

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat / RIZA

DI: 815370

Inregeling zomerbedruwheden WAQUA-model Maas

concept

nieuwe ruwheidsformulering

Auteurs: C.A.H. Wouters
M.T. Duits

PR378.10

november 2000



VORtech Computing

Inhoud

Lijst van tabellen.....	iii
Lijst van figuren.....	v
1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding tot het project	1
1.2 Doelstelling	1
2 Aanpak	3
2.1 Inleiding	3
2.2 WAQUA-model	3
2.3 Aanpassen van ruwheidsformulering in WAQUA	5
2.4 Inregeling van globale zomerbedruwheden	6
2.5 Trajectafhankelijke correctieterm toevoegen en inregelen	7
2.6 Verificatieberekeningen	7
3 Fase I: Automatisch inregelen bodemruwheden zomerbed.....	9
3.1 Methodiek van het automatisch inregelen	9
3.2 Ruwheid van het zomerbed	10
3.3 Begin- en randvoorwaarden zomerbedinregeling	11
3.4 De objectfunctie	12
3.5 Absolute of kwadratische verschillen in objectfunctie	12
3.6 Meetstations	13
3.7 Tijdvenster	14
3.7.1 Grootte tijdvenster.....	14
3.7.2 Begintijdstip tijdvenster	14
3.8 Resultaten.....	16
3.8.1 Inregeling bodemruwheden zomerbed	16
3.8.2 Nauwkeurigheid per station	18
3.8.3 Vergelijking met beste berekening uit de oude inregeling	23
4 Fase II: Handmatige fijnaafregeling bodemruwheden zomerbed	27
4.1 Trajectafhankelijke correctieterm toevoegen en inregelen.....	27
4.2 Resultaten.....	28
4.3 Nauwkeurigheid per station	28
5 Verificatieberekeningen	31
5.1 Hoogwater 1993	31
5.1.1 Schematisatie 1993	31
5.1.2 Resultaten	31
5.1.3 Nauwkeurigheid per station	34
5.2 Hoogwater 1999	39
5.2.1 Schematisatie 1999	39
5.2.2 Resultaten	39
5.2.3 Nauwkeurigheid per station	42
5.3 Laagwaterperiode november 1993.....	47
5.3.1 Schematisatie 1993	47

5.3.2	Resultaten	47
5.3.3	Nauwkeurigheid per station.....	49
6	Conclusies en aanbevelingen	55
6.1	Conclusies.....	55
6.2	Aanbevelingen	55
7	Referenties.....	59
	Bijlage A Aantekeningen bij aanpassing ruwheidsformulering.....	63
	Bijlage B Aantekeningen bij aanpassing ruwheidsberekening, inclusief trajectafhankelijke correctieterm	67
	Bijlage C Bestand ruw.karak voor inregeling van het zomerbed.....	73
	Bijlage D Bestand ruw.karak na automatisch inregelen van het zomerbed	75
	Bijlage E Bestand ruw.karak na handmatig inregelen van het zomerbed	77

Lijst van tabellen

Tabel 2-1 Zomerbedtrajecten en meetlocaties	4
Tabel 3-1 Korrelgrootte per traject.....	11
Tabel 3-2 Afstand MSW stations tot Borgharen Dorp	15
Tabel 3-3 Uurnummers tijdsvenster ten behoeve van de objectfunctie.	15
Tabel 3-4 Verloop objectfunctiewaarde tijdens de automatische inregeling	17
Tabel 4-1 Tijdvenster objectfunctie trajectafhankelijke inregeling.....	27
Tabel 4-2 Trajectafhankelijke inregeling.....	28
Tabel 5-1 Uurnummers ten behoeve van de tijdvensters van de objectfunctie	32
Tabel 5-2 Uurnummers tijdvenster hoogwater 1999	40

Lijst van figuren

Figuur 3-1 Inregelschema.....	10
Figuur 3-2 Verloop van de afvoer bij Maastricht (km 14,0) in de periode 1 december 1994 tot en met 28 februari 1995	12
Figuur 3-3 Berekende en gemeten waterstand bij Stevensweert, hoogwater 1995	14
Figuur 3-4 Tempo verbetering modelresultaat	18
Figuur 3-5 Gemiddelde verschil (berekend–gemeten) over het tijdvenster in som 20.....	19
Figuur 3-6 Gemiddeld absoluut verschil (berekend-gemeten) over het tijdvenster in som 20.....	19
Figuur 3-7 Waterstand Borgharen Julianakanaal (1995)	20
Figuur 3-8 Waterstand Borgharen dorp (1995)	20
Figuur 3-9 Waterstand Elsloo (1995).....	20
Figuur 3-10 Waterstand Grevenbicht (1995).....	20
Figuur 3-11 Waterstand Stevensweert (1995)	20
Figuur 3-12 Waterstand Heel boven (1995)	20
Figuur 3-13 Waterstand Heel beneden (1995).....	20
Figuur 3-14 Waterstand Belfeld (1995)	20
Figuur 3-15 Waterstand Well dorp (1995).....	21
Figuur 3-16 Waterstand Sambeek boven (1995)	21
Figuur 3-17 Waterstand Sambeek beneden (1995).....	21
Figuur 3-18 Waterstand Grave beneden (1995)	21
Figuur 3-19 Waterstand Megen (1995)	21
Figuur 3-20 Waterstand Lith boven (1995).....	21
Figuur 3-21 Waterstand Lith dorp (1995)	21
Figuur 3-22 Waterstand Heesbeen (1995).....	21
Figuur 3-23 Verschil berekend–gemeten, automatische inregeling	22
Figuur 3-24 Verschil berekend-gemeten, automatische inregeling	22
Figuur 3-25 Verschil berekend - gemeten automatische inregeling.....	23
Figuur 3-26 Verschil berekend - gemeten automatische inregeling.....	23
Figuur 3-27 Vergelijking beste oude inregeling en beste nieuwe inregeling; gemiddeld verschil over tijdvenster objectfunctie	24
Figuur 3-28 Vergelijking beste oude inregeling en beste nieuwe inregeling; gemiddeld absoluut verschil over tijdvenster objectfunctie.....	25
Figuur 4-1 Gemiddeld verschil (berekend–gemeten) in het tijdvenster van de trajectafhankelijke inregeling.	29
Figuur 4-2 Gemiddeld absoluut verschil rond de top van som 30	29
Figuur 5-1 Verloop van de afvoer bij Maastricht.....	31
Figuur 5-2 Gemiddeld verschil per locatie tijdvenster hoogwater 1993	33
Figuur 5-3 Gemiddeld absoluut verschil over het tijdvenster hoogwater 1993	33
Figuur 5-4 Waterstand Borgharen Julianakanaal (hoogwaterperiode 1993)	34
Figuur 5-5 Waterstand Borgharen dorp (hoogwaterperiode 1993)	34
Figuur 5-6 Waterstand Elsloo (hoogwaterperiode 1993).....	34
Figuur 5-7 Waterstand Grevenbicht (hoogwaterperiode 1993).....	34
Figuur 5-8 Waterstand Stevensweert (hoogwaterperiode 1993)	34
Figuur 5-9 Waterstand Heel boven (hoogwaterperiode 1993)	34
Figuur 5-10 Waterstand Heel beneden (hoogwaterperiode 1993).....	35
Figuur 5-11 Waterstand Belfeld (hoogwaterperiode 1993)	35
Figuur 5-12 Waterstand Well dorp (hoogwaterperiode 1993).....	35
Figuur 5-13 Waterstand Sambeek beneden (hoogwaterperiode 1993).....	35

