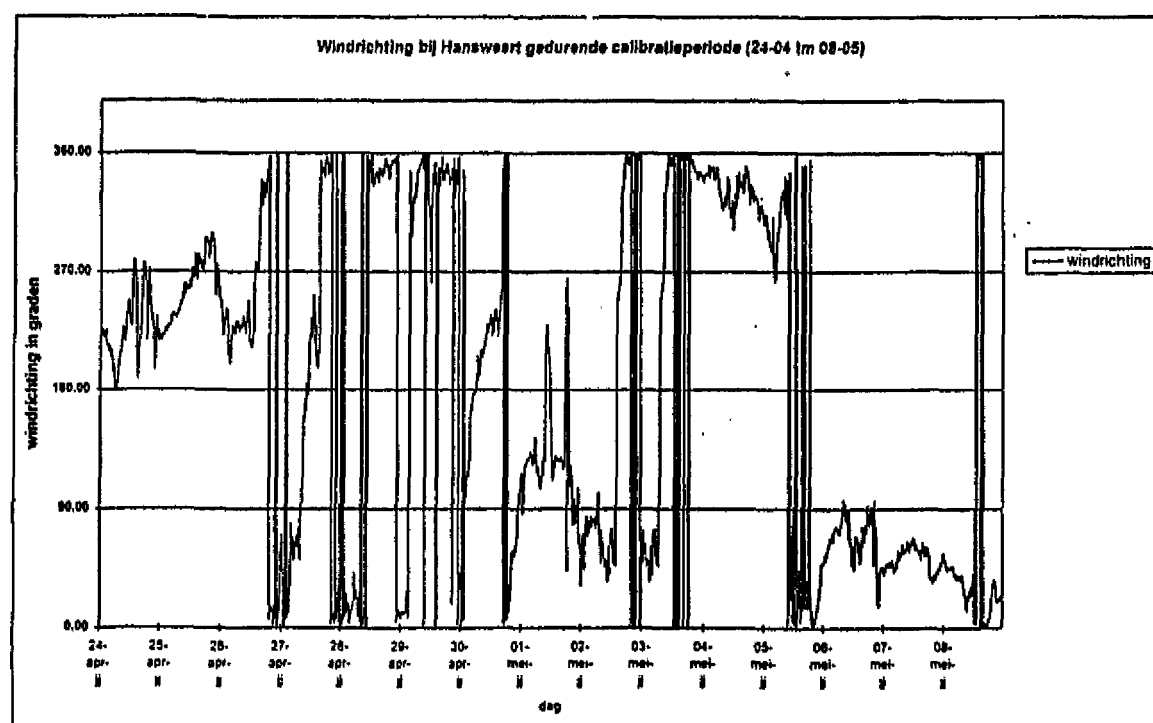
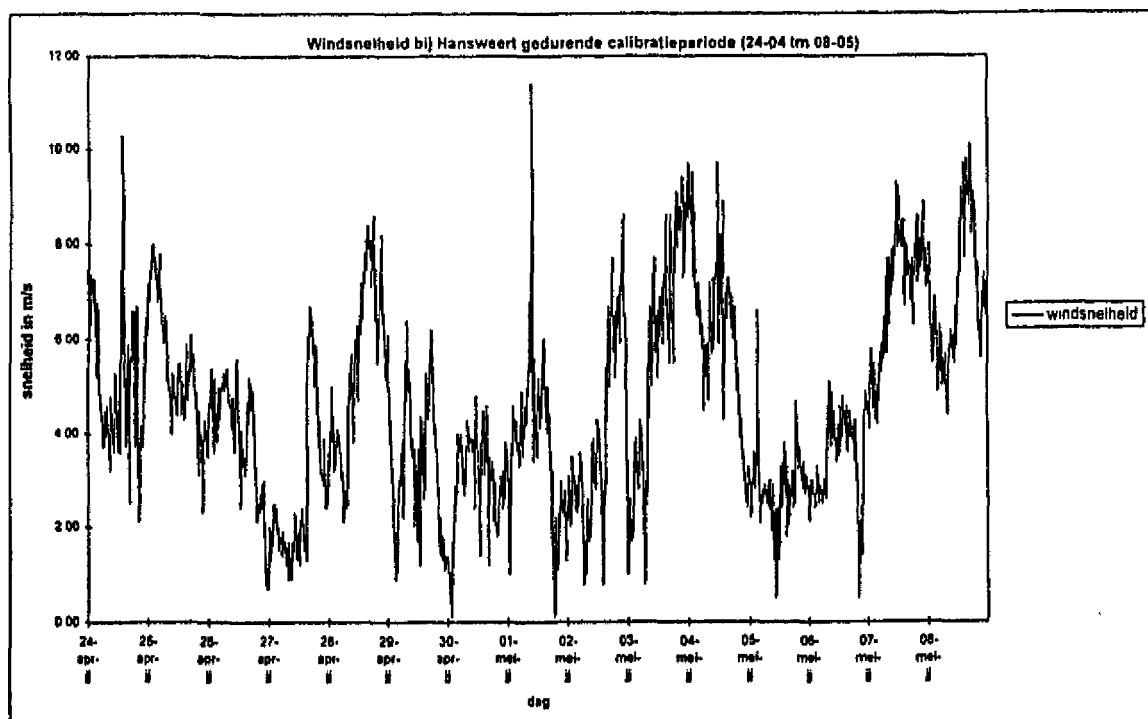


Rijksinstituut voor Kust en Zee
Rijkswaterstaat

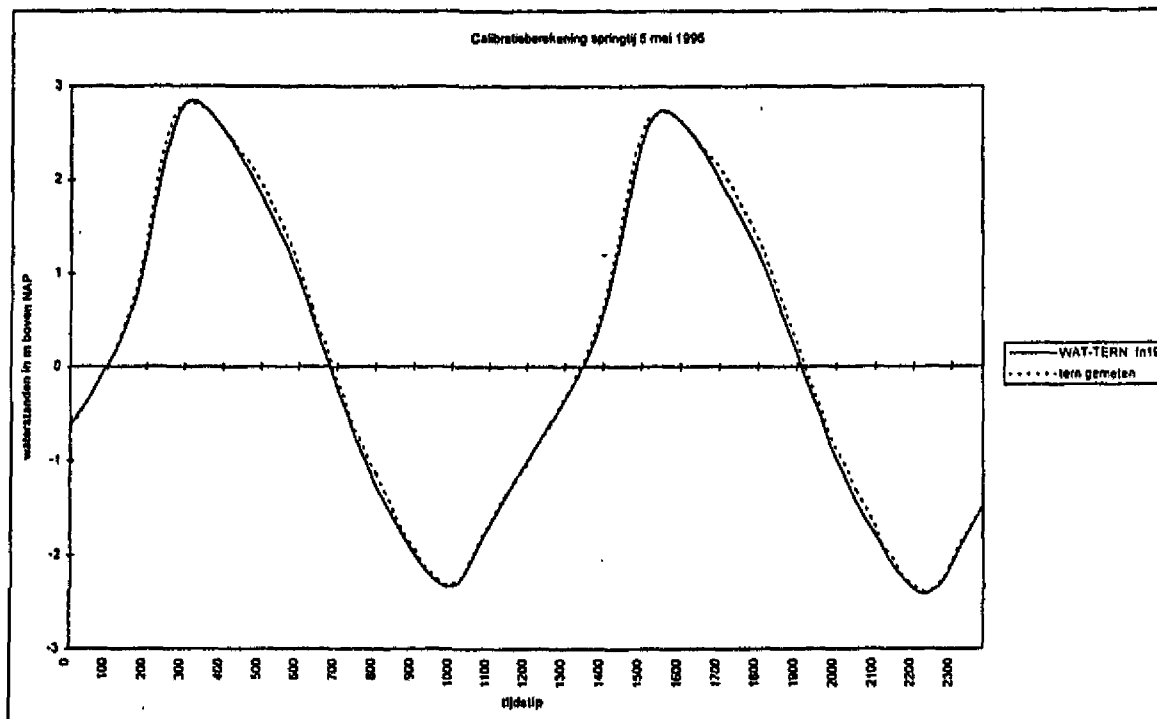
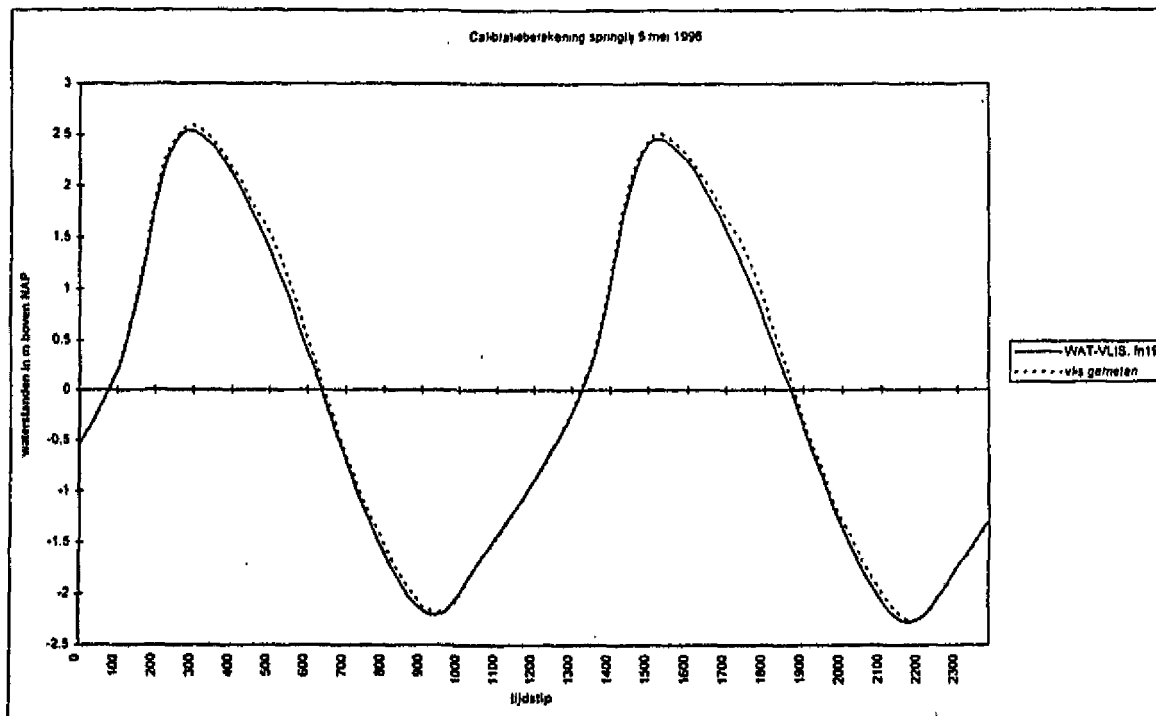
Bijlage II.1 Getijcoëfficiënten calibratieperiode



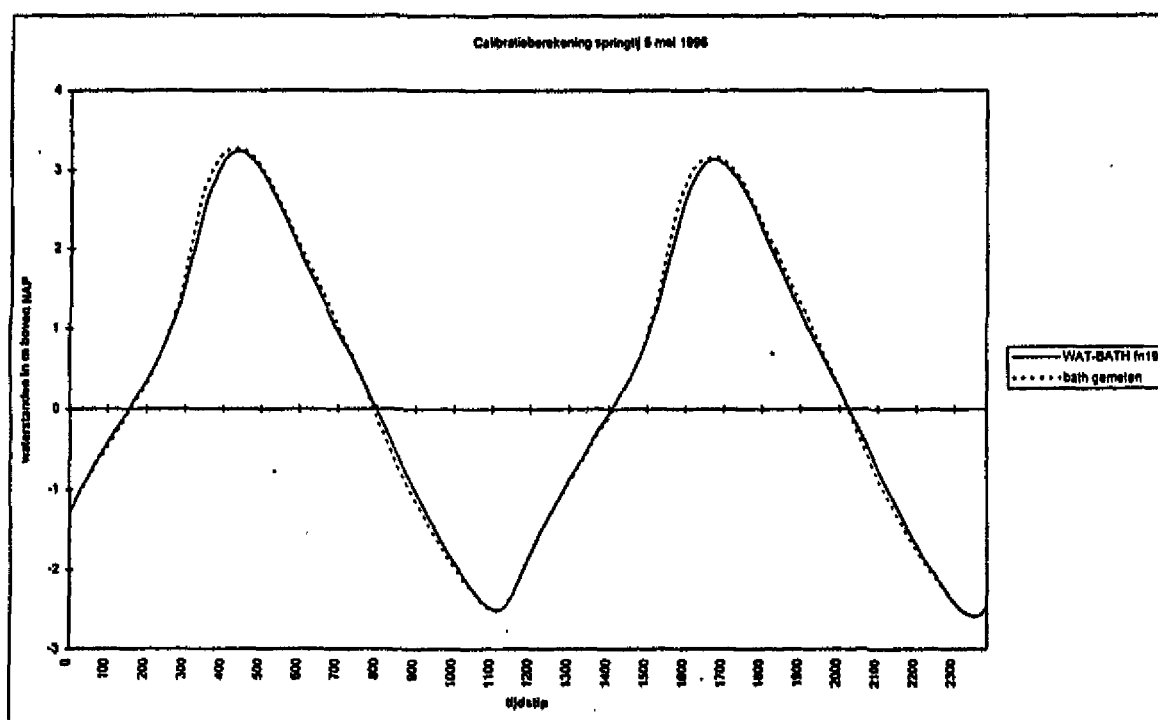
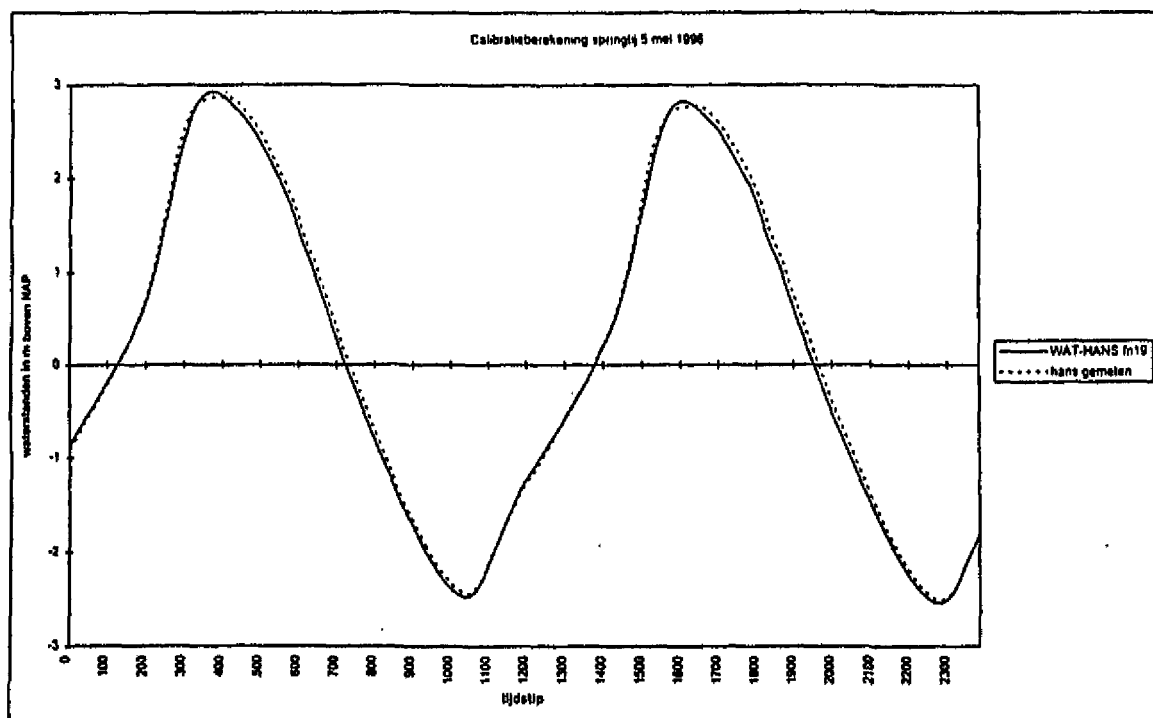
Bijlage II.2 Windgegevens calibratieperiode