Figuur 5-14 Waterstand Grave beneden (hoogwaterperiode 1993).....	35
Figuur 5-15 Waterstand Megen (hoogwaterperiode 1993).....	35
Figuur 5-16 Waterstand Lith boven (hoogwaterperiode 1993).....	36
Figuur 5-17 Waterstand Lith dorp (hoogwaterperiode 1993).....	36
Figuur 5-18 Waterstand Heesbeen (hoogwaterperiode 1993).....	36
Figuur 5-19 Verschil berekend - gemeten hoogwater 1993.....	37
Figuur 5-20 Verschil berekend - gemeten hoogwater 1993.....	37
Figuur 5-21 Verschil berekend - gemeten hoogwater 1993.....	38
Figuur 5-22 Verschil berekend - gemeten hoogwater 1993.....	38
Figuur 5-23 Tijdsvenster verificatieberekening 1999.....	39
Figuur 5-24 Gemiddeld verschil per locatie verificatie 1999.....	41
Figuur 5-25 Gemiddeld absoluut verschil per locatie verificatie 1999.....	41
Figuur 5-26 Waterstand Borgharen Julianakanaal (verificatie 1999).....	42
Figuur 5-27 Waterstand Borgharen dorp (verificatie 1999).....	42
Figuur 5-28 Waterstand Elsloo (verificatie 1999).....	42
Figuur 5-29 Waterstand Grevenbicht (verificatie 1999).....	42
Figuur 5-30 Waterstand Stevensweert (verificatie 1999).....	42
Figuur 5-31 Waterstand Heel boven (verificatie 1999).....	42
Figuur 5-32 Waterstand Heel beneden (verificatie 1999).....	43
Figuur 5-33 Waterstand Belfeld beneden (verificatie 1999).....	43
Figuur 5-34 Waterstand Well dorp (verificatie 1999).....	43
Figuur 5-35 Waterstand Sambeek boven (verificatie 1999).....	43
Figuur 5-36 Waterstand Sambeek beneden (verificatie 1999).....	43
Figuur 5-37 Waterstand Grave beneden (verificatie 1999).....	43
Figuur 5-38 Waterstand Megen (verificatie 1999).....	44
Figuur 5-39 Waterstand Lith boven (verificatie 1999).....	44
Figuur 5-40 Waterstand Lith dorp (verificatie 1999).....	44
Figuur 5-41 Waterstand Heesbeen (verificatie 1999).....	44
Figuur 5-42 Verschil berekend – gemeten verificatie 1999.....	45
Figuur 5-43 Verschil berekend – gemeten verificatie 1999.....	45
Figuur 5-44 Verschil berekend – gemeten verificatie 1999.....	46
Figuur 5-45 Verschil berekend – gemeten verificatie 1999.....	46
Figuur 5-46 Gemiddeld verschil tussen berekende en gemeten waterstand over de laatste vijf dagen van de laagwaterperiode 1993.....	48
Figuur 5-47 Gemiddeld absoluut verschil tussen de berekende en gemeten waterstanden over de laatste vijf dagen van de laagwaterperiode 1993.....	48
Figuur 5-48 Waterstand Borgharen Julianakanaal (laagwaterperiode 1993).....	49
Figuur 5-49 Waterstand Borgharen dorp (laagwaterperiode 1993).....	49
Figuur 5-50 Waterstand Elsloo Julianakanaal (laagwaterperiode 1993).....	49
Figuur 5-51 Waterstand Grevenbicht (laagwaterperiode 1993).....	49
Figuur 5-52 Waterstand Stevensweert (laagwaterperiode 1993).....	49
Figuur 5-53 Waterstand Heel boven (laagwaterperiode 1993).....	49
Figuur 5-54 Waterstand Heel beneden (laagwaterperiode 1993).....	50
Figuur 5-55 Waterstand Belfeld beneden (laagwaterperiode 1993).....	50
Figuur 5-56 Waterstand Well dorp (laagwaterperiode 1993).....	50
Figuur 5-57 Waterstand Sambeek beneden (laagwaterperiode 1993).....	50
Figuur 5-58 Waterstand Grave beneden (laagwaterperiode 1993).....	50
Figuur 5-59 Waterstand Megen (laagwaterperiode 1993).....	50
Figuur 5-60 Waterstand Lith boven (laagwaterperiode 1993).....	51
Figuur 5-61 Waterstand Lith beneden (laagwaterperiode 1993).....	51

Figuur 5-62 Waterstand Heesbeen (laagwaterperiode 1993)	51
Figuur 5-63 Verschil berekend – gemeten laagwaterperiode 1993	52
Figuur 5-64 Verschil berekend - gemeten laagwaterperiode 1993	52
Figuur 5-65 Verschil berekend - gemeten laagwaterperiode 1993	53
Figuur 5-66 Verschil berekend - gemeten laagwaterperiode 1993	53

1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot het project

In het kader van het Deltaplan Grote Rivieren is er een WAQUA-model gemaakt van de gehele Maas. Het fundament voor dit model is gelegd in de jaren negentig. De hydraulische ruwheden van dit model zijn, met het oog op de bepaling van maatgevende waterstanden, ingeregeld in 1999. De ruwheden zijn ingeregeld voor het hoogwater van januari 1995. Heden doet zich de behoefte voor het model ook toe te passen voor minder hoge afvoeren. Inmiddels is gebleken dat het bestaande model voor deze afvoerniveaus over een geringe nauwkeurigheid beschikt.

De inregeling van het WAQUA-model van de Maas is beschreven in Duits & Visser (1999). Bij deze inregeling is verondersteld dat het verloop van de zomerbedruwheden in de lengterichting van de rivier tijdens extreme omstandigheden hetzelfde is als onder *bankfull* omstandigheden. Deze aanname is gedaan omdat anders een te groot aantal vrijheidsgraden ontstond om succesvol in te regelen.

Zowel bij het WAQUA-model voor de Rijntakken als voor de Maas blijkt de veronderstelling niet langer houdbaar dat de onderlinge verhouding van de ruwheden van de zomerbedtrajecten afvoeronafhankelijk is. De gebruikte ruwhedsformulering voor het zomerbed in WAQUA gaat er vanuit dat de beddingvormen volledig ontwikkeld zijn. Blijkbaar is dit bij *bankfull* omstandigheden nog niet in alle zomerbedtrajecten het geval. Wel wordt verondersteld dat de gebruikte automatische inregelmethode (gebaseerd op het simplex algoritme van Nelder & Mead (1965)) geschikt is om de hydraulische ruwheden van de winterbedecotopen succesvol in te regelen. Er dient echter een nadere fijninregeling van de ruwheden van het zomerbed plaats te vinden. Daarnaast bestaat de behoefte om het WAQUA-model voor de Maas ook in te regelen voor minder extreme hoogwaters en voor laagwatersituaties. Voor het veranderen van de formulering van de zomerbedruwheden zijn aanpassingen in de WAQUA-code noodzakelijk.

Rijkswaterstaat/RIZA Arnhem heeft HKV LIJN IN WATER opdracht gegeven voor de fijninregeling van het WAQUA-model van de Maas. HKV LIJN IN WATER heeft VORtech Computing benaderd om de werkzaamheden gezamenlijk uit te voeren, waarbij HKV LIJN IN WATER penvoerder is. VORtech Computing heeft de benodigde aanpassing van de parallelle versie van de WAQUA-programmatuur doorgevoerd, HKV LIJN IN WATER heeft de inregeling van het aangepaste WAQUA-model gedaan.

1.2 Doelstelling

Het primaire doel van de nadere inregeling is het verbeteren van de modelprestaties van het WAQUA-model van de Maas voor afvoeren in het bereik van 1000 m³/s tot 2700 m³/s. Hierbij worden onder de modelprestaties verstaan de verschillen tussen de berekende en gemeten waterstanden rondom de top en in de was- en valfase van de hoogwatergolven. Er wordt gestreefd naar een gemiddeld verschil van 0,10 m tussen gemeten en berekende waterstanden op de MSW-stations.

↑
maximaal

2 Aanpak

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de werkwijze beschreven. In paragraaf 2.2 staat het gebruikte WAQUA-model uitgelegd. De aanpassing van de ruwheidsformulering die in het WAQUA-model geïmplementeerd is, is beschreven in paragraaf 2.3. De werkwijze van het automatische deel van de inregeling is beschreven in paragraaf 2.4. Het handmatige deel van de trajectafhankelijke correctieterm is beschreven in paragraaf 2.5. De verificatie van de gemaakte inregeling is in paragraaf 2.6 beschreven.

2.2 WAQUA-model

Voor het inregelen van het model van de Maas is uitgegaan van een door Rijkswaterstaat/RIZA toegeleverde model van de Maas. Dit model is gebouwd op een kromlijinig orthogonaal rooster met afmetingen van 107×4182 punten, waarvan circa 215.000 punten actief zijn. Het model omvat de Maas tussen Maastricht (km 14,0) en Keizersveer (km 250,2). Tevens bevat dit model de Afgedamde Maas.

De schematisatie van de bodem is ontleend aan een interpolatie van de digitaal beschikbare hoogte van het stroomgebied van de Maas. De begrenzing van het winterbed is gebaseerd op de door Rijkswaterstaat/Directie Limburg aangeleverde gegevens. De overlaten en kribben zijn gebaseerd op door de Rijkswaterstaat/Directie Limburg aangeleverde gegevens en de gegevens van de terreinsprongen uit de digitale rivierkaart. Het model bevat verder diverse laterale toestromingen en onttrekkingen.

De bodemruwheden worden tijdens de berekening dynamisch bepaald. Hiervoor worden de zogenaamde area-files gebruikt (de area-u- en area-v-files) samen met de ruw.karak-file waarin de opgegeven basisruwheden staan. De area-files, waarin de bedekkingen van de verschillende ruwheden per rooster cel staan, zijn gemaakt met behulp van de digitale rivierkaart uit 1995 en de ecotopenkaart uit 1996 (met de opnamedatum zomer 1995). Aan de hand van de beschikbare meetgegevens en de locaties van de verschillende meetpunten is het zomerbed opgedeeld in 12 trajecten (zie Tabel 2-1). Er wordt vanuit gegaan dat voor elk traject voldoende meetgegevens beschikbaar zijn om de ruwheid van het zomerbed in te regelen.