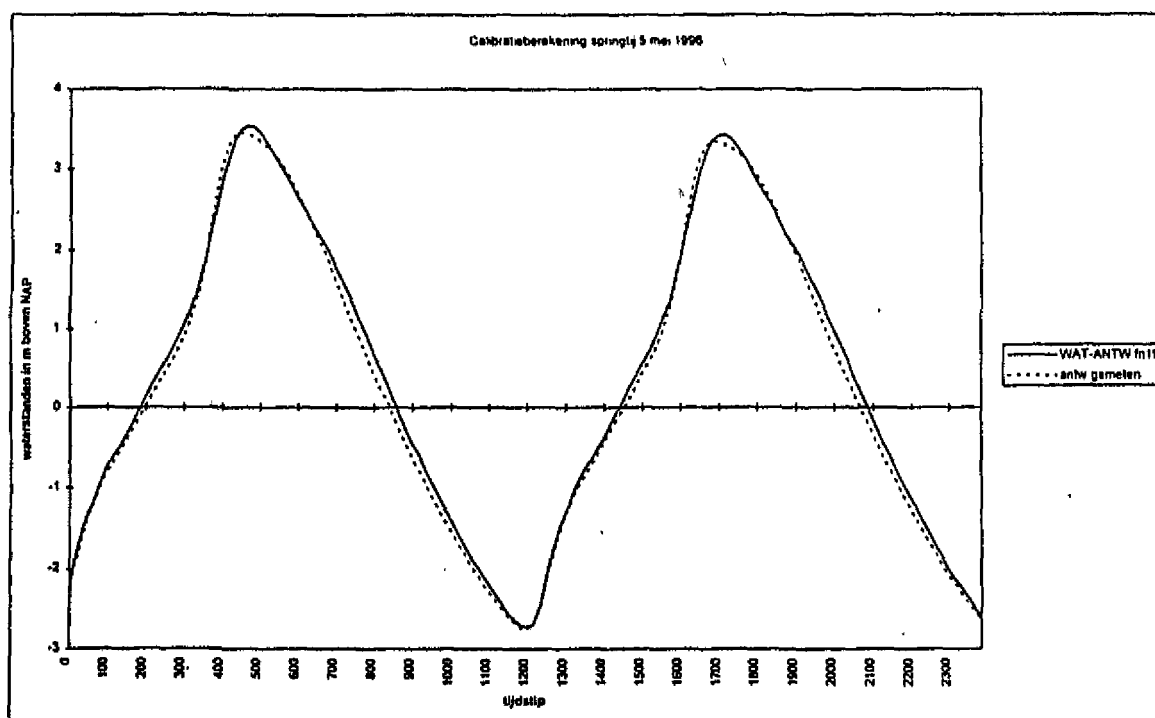
Bijlage III Resultaten calibratieperiode voor springtij



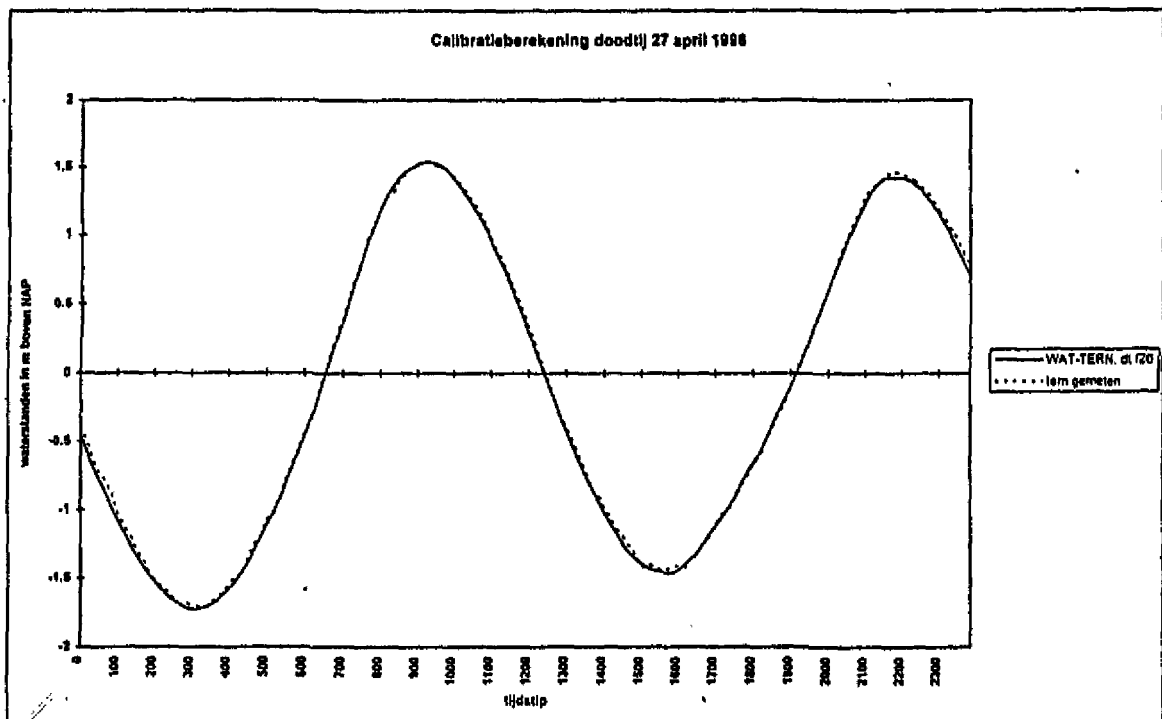
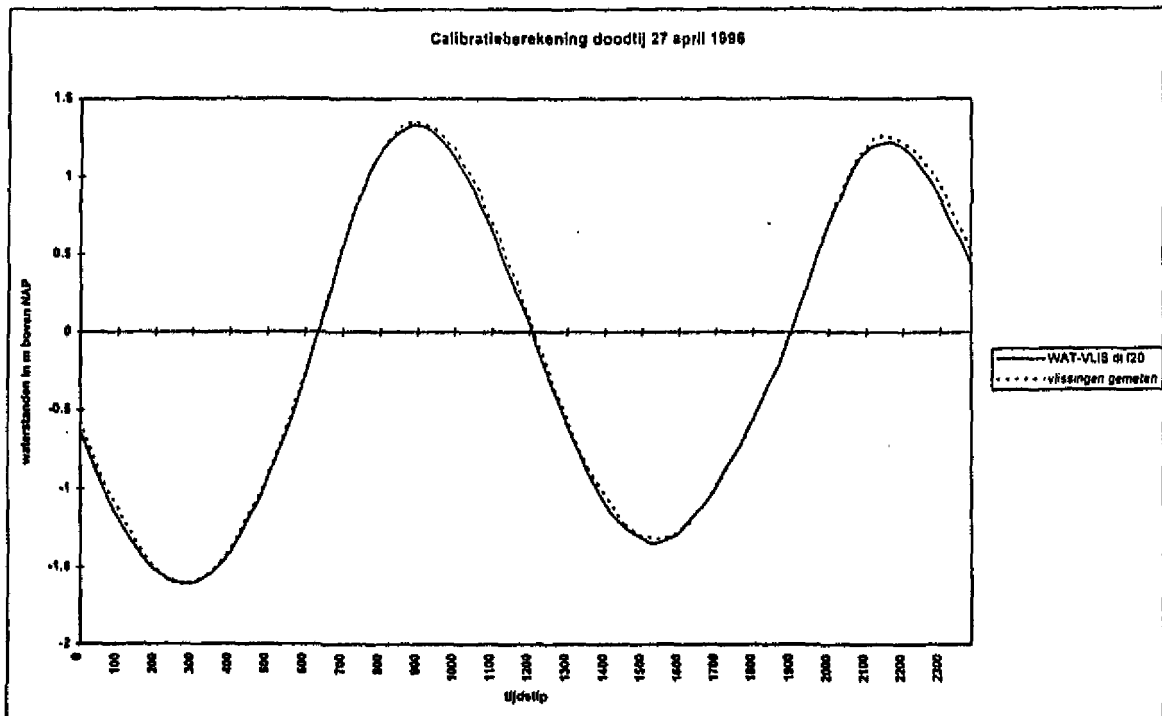
Bijlage III Resultaten calibratieperiode voor springtij



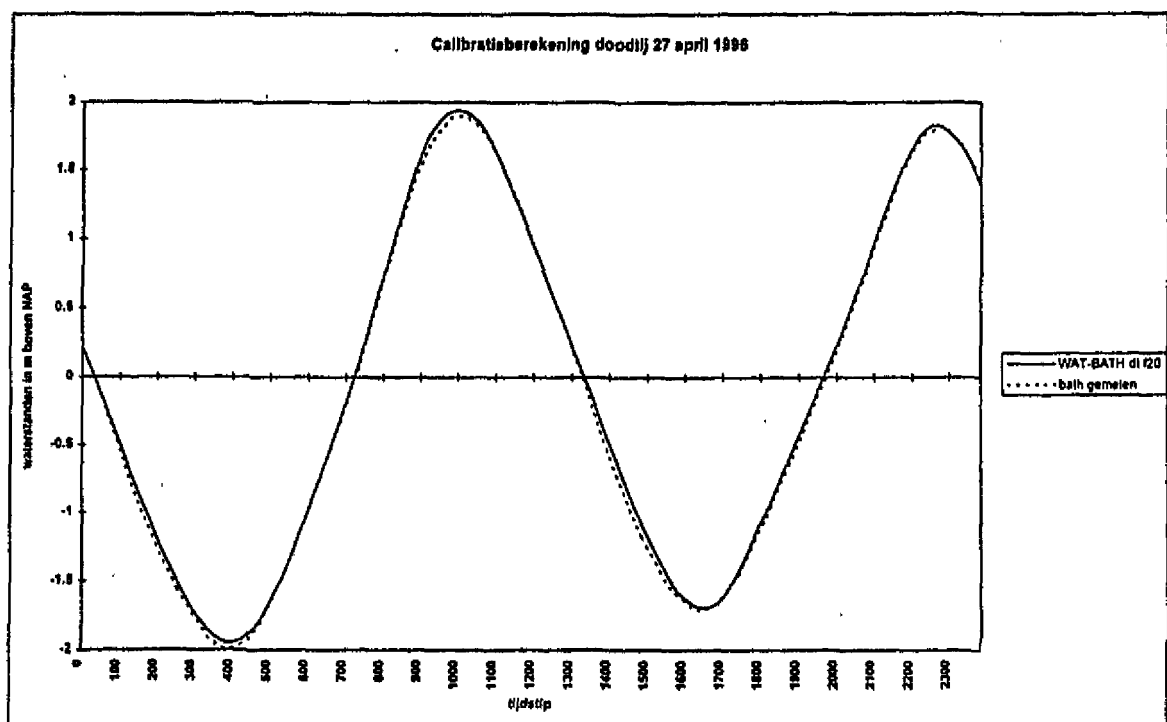
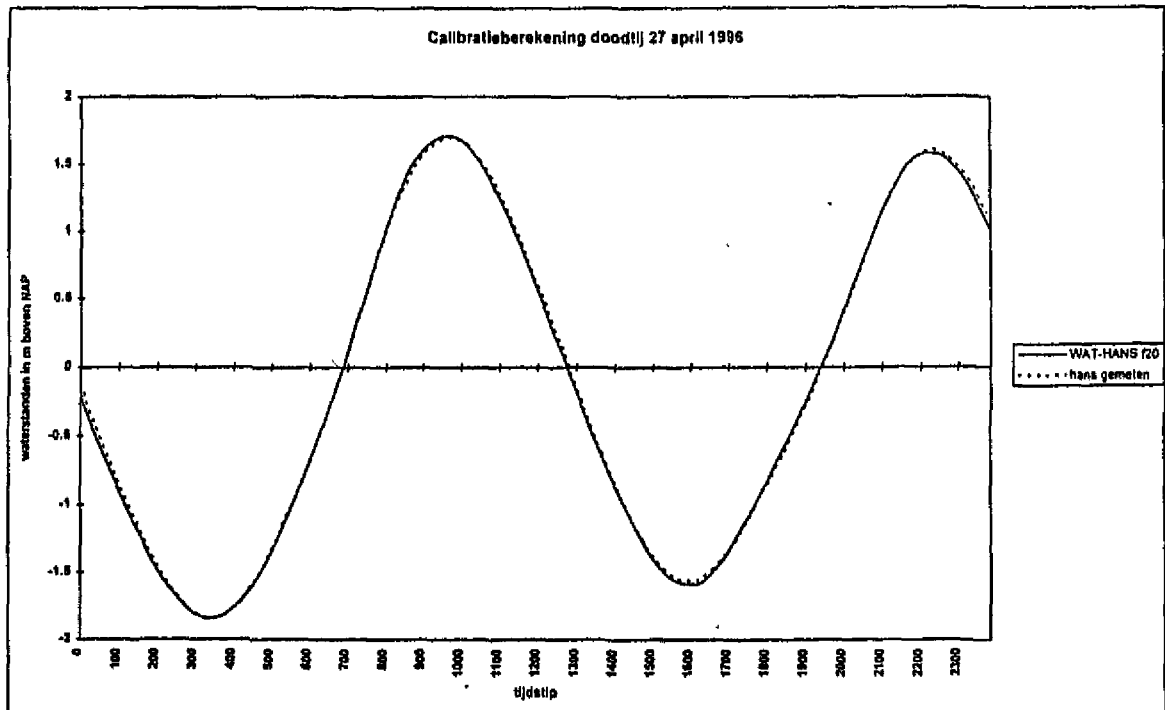
Bijlage III Resultaten calibratieperiode voor springtij