De WAQUA-versie waarmee gerekend is, is geen reguliere uitlevering van EDS/MX-systems, maar een aangepaste versie door VORtech. Van deze versie is bekend dat de overlaten-routines gebreken vertonen. Toen dit model geleverd is, is een deel van de overlaten-routine verbeterd. Nadat de berekeningen zijn uitgevoerd bleek dat er nog meer gebreken bij de overlaten-routines waren.

Ruw-code	Traject grenzen zomerbedtrajecten database	Km volgens BASELINE	Meetpunten voor inregeling trajecten	Trajecten <i>bankfull</i> - inregeling	Traject- nummer
607 (608 (	Borgharen-Julianakanaal MSW Borgharen-dorp MSW Elsloo MSW na 1995	15,3 16,0 29,3	Borgharen Dorp	Grensmaas I	1
609 (	Elsloo MSW na 1995 Grevenbicht MSW	29,3 44,9	Elsloo	Grensmaas II	2
610 (611 (	Grevenbicht MSW Maaseik MSW Stevensweert MSW	44,9 52,4 61,6	Grevenbicht	Grensmaas III	3
612 (613 (614 (615 (	Stevensweert MSW Heel-boven MSW Linne Beneden MSW na 1995 Linne beneden sluis Roermond MSW na 1995 (bv stuw)	61,6 67,8 68,5 74,2 80,9	Stevensweert	Maasplassen I	4
616 (617 (618 (	Roermond MSW na 1995 (bv stuw) hart monding kan. Heel bn MSW Neer MSW na 1995 Belfeld beneden MSW na 1995	80,9 85,2 90,0 101,0	Heel beneden	Maasplassen II	5
619 (620 (621 (	Belfeld beneden MSW na 1995 Venlo/Blerick MSW Arcen Well-haven MSW	101,0 107,8 120,0 132,1	Belfeld beneden	Zandmaas I	6
622 (	Well-haven MSW Sambeek-beneden MSW na 1995	132,1 148,0	Well-haven	Zandmaas II	7
623 (624 (625 (	Sambeek-beneden MSW na 1995 Gennep na 1995 Mook na 1995 Grave beneden na 1995	148,0 155,1 165,0 175,8	Sambeek beneden	Zandmaas III	8
626 (	Grave beneden na 1995 Megen MSW	175,8 190,5	Grave beneden	Zandmaas IV	9
627 (	Megen MSW Lith dorp MSW	190,5 202,4	Megen	Zandmaas V	10
628 (629 (	Lith dorp MSW St Andries Heesbeen	202,4 209,2 230,6	Lith dorp	Zandmaas VI	11
630 (	Heesbeen Keizersveer MSW, einde model	230,6 250,2	Heesbeen	Bergsche Maas	12

Tabel 2-1 Zomerbedtrajecten en meetlocaties

Het rekenwerk is uitgevoerd op de SGI Cray Origin2000 supercomputer van het academisch rekencentrum SARA te Amsterdam. Voor de berekeningen is een parallelle versie van WAQUA gebruikt. De berekeningen zijn uitgevoerd op 15 processoren.

2.3 Aanpassen van ruwheidsformulering in WAQUA

In de ruwheidsformulering zoals die tot nu toe is gebruikt in het WAQUA-model van de Maas is de Nikuradse k -waarde gedefinieerd als (Rijkswaterstaat, 1999):

$$k = \tilde{\alpha} h^{0.7} (1 - \exp(-\tilde{\beta} h^{0.3})) \quad (1)$$

waarin k de Nikuradse k -waarde, $\tilde{\alpha}$ en $\tilde{\beta}$ kalibratiecoëfficiënten en h de waterdiepte. Deze formule is tot stand gekomen door vereenvoudiging van de methode Van Rijn (1984) en de methode Ogink (1986) (zie Van den Brink, 1997). De formule is afgeleid voor hoogwatersituaties waarin geen verband is tussen duinhoogte, duinsteilheid en de transportparameter T gedefinieerd door:

$$T = \frac{(u_*)^2}{(u_{*c})^2} - 1 \quad (2)$$

waarbij de wrijvingsnelheid u_* gegeven wordt door:

$$u_* = \frac{u \sqrt{g}}{C_{90}} \quad (3)$$

Hierin is u de dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s), g de gravitatieversnelling $9,81 \text{ m/s}^2$ en C_{90} de Chézywaarde op basis van de 90% korrelgrootte D_{90} . De kritische wrijvingsnelheid u_{*c} volgt uit:

$$u_{*c} = \sqrt{\hat{c} \Delta D_{50} g} \quad (4)$$

waarin \hat{c} een constante is die wordt afgeleid uit het Shieldsdiagram (ongeveer gelijk aan 0,05), Δ is de relatieve dichtheid en D_{50} de mediane korrelgrootte.

Feitelijk is vergelijking (1) alleen geldig voor volledig ontwikkelde beddingvormen waarbij $T > 5$, maar momenteel wordt deze voor alle situaties in WAQUA toegepast. Dit leverde in eerdere kalibraties problemen op voor de situaties waarin de beddingvormen nog niet volledig ontwikkeld waren. Voorgesteld wordt nu om vergelijking (1) te vervangen door (Van Velzen, 2000):

$$k = \alpha D_{90} + \beta h T^\gamma \quad (5)$$

De waarden van de kalibratieconstanten α , β en γ kunnen automatisch worden ingeregeld. Formule (5) wordt voor de gehele rivier geldig verondersteld. Na de kalibratie van α , β en γ wordt er aan (5) een trajectafhankelijke correctieterm toegevoegd die vervolgens handmatig ingeregeld wordt. De correctieterm zorgt ervoor dat de waterstand op alle MSW-stations rond de top van het hoogwater goed voorspeld kan worden.

Om het WAQUA-model van de Maas met deze nieuwe ruwheidsformulering te kalibreren, waren de volgende werkzaamheden noodzakelijk:

- 1) verzamelen relevante data,
- 2) aanpassen van de ruwheidsformulering in WAQUA,
- 3) aanmaken randvoorwaarden voor WAQUA-model van de Maas,
- 4) inregeling van de globale zomerbedruwheid,
- 5) trajectafhankelijke correctieterm toevoegen,
- 6) inregeling trajectafhankelijke correctieterm,
- 7) verificatieberekeningen,
- 8) rapportage.