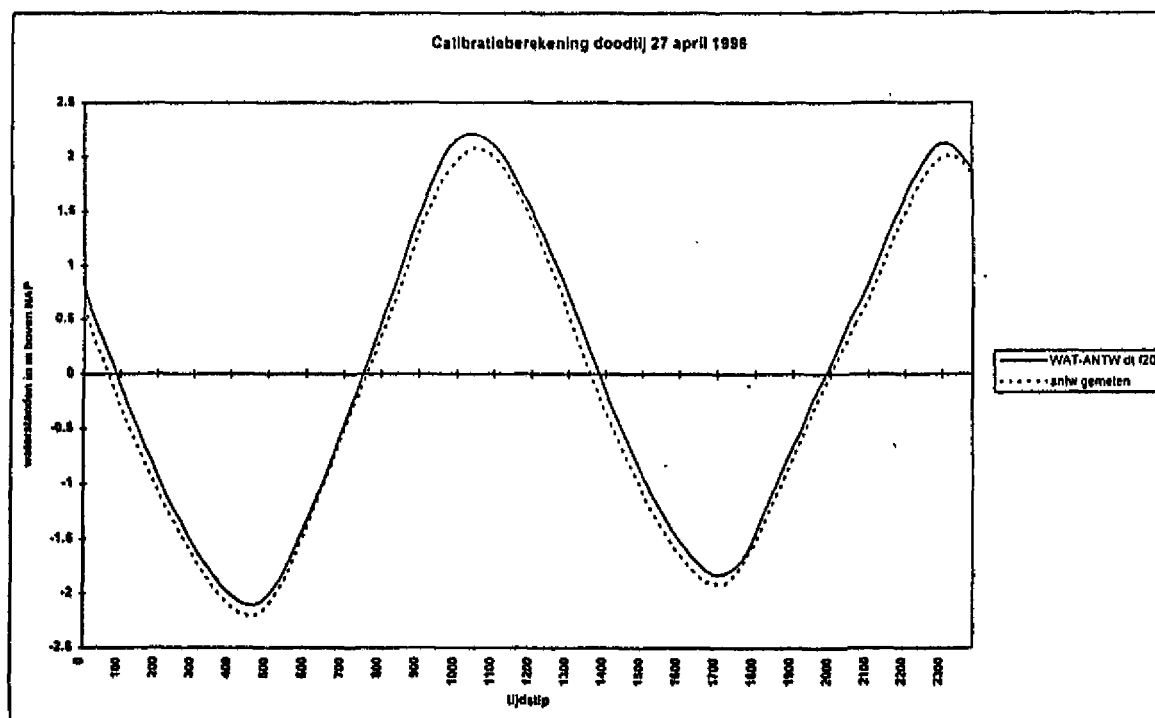
Bijlage IV Resultaten calibratieperiode voor doottij

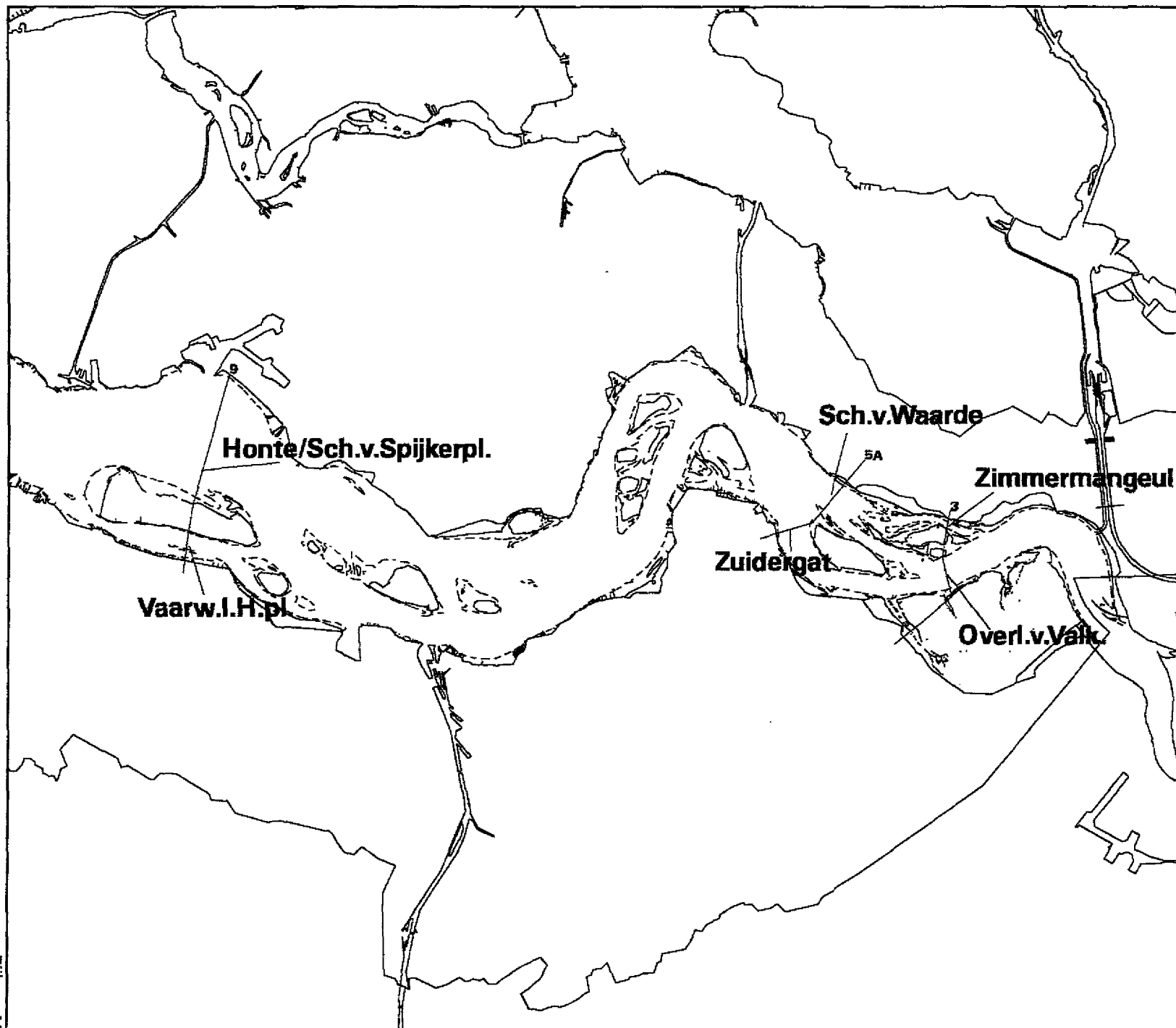


Bijlage IV Resultaten calibratieperiode voor doodtij



Bijlage IV Resultaten calibratieperiode voor doortij





Debietraaien calibratie

Bijlage V

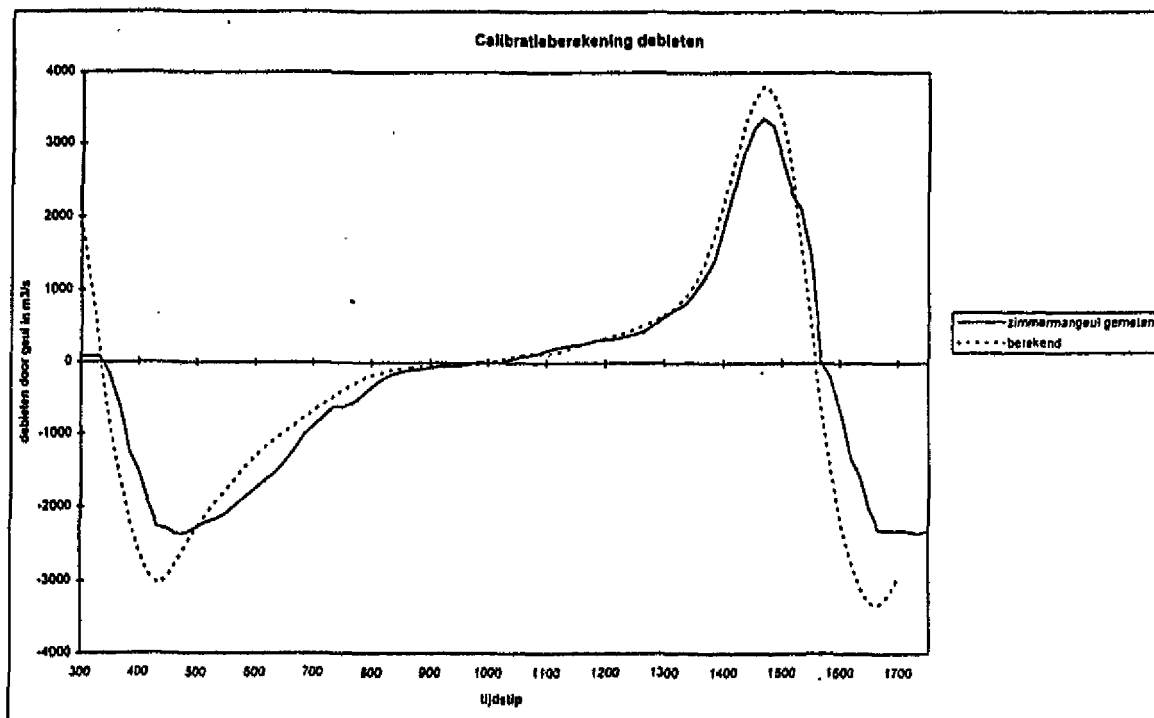
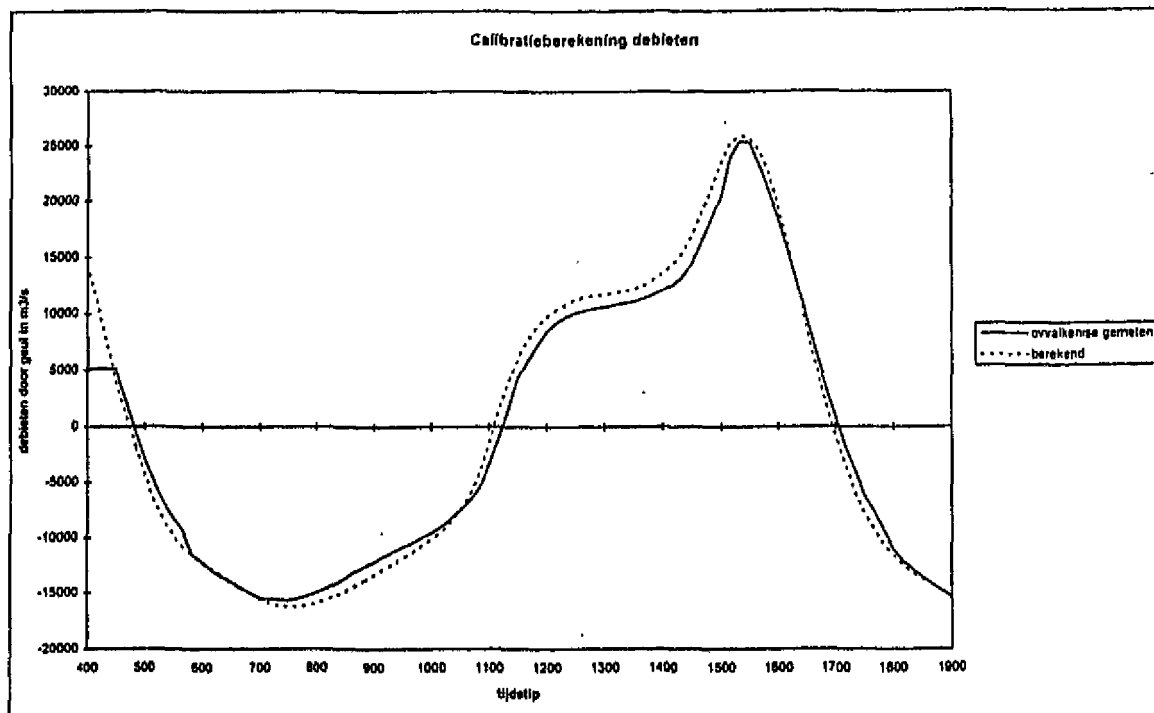
Schaal: 1:240.000

Verdieping

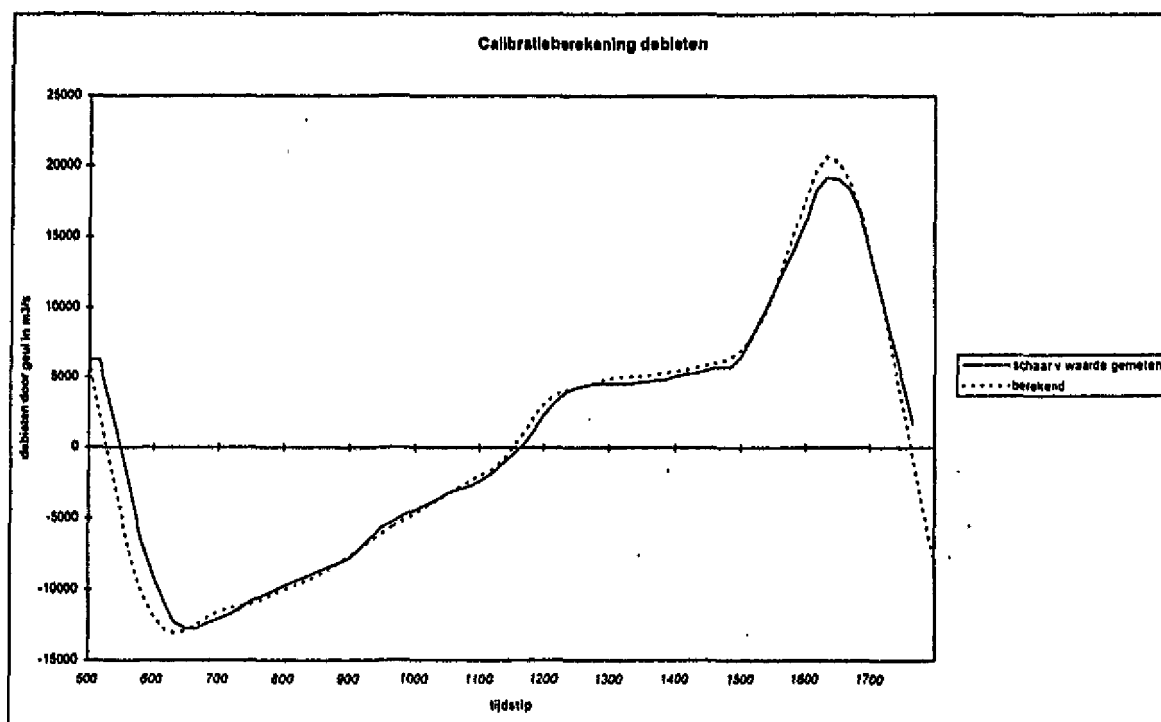
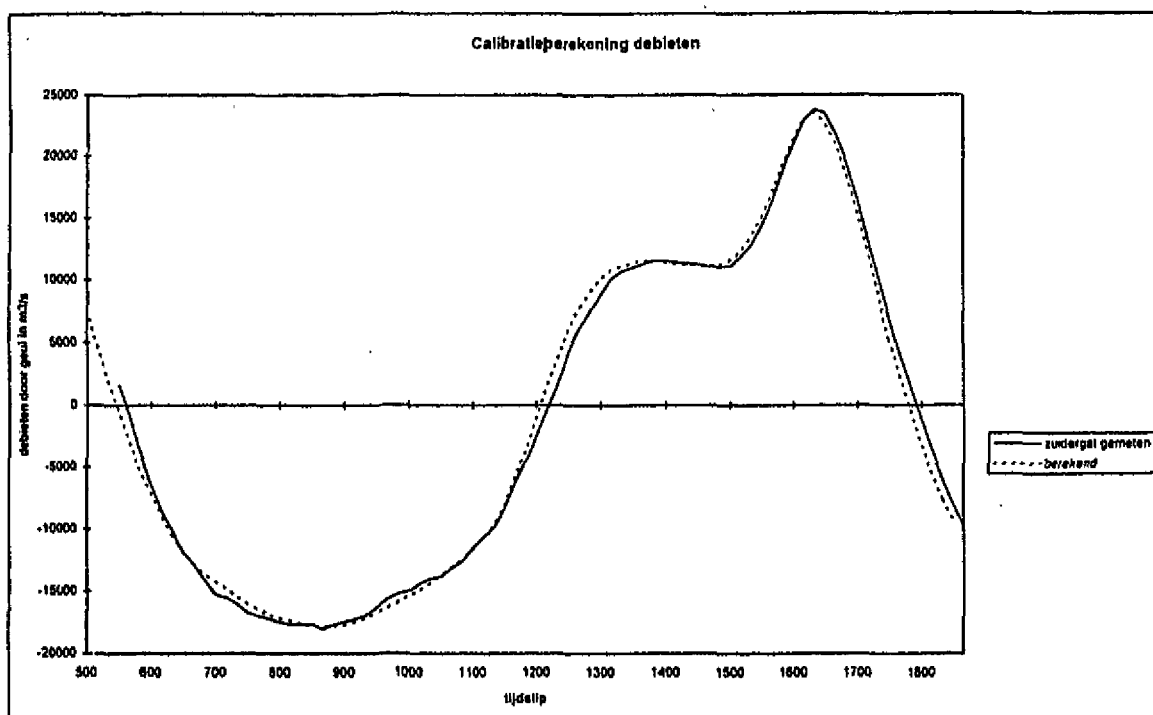


Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee

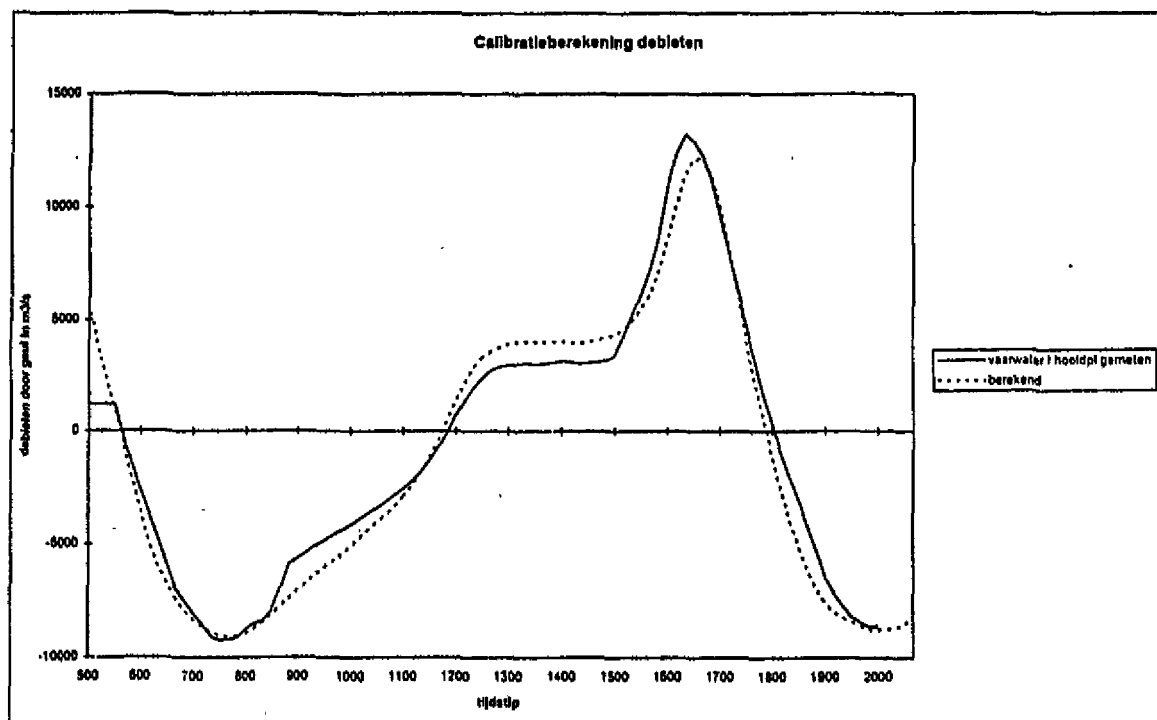
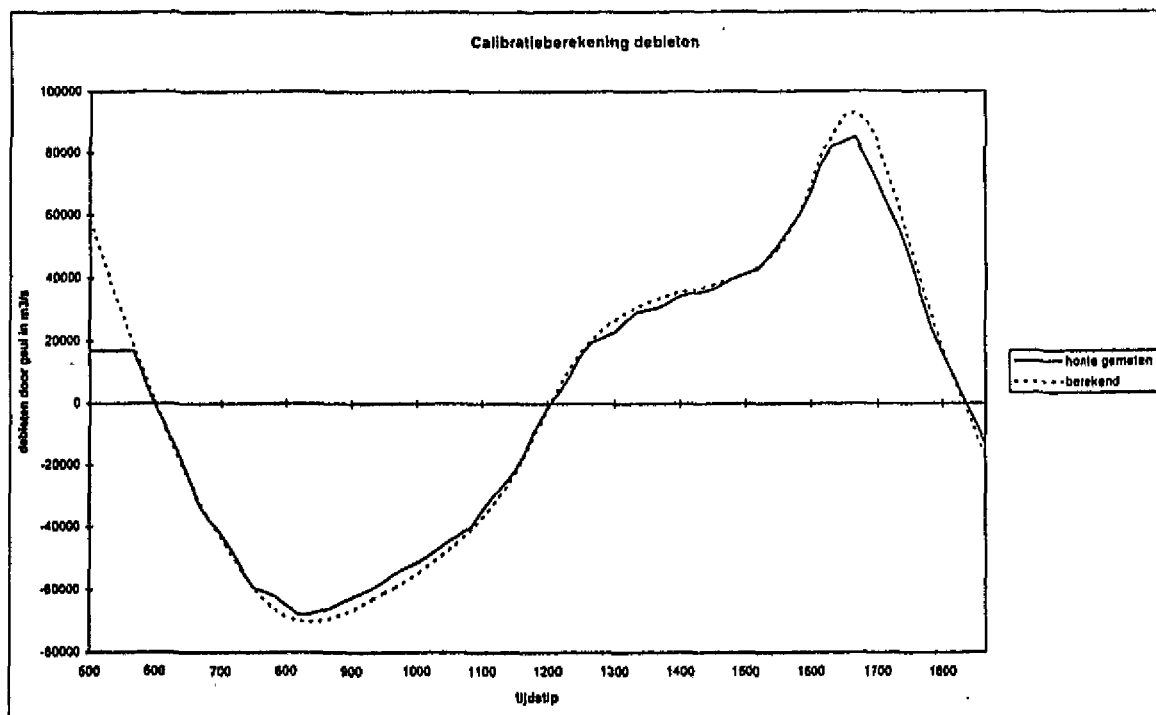
Bijlage VI Debieten calibratie