Activiteit 1 is uitgevoerd door Rijkswaterstaat Directie Limburg. Activiteit 3 is uitgevoerd door Rijkswaterstaat RIZA Arnhem. De overige activiteiten maken deel uit van de door HKV LIJN IN WATER aangeboden werkzaamheden en zijn in de volgende paragrafen toegelicht. De activiteiten 2 en 5 zijn uitgevoerd door VORtech Computing, de activiteiten 4, 6, 7 en 8 zijn uitgevoerd door HKV LIJN IN WATER.

In de huidige versie van WAQUA worden de coëfficiënten benodigd voor de berekening van de hydraulische ruwheden ingevoerd via het bestand ruw.karak. Voor het inbouwen van de k-waarde volgens formule (5) is eerst de invoer van de kalibratieconstanten α , β en γ via het bestaande bestand ruw.karak mogelijk gemaakt. Hiervoor zijn de getallen a, b van de entries 600 en 601 gebruikt. In de pre-processor WAQPRE zijn alle controles op de parameters voor het zomerbed worden uitgeschakeld (hele range 400-699). Dit is praktisch omdat dan vooraf niets bekend hoeft te zijn over de getalswaarden van de in te voeren grootheden, zodat er geen gevaar bestaat dat de ingevoerde waarden door WAQPRE worden aangepast. Hierdoor kunnen ook de parameters D_{50} en D_{90} direct trajectafhankelijk worden ingevoerd.

Nadat WAQPRE is aangepast, is de ruwheidswaarde-berekening van WAQUA in subroutine WAGKNI geanalyseerd en aangepast. Daarbij zijn ook de benodigde extra subroutine-argumenten (stroomsnelheden) toegevoegd. Bij de uitbreiding is gebruik gemaakt van de ad hoc herdefinitie van de ruwheids-karakteristieken tabel ROUGK, met name de entries 600 en 601 en de gewijzigde interpretatie van $a = D_{90}$ en $b = D_{50}$ voor het zomerbed. De implementatie is getest door het met de hand narekenen van de ruwheden voor een eenvoudig testbakje. De producten van deze fase zijn de gewijzigde onderdelen van de WAQUA-programmatuur en een korte notitie over het gebruik en de interpretatie van het ruw.karak bestand. De maximale waarden voor D_{50} en D_{90} zijn ook aangepast. In eerste instantie stond D_{90} op maximaal 0,1 m. Dat was voor de Grensmaas te klein. De waarde is verhoogd naar maximaal 0,5 m.

2.4 Inregeling van globale zomerbedruwheid

Tijdens de inregeling van de globale zomerbedruwheid zijn de kalibratieconstanten α , β en γ ingeregeld met gebruikmaking van de automatische kalibratiemethode gebaseerd op het simplex-algoritme van Nelder & Mead (1965). Deze methode is eerder toegepast tijdens de inregeling van de hydraulische ruwheden van het WAQUA-model voor de Rijntakken en de Maas. De kalibratieconstanten α , β en γ zijn ingeregeld aan de hand van het hoogwater 1995. Er is geminimaliseerd op het absolute verschil tussen de berekende waterstand en de gemeten waterstand voor het gehele stijgende verloop van de hoogwatergolf en voor de MSW-stations.

2.5 Trajectafhankelijke correctieterm toevoegen en inregelen

In de tweede fase van de aanpassing van de ruwheidsformulering is een trajectafhankelijke correctieterm toegevoegd. De entries 602 en hoger in het ruw.karak bestand worden hiervoor gebruikt. Na het inbouwen van de trajectafhankelijke correctieterm is deze term handmatig ingeregeld aan de hand van het hoogwater 1995. De inregeling is zodanig dat de berekende en gemeten waterstanden van de top van het hoogwater voor ieder MSW-station overeenkomen. Er is gebruik gemaakt van de handmatige inregelmethode die beschreven is in Van den Brink (2000).

2.6 Verificatieberekeningen

Op basis van drie verificatie berekeningen zijn de verkregen ruwheidsinstellingen geverifieerd. Voor deze verificatieberekeningen is gebruik gemaakt van de hoogwaters van 1993 en 1999 en van een laagwaterperiode uit 1993. Voor elk MSW-station en voor elke verificatieberekening is aangegeven in hoeverre de gemeten en berekende waterstanden van elkaar afwijken. In hoofdstuk 5 is hier verder op in gegaan.

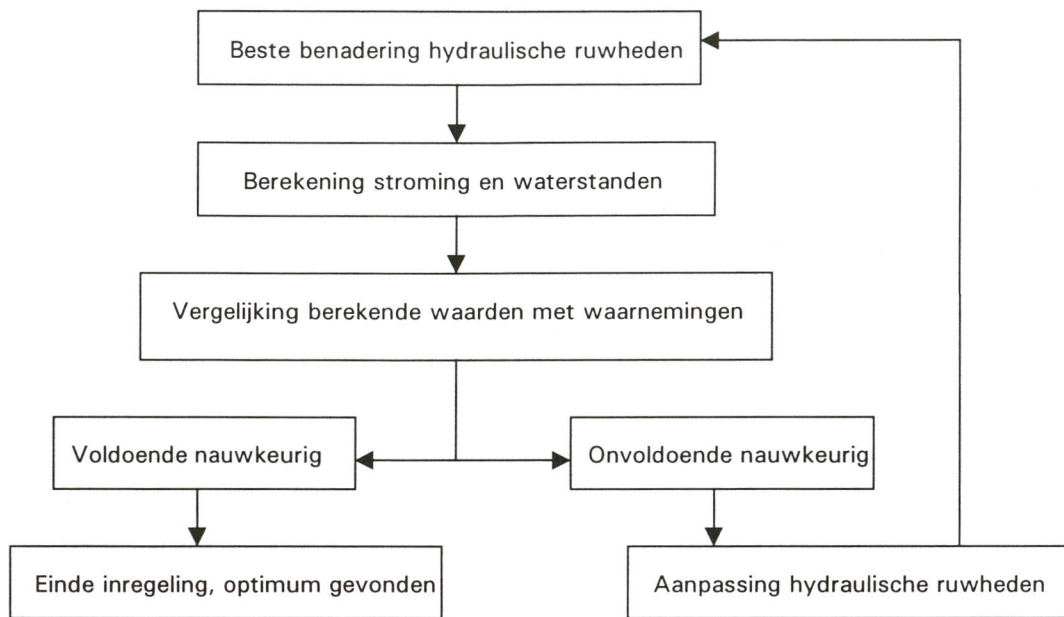
3 Fase I: Automatisch inregelen bodemruwheid zomerbed