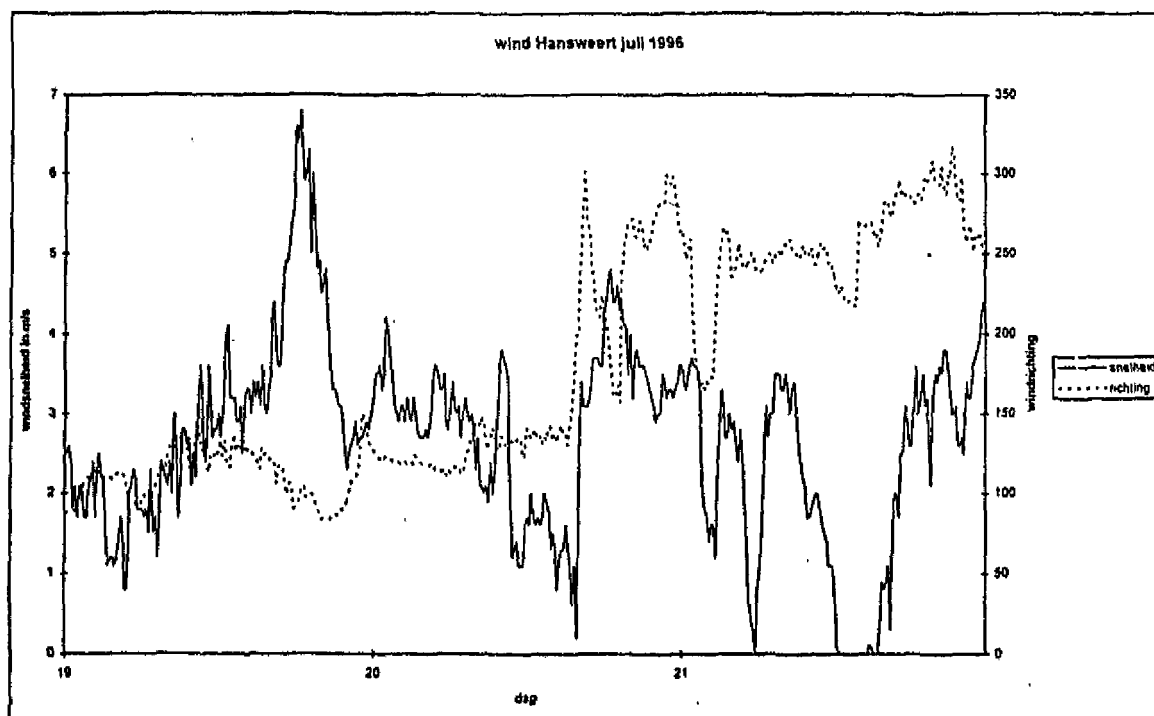
Bijlage VI Debieten calibratie



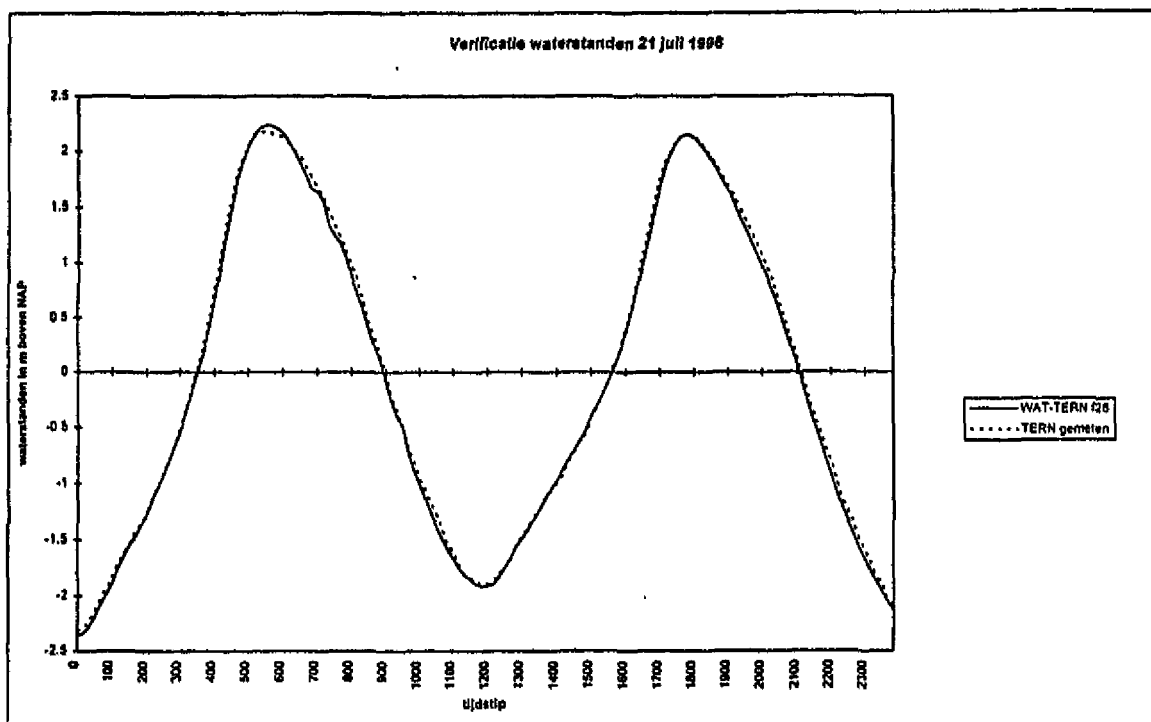
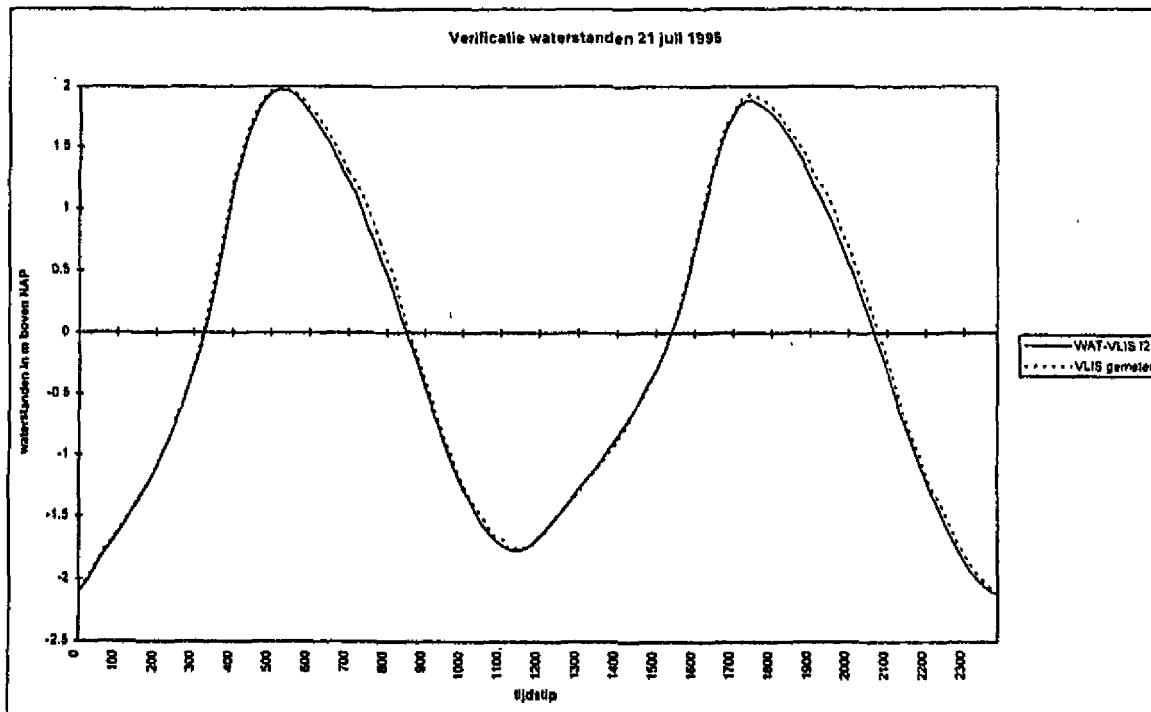
Bijlage VI Deblaten calibratie



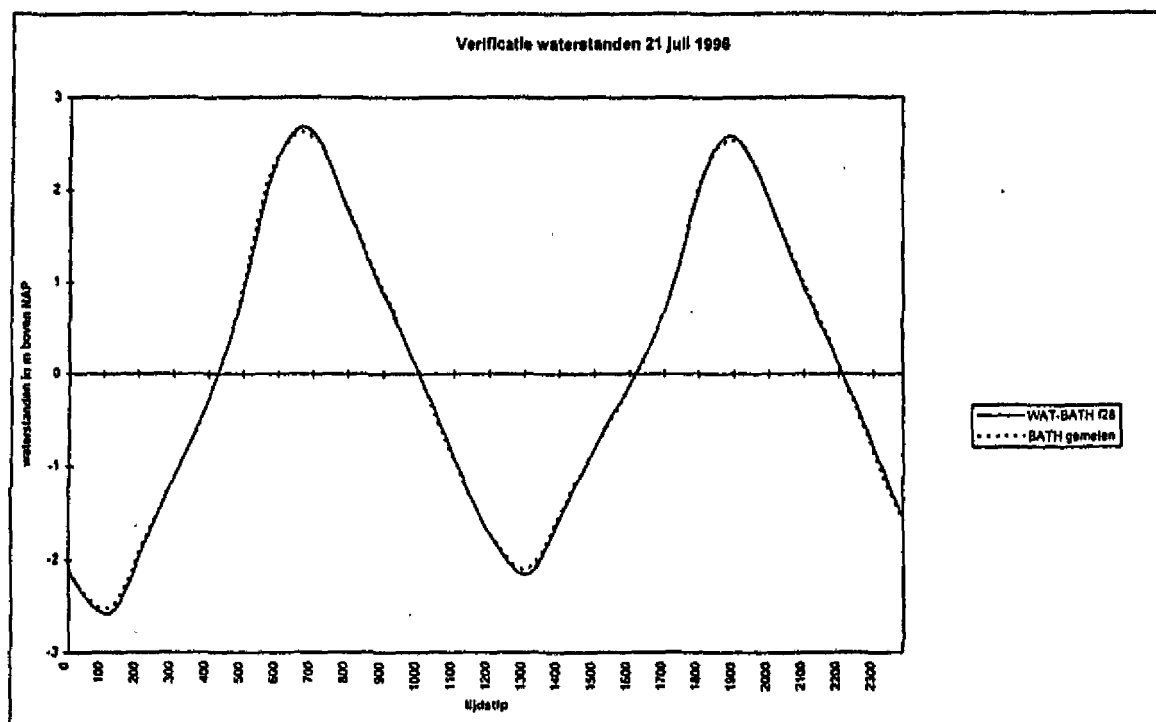
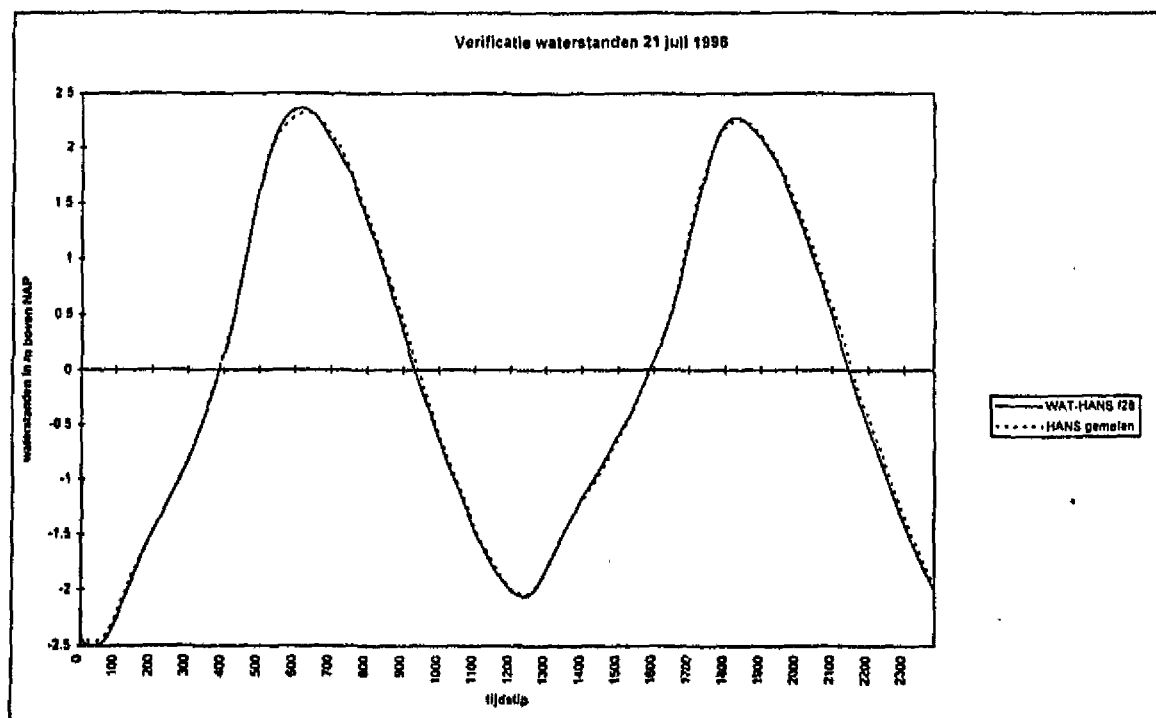
Bijlage VII Windgegevens tijdens verificatieperiode 20-21 juli



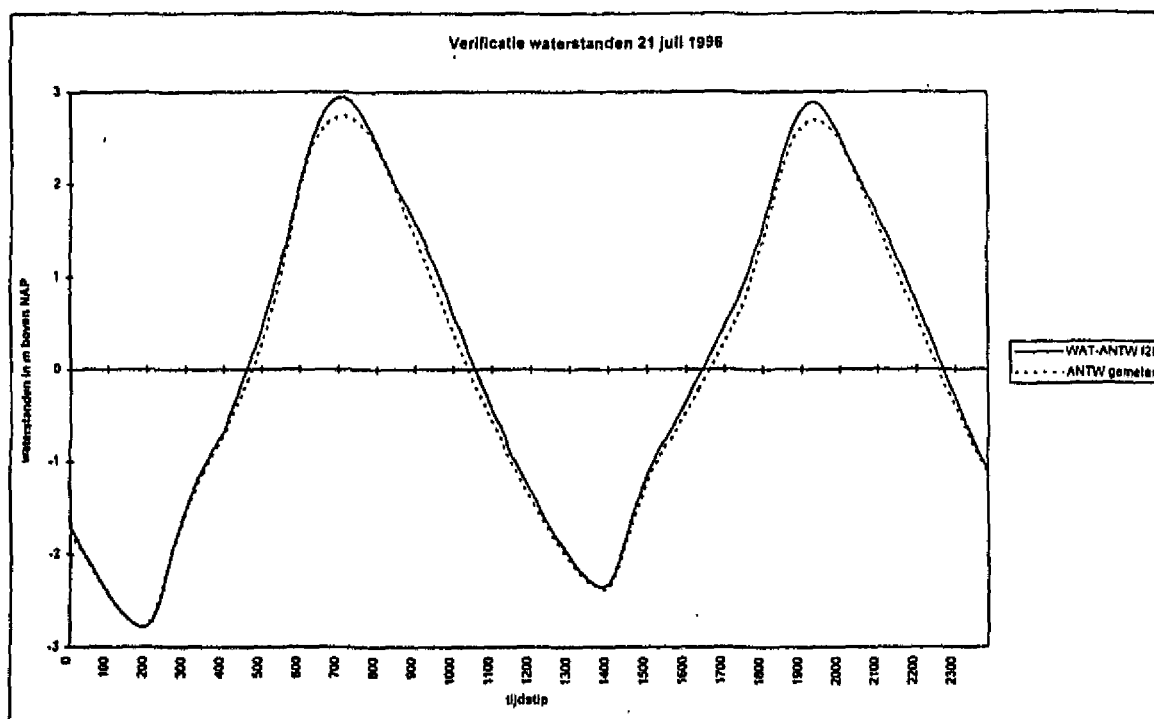
Bijlage VIII Waterstanden op 21 juli



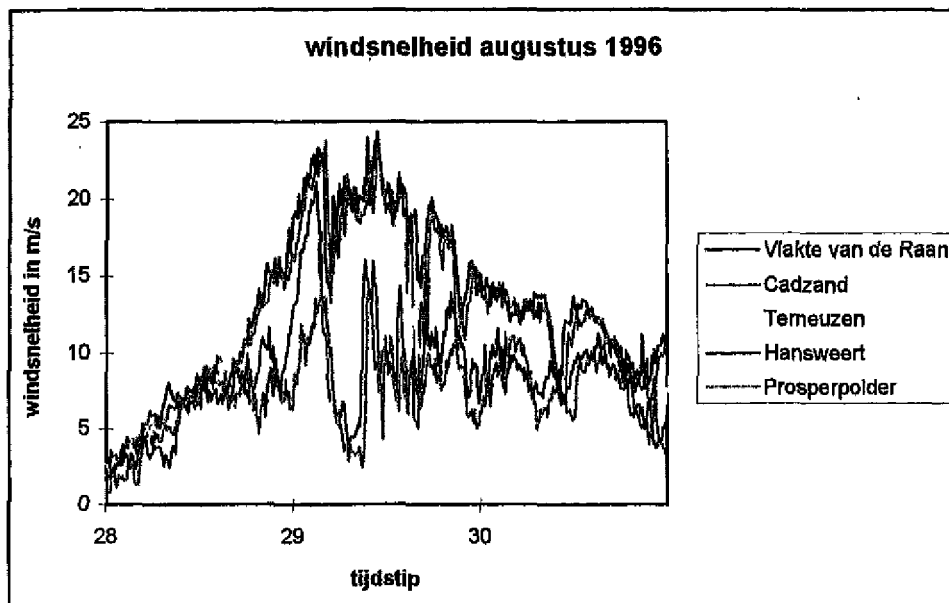
Bijlage VIII Waterstanden op 21 juli



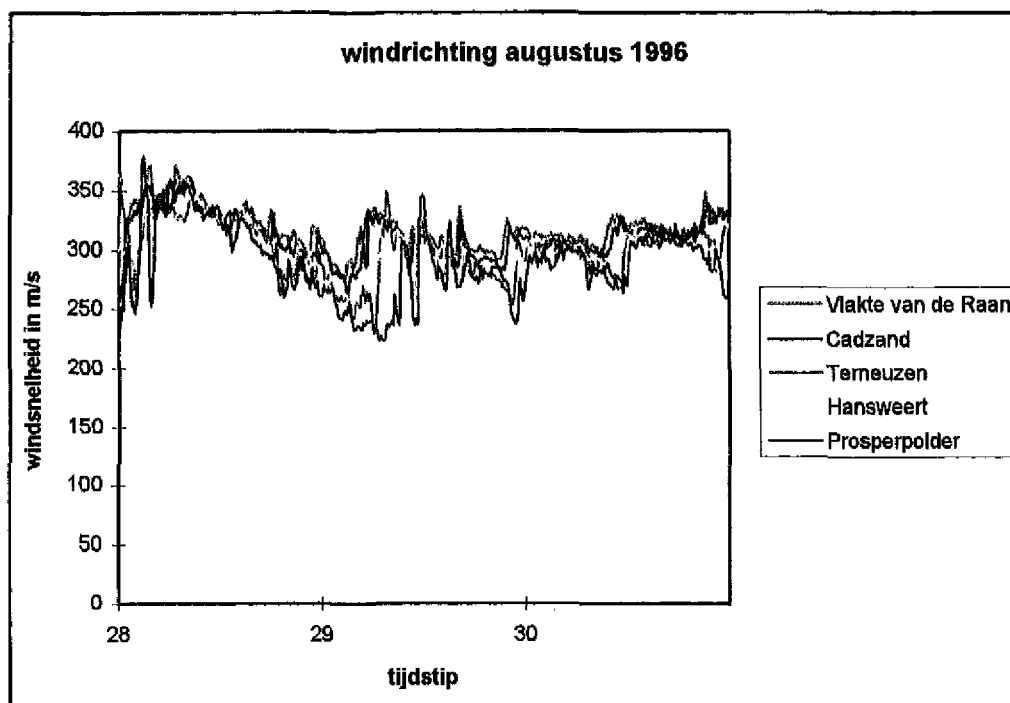
Bijlage VIII Waterstanden op 21 juli



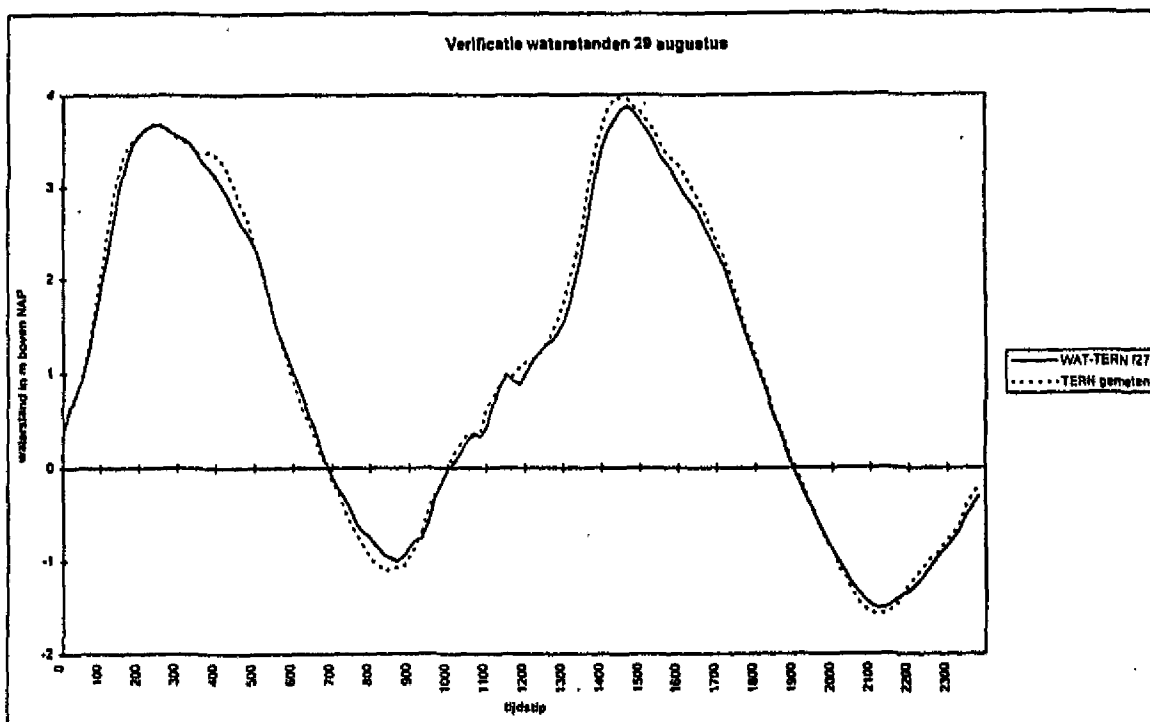
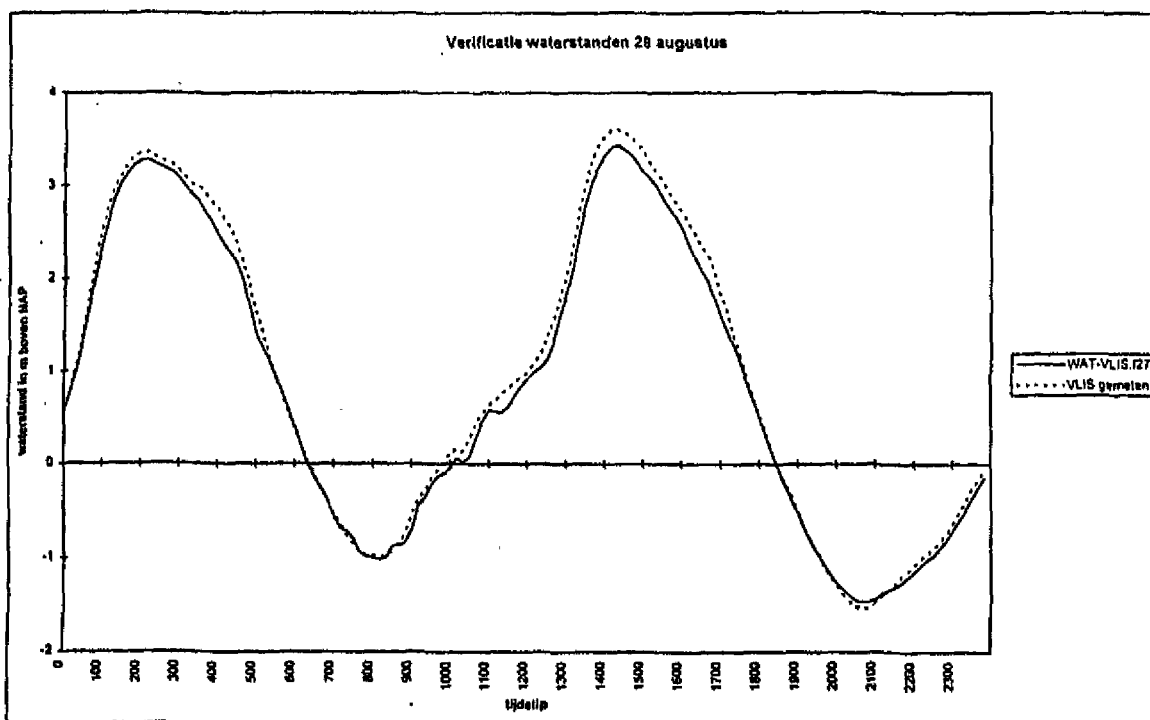
Bijlage IX Windgegevens tijdens verificatieperiode 28-29 augustus, windsnelheid



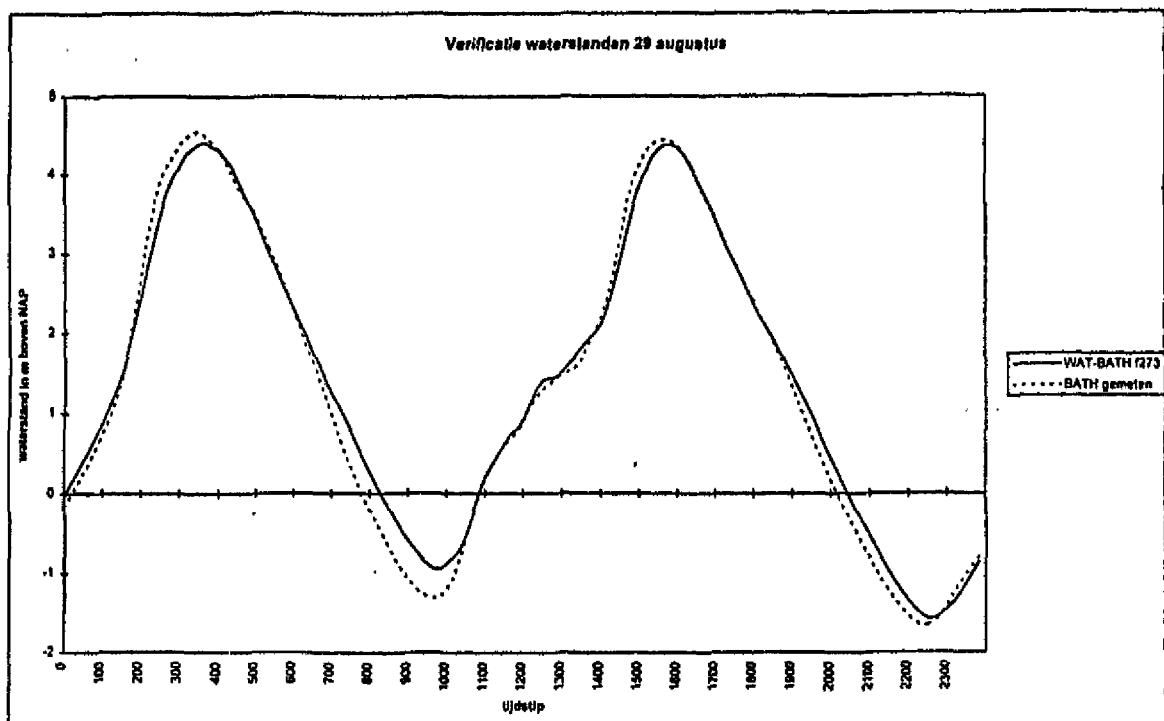
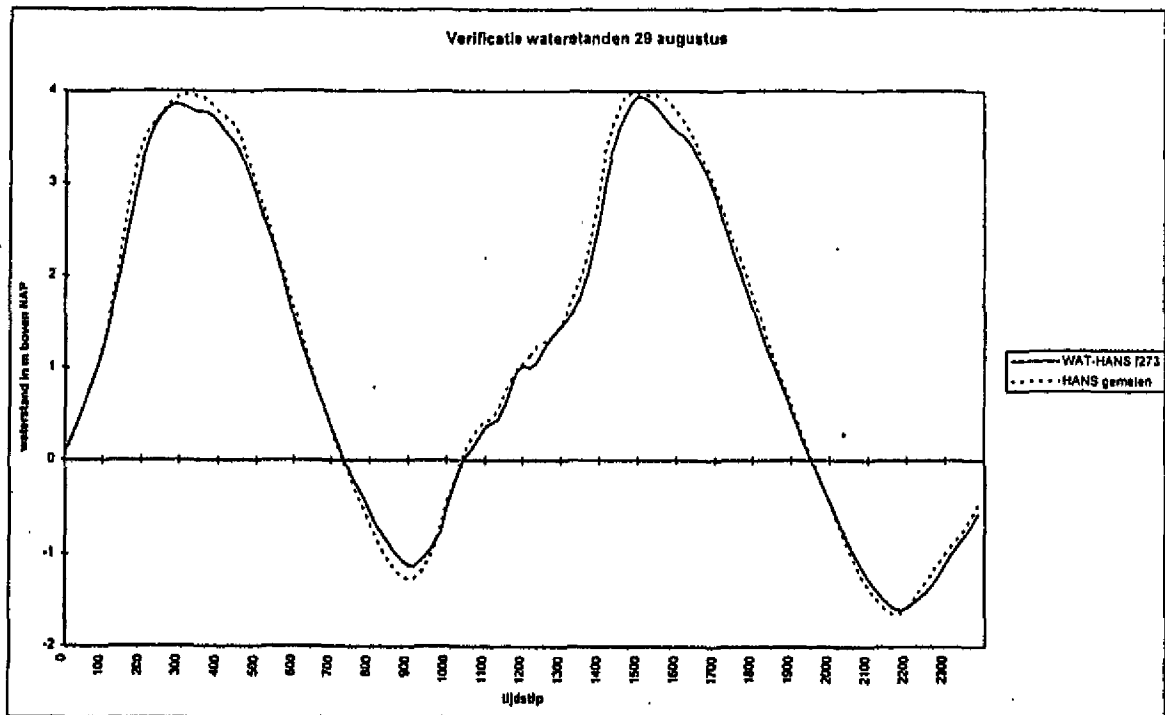
Bijlage IX Windgegevens tijdens verificatieperiode 28-29 augustus, windrichting