3.1 Methodiek van het automatisch inregelen

In de periode maart 1997 tot december 1998 is een inregeltechniek ontwikkeld die geschikt is voor de inregeling van het WAQUA-model van de Maas. Het inregelen geschiedt door, na een gekozen instelling van de vrijheidsgraden, de modelresultaten te vergelijken met de metingen. De verschillen tussen berekende en gemeten waterstanden worden vervolgens op logische wijze vertaald in de aanpassing van ruwheden waarbij ook de berekeningsresultaten van de voorafgaande berekeningen in ogenschouw worden genomen. Gaandeweg wordt zo een optimale instelling van de ruwheden bereikt (Wijbenga & Duits, 1998).

Het aantal vrijheidsgraden is van grote invloed op de duur van de inregeling. Aangezien het model van de Maas een voor huidige begrippen groot aantal rekenpunten bevat moet per berekening met lange rekentijden rekening worden gehouden. Het aantal uit te voeren berekeningen is afhankelijk van het aantal vrijheidsgraden, zodat het grote voordelen biedt om alleen de belangrijkste componenten van de bodemruwheid in te regelen.

Voor de inregelmethode is gebruik gemaakt van het simplex-algoritme van Nelder & Mead (Nelder & Mead, 1965). Bij de aanvang van de inregeling zijn eerst de ruwheidsfactoren geselecteerd, die in het inregelproces als vrijheidsgraad zullen dienen. Daarna is een objectfunctie gedefinieerd waarin de meetstations, het tijdvenster, de weging en de metriek zijn vastgelegd. De objectfunctie is een functie van de verschillen tussen berekende en gemeten waterstanden. Vervolgens is het rekenproces gestart met een zo goed mogelijke schatting van de waarde van de verschillende ruwheidsfactoren. Op grond van de rekenresultaten is vervolgens op systematische wijze (volgens het algoritme van Nelder & Mead) de waarde van de verschillende parameters aangepast. De procesgang voor het inregelen is weergegeven in Figuur 3-1. Een uitgebreide beschrijving is te vinden in Wijbenga & Duits (1998) en Duits & Wijbenga (1998).



Figuur 3-1 Inregelschema

De ruwheid van het zomerbed is in de lengterichting van de rivier variabel. De indeling in twaalf trajecten levert twaalf parameters die ingeregeld moeten worden. In fase 1 is aangenomen dat de onderlinge verhouding van de zomerbedruwheden over het hele afvoerbereik constant is.

3.2 Ruwheid van het zomerbed

Voor de automatische inregeling wordt de ruwheidsformulering gebruikt die in paragraaf 2.3 is beschreven. In eerste instantie worden voor de gehele Maas de α , β en γ ingeregeld. Voor ieder traject dat is ingeregeld geldt een andere D_{90} en D_{50} . Deze waarden zijn betrokken uit metingen. Deze zijn gemiddeld per ruwheidstraject en zijn weergegeven in *Tabel 3-1*.

traject	ruwheidscode	van RKM	tot RKM	D ₅₀ gem [10 ⁻³ m]	D ₉₀ gem [10 ⁻³ m]
-	606	10,8	15,3	24,13	51,21
1	607/608	15,3	29,3	39,73	78,96
2	609	29,3	44,9	41,40	114,02
3	610/611	44,9	61,6	39,88	67,58
4	612/613/614/615	61,6	80,9	37,34	51,01
5	616/617/618	80,9	101	15,60	41,38
6	619/620/621	101	132,1	2,16	26,58
7	622	132,1	148	2,98	21,15
8	623/624/625	148	175,8	5,43	29,38
9	626	175,8	190,5	0,65	4,86
10	627	190,5	202,4	0,68	6,08
11	628/629	202,4	230,6	0,47	0,90
12	630	230,6	250,2	0,47	0,90

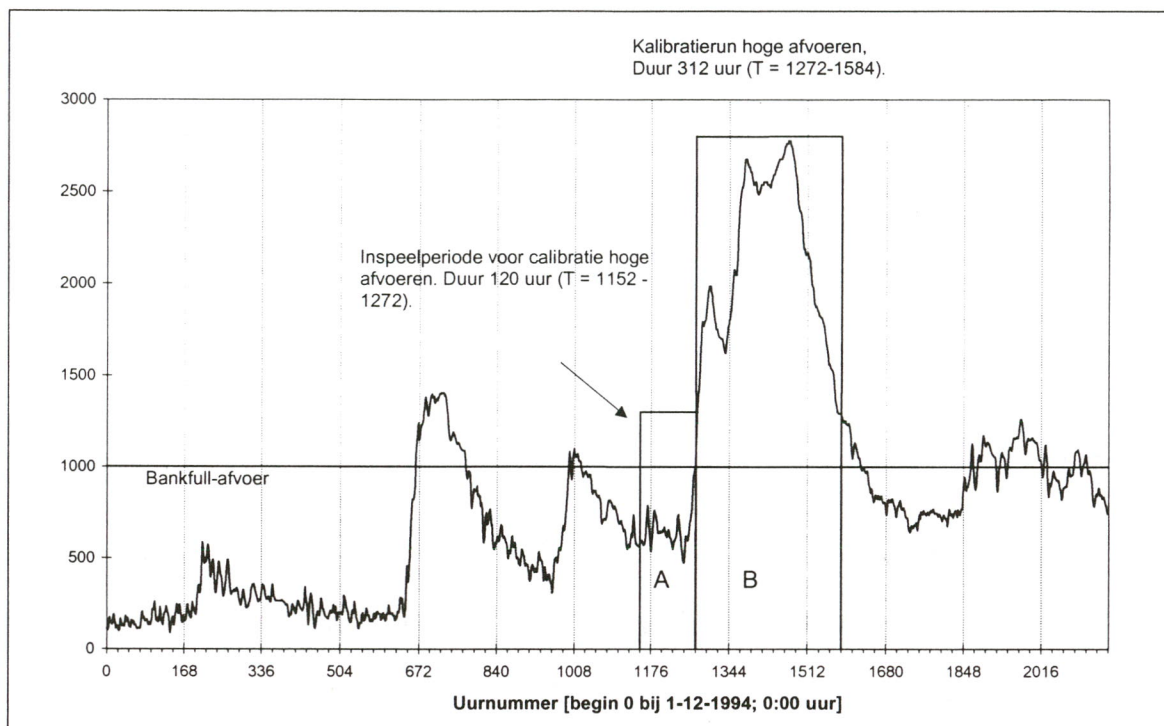
Tabel 3-1 Korrelgrootte per traject

3.3 Begin- en randvoorwaarden zomerbedinregeling

Voor de simulatie van de waterbeweging is naast de schematisatie tevens een set van begin- en randvoorwaarden nodig. Voor de randvoorwaarden van de inregeling is gebruik gemaakt van metingen tijdens het hoogwater van 1995.

Figuur 3-2 geeft het verloop van de afvoer bij Maastricht (km 14,0) weer. Uit dit verloop is een aantal periodes geselecteerd. Voor de inregeling van de zomerbedruwheden zijn twee periodes van belang:

- periode A Deze periode wordt gebruikt om de initiële toestand klaar te zetten van waaruit de kalibratie wordt gestart
- periode B Dit is tijdspanne waarover de kalibratieperiode wordt uitgevoerd



Figuur 3-2 Verloop van de afvoer bij Maastricht (km 14,0) in de periode 1 december 1994 tot en met 28 februari 1995

3.4 De objectfunctie

De objectfunctie is een functie die de verschillen tussen berekende en gemeten waterstanden beschrijft. Ten aanzien van de objectfunctie dienen een viertal keuzes gemaakt te worden:

1. Welke meetstations worden gebruikt bij het sommeren van de verschillen tussen berekende en gemeten waterstanden?
2. Hoe groot is het tijdvenster van de objectfunctie, waarover de verschillen tussen berekende en gemeten waterstanden worden gesommeerd?
3. Als de grootte van het tijdvenster vastligt, welke tijdstip is dan per meetstation het begintijdstip van het tijdvenster?
4. Op welke wijze worden de verschillen tussen gemeten en berekende waterstanden gesommeerd? Sommatie van absolute verschillen of kwadratische verschillen?

In de paragrafen 3.5 tot en met 3.7 zullen deze vier vragen uitgewerkt worden.

3.5 Absolute of kwadratische verschillen in objectfunctie

Een objectfunctie, die gebaseerd is op de som van de kwadratische verschillen tussen gemeten en berekende waterstanden, is gegeven in formule 6. Een objectfunctie, die is gebaseerd op de som van de absolute verschillen tussen berekende en gemeten waterstanden is weergegeven in formule 7.

$$f(\underline{x}) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p [h_{jk} - \varphi_{jk}(\underline{x})]^2 \quad (6)$$

$$f(\underline{x}) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p |h_{jk} - \varphi_{jk}(\underline{x})| \quad (7)$$

waarin h_{jk} de gemeten waterstand op tijdstip t_j en locatie y_k is en $\varphi_{jk}(\underline{x})$ de berekende waterstand is op tijdstip t_j , locatie y_k en met ruwheidsparemeters $\underline{x} = (x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(n)})$, als n het aantal in te regelen hoofdcategorieën van ruwheidsparemeters is. Voor de inregeling zijn drie ruwheidsparemeters beschouwd. Derhalve is n gelijk aan 3. Omdat er elf meetstations beschouwd worden is p gelijk aan 11. Omdat bij elk meetstation het tijdsvenster een grootte heeft van 120 uur, kan aan m de waarde 121 toegekend worden.

Het mag duidelijk zijn dat de keuze tussen een objectfunctie met absolute verschillen en een objectfunctie met kwadratische verschillen invloed heeft op de uiteindelijke ingeregelde waarden van de ruwheden. Het verschil tussen absolute en kwadratische verschillen kan het beste aan de hand van het volgende voorbeeld onder woorden worden gebracht:

Stel dat er één meetstation is dat systematisch hogere waterstanden berekent dan de gemeten waterstanden (bijvoorbeeld omdat dit meetstation verkeerd geijkt is of het verkeerd in het model ligt). Stel dat de andere meetstations wel waterstanden berekenen die gemiddeld gelijk zijn aan de gemeten waterstanden. De volgende afweging moet gemaakt worden tussen twee instellingen van ruwheden:

1. Een zodanige instelling dat de berekende en gemeten waterstanden aan elkaar gelijk zijn voor alle meetstations op één na en de berekende en de gemeten waterstanden relatief sterk van elkaar verschillen voor dat ene meetstation.
2. Een zodanige instelling dat de berekende en gemeten waterstanden licht van elkaar verschillen voor alle meetstations op één na en de berekende en de gemeten waterstanden minder sterk van elkaar verschillen voor dat ene meetstation.

Een objectfunctie op basis van kwadratische verschillen moet gebruikt worden als de voorkeur uitgaat naar de situatie onder 2. Een objectfunctie op basis van absolute verschillen moet gebruikt worden als de voorkeur uitgaat naar de situatie onder 1. De situatie met absolute verschillen heeft als voordeel dat meetstations, waarbij 'iets mis' is, duidelijk worden belicht.