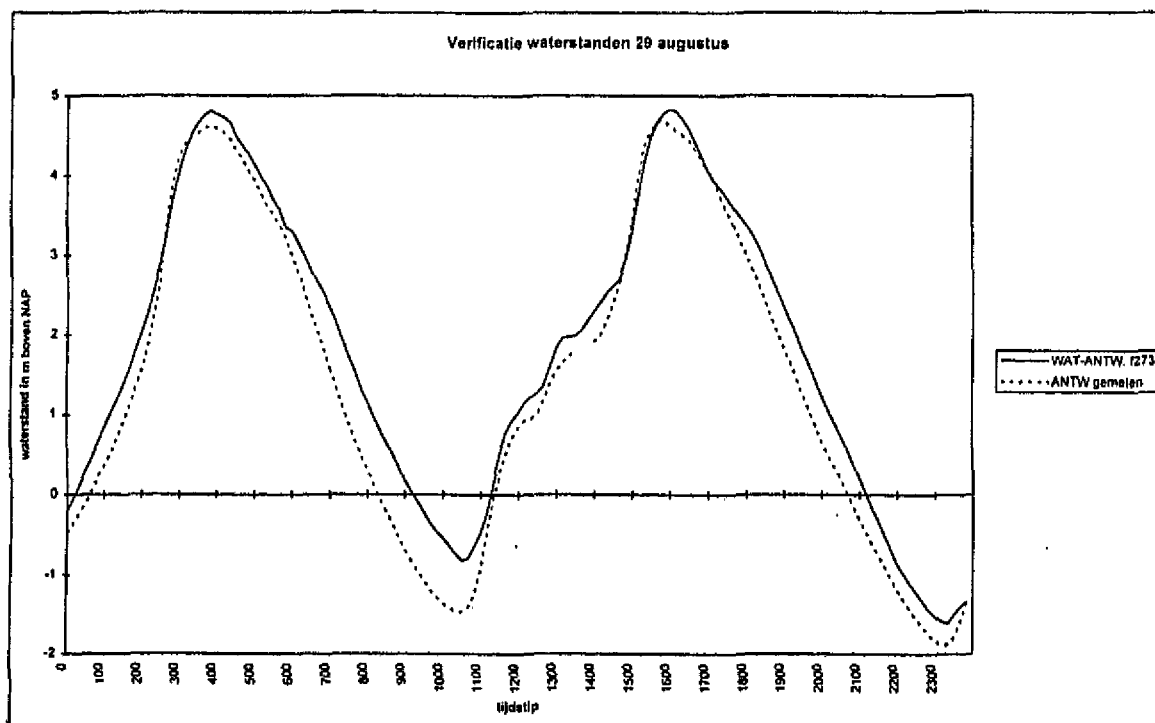
Bijlage X Waterstanden op 29 augustus



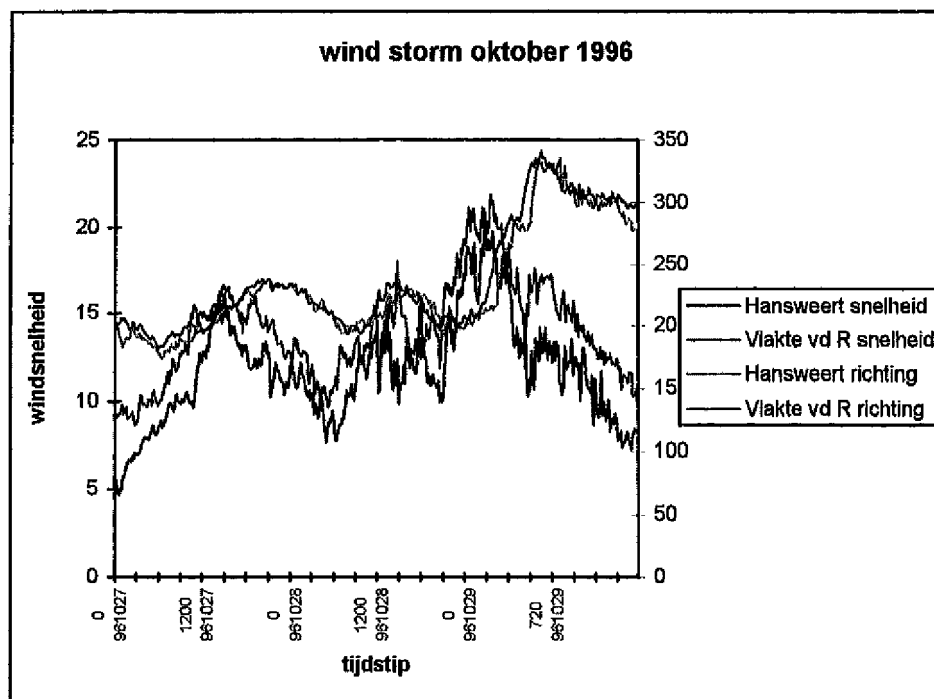
Bijlage X Waterstanden op 29 augustus



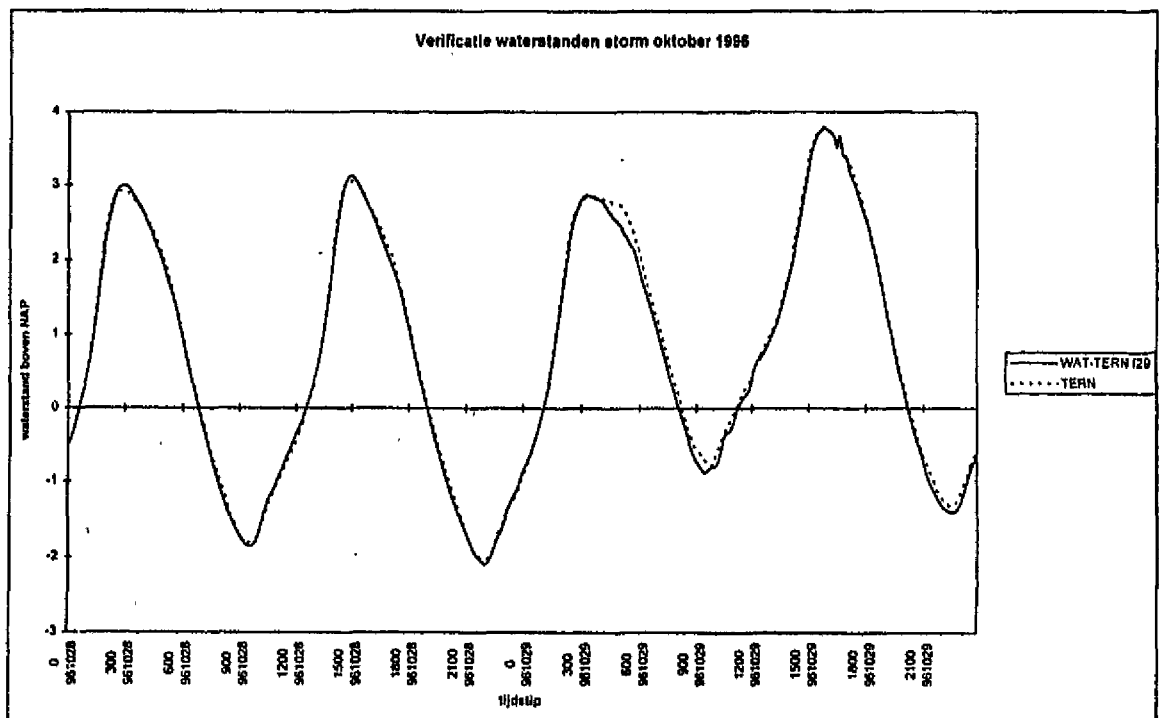
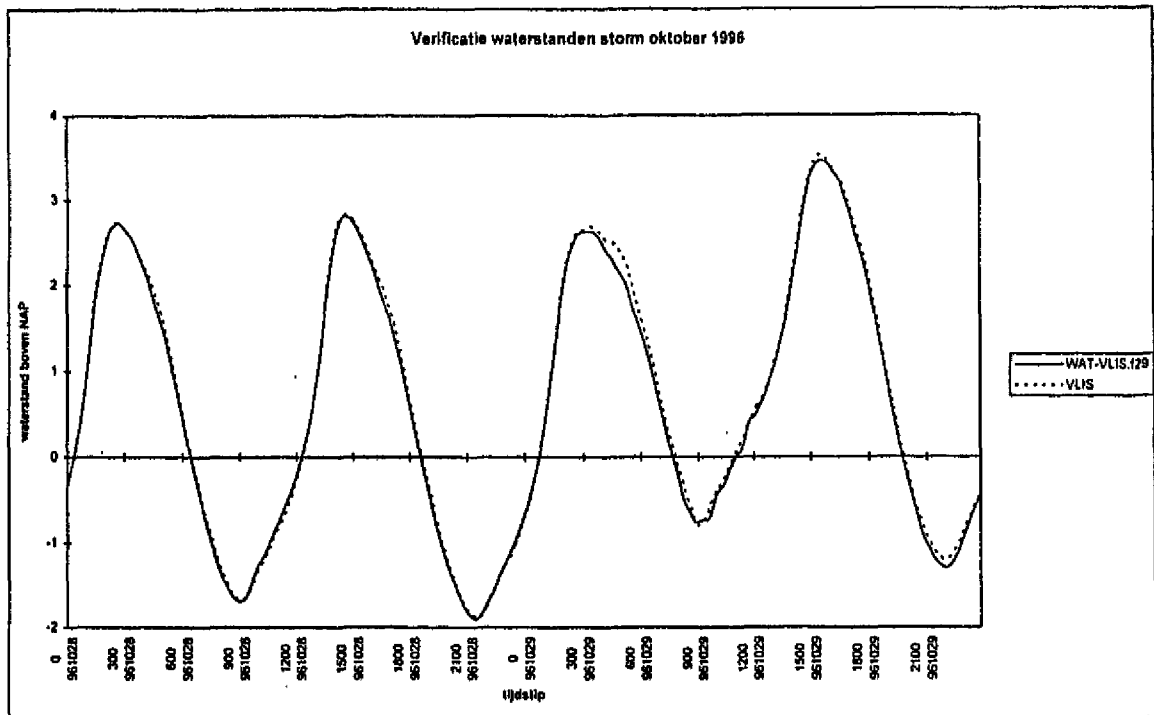
Bijlage X Waterstanden op 29 augustus



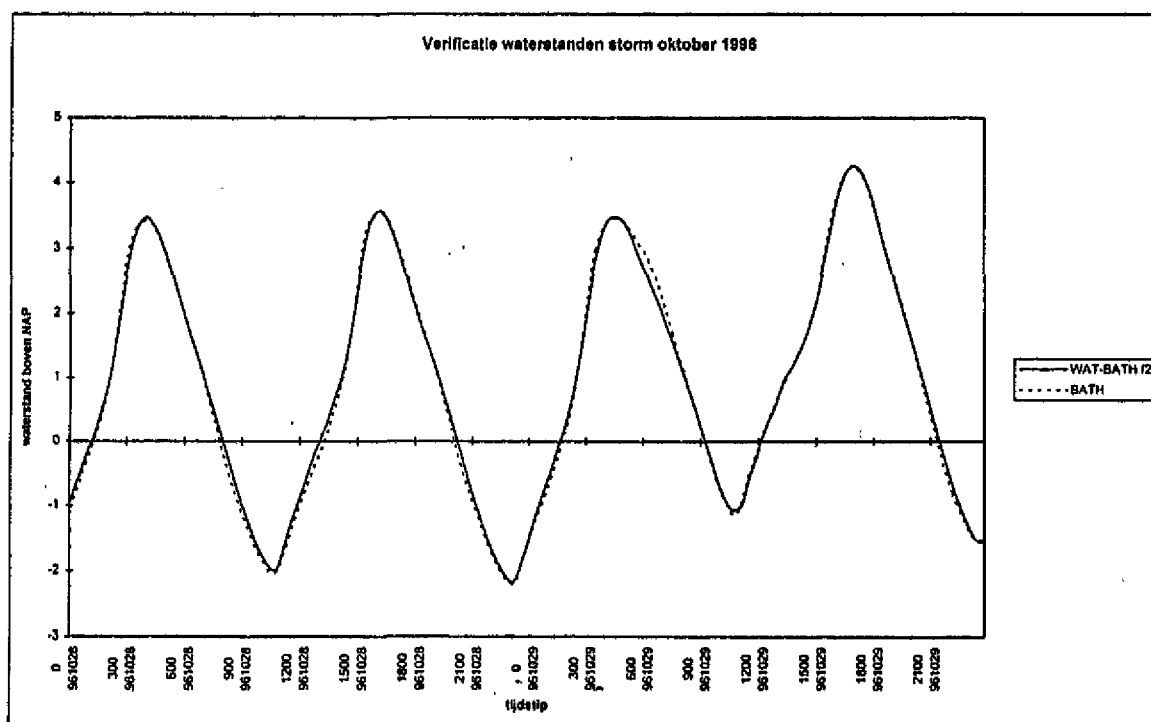
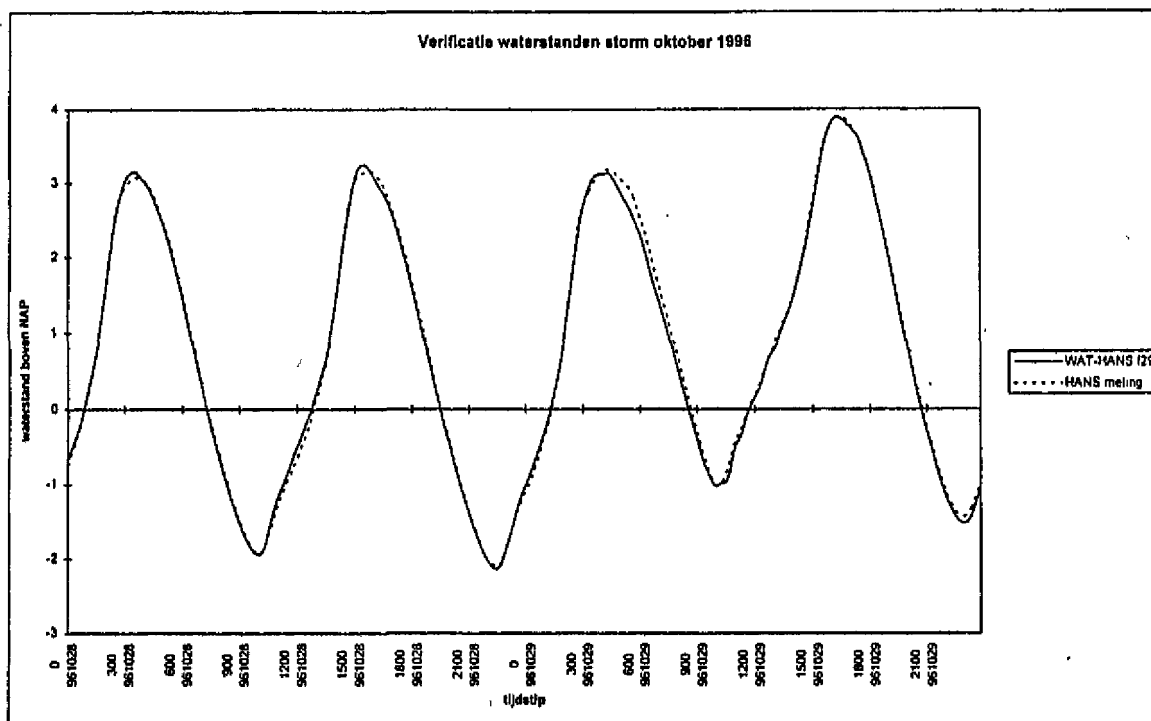
Bijlage XI Windgegevens tijdens verificatieperiode 28-29 oktober



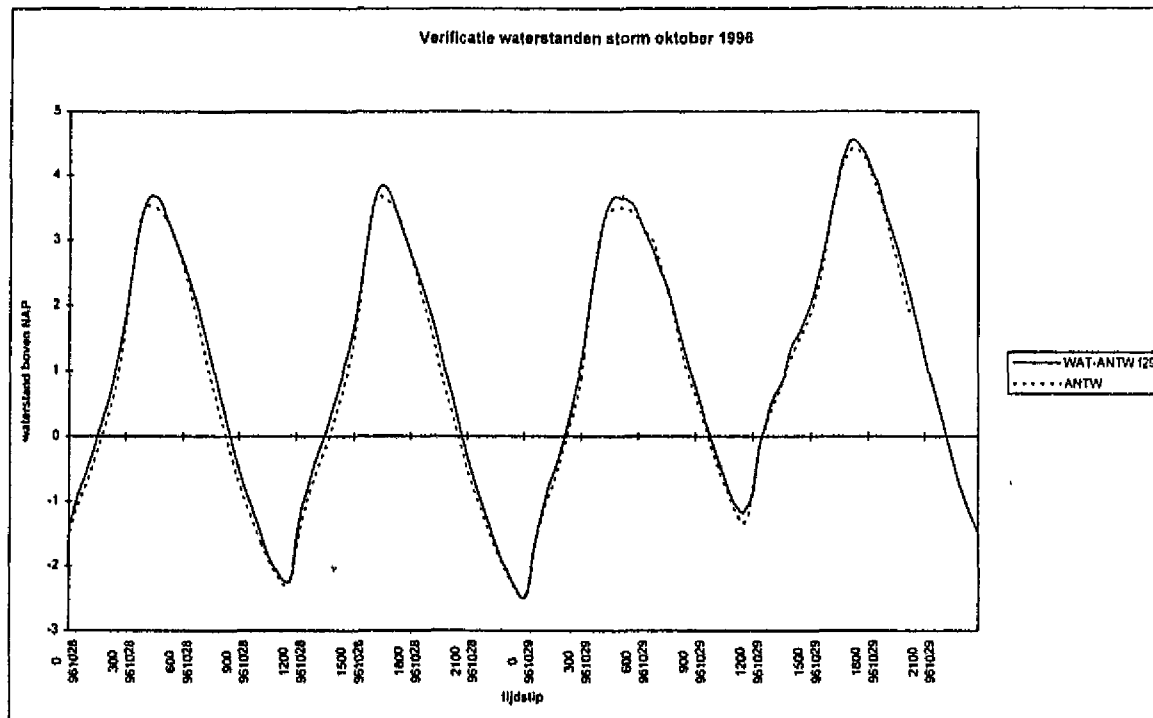
Bijlage XII Waterstanden op 28 en 29 oktober

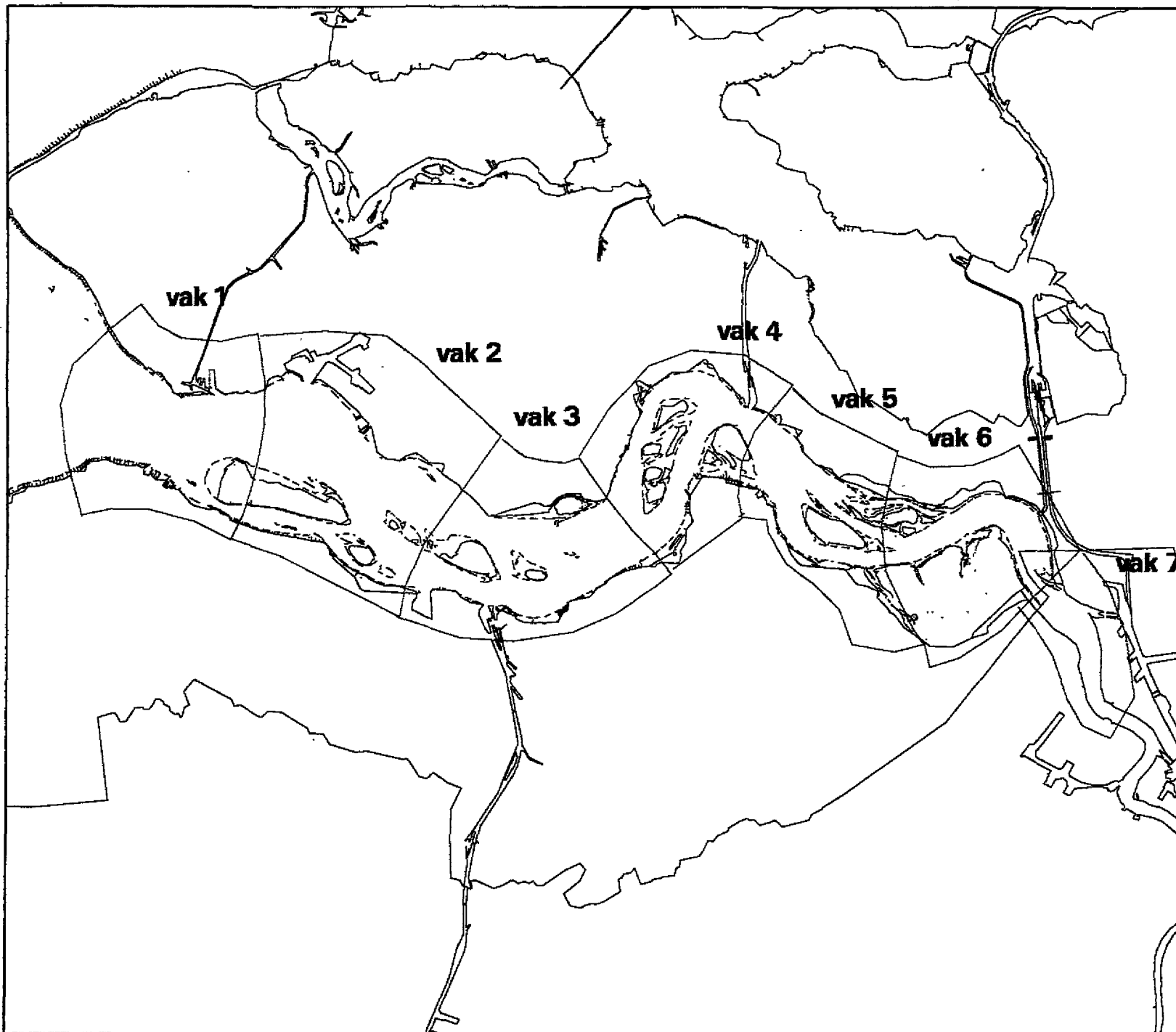


Bijlage XII Waterstanden op 28 en 29 oktober



Bijlage XII Waterstanden op 28 en 29 oktober



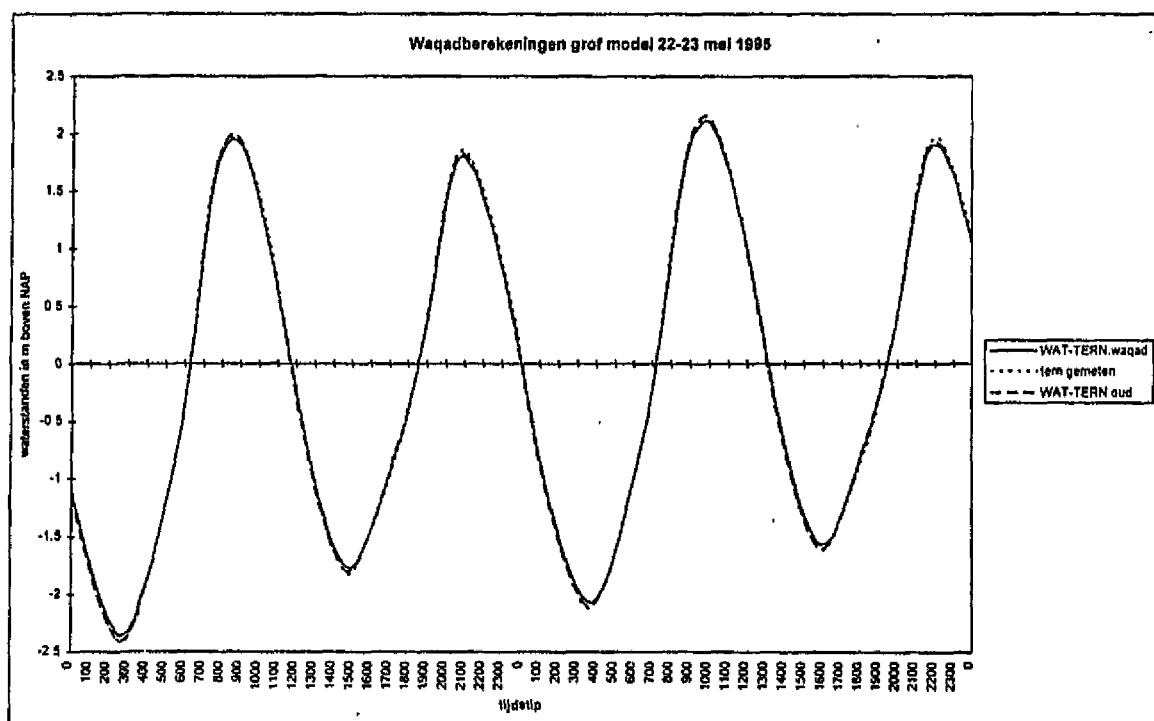
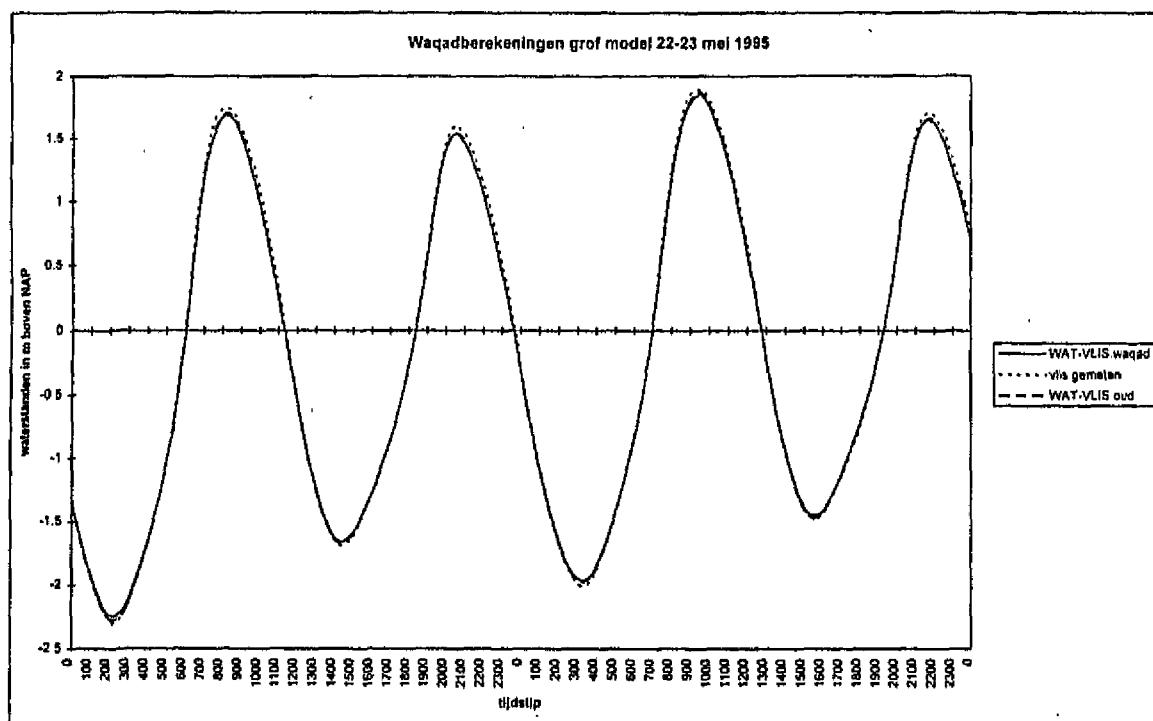


Vakindeling voor WAQAD

Schaal: 1:292.000

Oostwest
Rijkinstituut voor Kust en Zee
Rijkswaterstaat

Bijlage XIV Resultaten WAQAD-berekeningen



Bijlage XIV Resultaten WAQAD-berekeningen