3.6 Meetstations

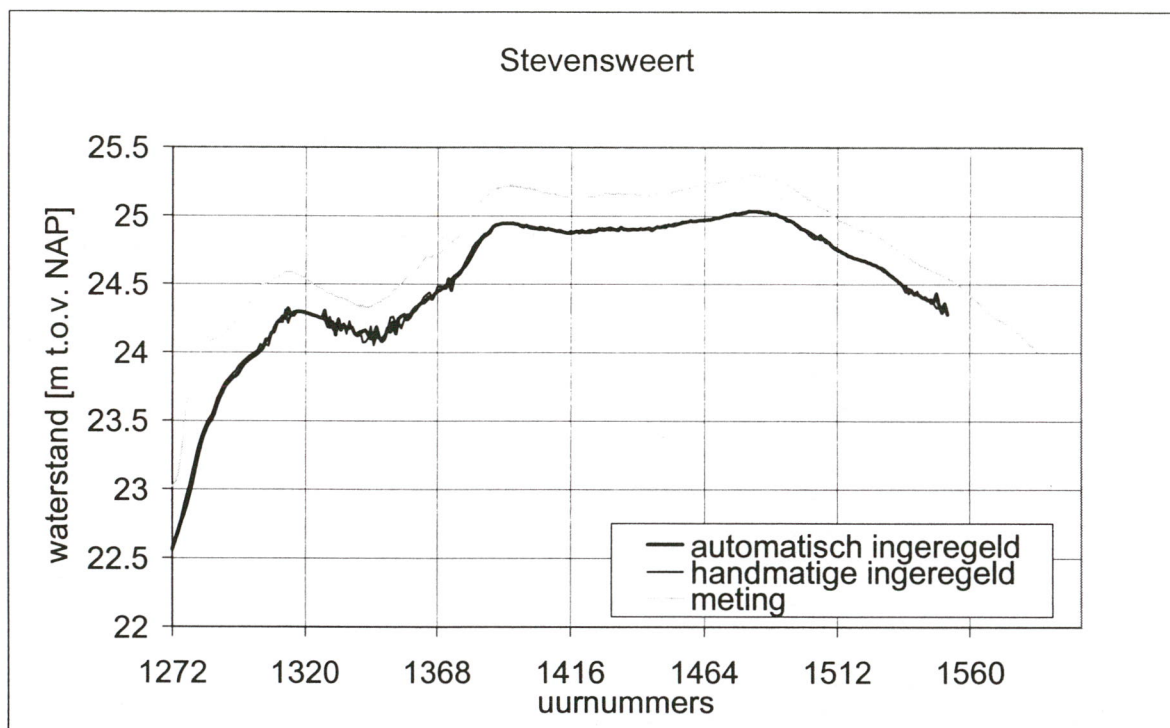
Een hoogwaterberekening leert dat bij het meetstation Stevensweert waterstanden berekend worden die over de gehele linie lager zijn dan de gemeten waterstanden. Het verschil tussen berekende en gemeten waterstanden is nagenoeg constant (zie Figuur 3-3). De locatie van het meetstation Stevensweert is ook erg ongelukkig, omdat dit meetstation precies in een bocht ligt, voorafgegaan door een lang recht stuk rivier. Bovendien moet de hele afvoer door deze relatief smalle bocht. Hierdoor ontstaan lokaal zeer grote stroomsnelheden en wordt een sterke spiraalstroom opgewekt. Invloed van deze stromingen op de metingen wordt niet uitgesloten. Er is besloten de verschillen tussen de berekende en gemeten waterstanden van het meetstation Stevensweert niet mee te nemen bij de bepaling van de objectfunctie, omdat dit de inregeling nadelig zou kunnen beïnvloeden.

In de vorige automatische inregeling van het zomerbed werd station Heesbeen niet meegenomen omdat de Afgedamde Maas niet in de modelschematisatie aanwezig was. In de huidige situatie

wordt de Afgedamde Maas wel meegenomen en kan station Heesbeen worden meegenomen bij de inregeling.

Bij stuwen liggen bovenstrooms en benedenstrooms waterstandsm Meetpunten. Voor de inregeling worden alleen de benedenstroomse meetpunten in de inregeling mee te nemen. Dit is gedaan om de invloed van de stuw te minimaliseren.

Uiteindelijk wegen de volgende meetstations mee in de objectfunctie: Borgharen-dorp, Elsloo, Grevenbicht, Heel beneden, Belfeld beneden, Well-dorp, Sambeek beneden, Grave beneden, Megen, Lith-dorp en Heesbeen.



Figuur 3-3 Berekende en gemeten waterstand bij Stevensweert, hoogwater 1995

3.7 Tijdvenster

3.7.1 Grootte tijdvenster

De objectfunctie is opgebouwd uit de som van de verschillen tussen gemeten en berekende waterstanden. Omdat het voor de hand ligt om geen onderscheid te maken naar meetstation zijn alle meetstations in dezelfde mate betrokken in de objectfunctie. Voor elk meetstation is hetzelfde aantal uurnummers gebruikt voor het construeren van de objectfunctie. Overigens is het wel mogelijk om per meetstation een ander aantal uurnummers te gebruiken, maar dan zal een bepaalde weging toegepast moeten worden. Er is een tijdvenster van 5 dagen gekozen (120 uur).

3.7.2 Begintijdstip tijdvenster

Per meetstation varieert de ligging van het tijdsvenster. Met behulp van SOBEK-kilometers zijn de afstanden tussen de verschillende meetstations bepaald (Tabel 3-2). Voor de gemeten

hoogwatergolf zijn de tijdstippen bepaald waarop de maximale waterstand gemeten is bij respectievelijk Borgharen-dorp en Lith-dorp. Bij Borgharen-dorp is de maximale waterstand gemeten op 31 januari 1995; 9:00 uur (uurnummer 1473) en bij Lith dorp op 2 februari 1995; 16:00 uur (uurnummer 1528). De afstand tussen de beide meetlocaties bedraagt bijna 181 km. Hieruit volgt een golfsnelheid van ruim 3 km/uur. Uitgaande van deze golfsnelheid is het uurnummer bepaald waarop de watermassa bij de andere meetstations is, gebruikmakend van de afstanden tussen Borgharen en de andere meetstations van Tabel 3-2. In Tabel 3-3 zijn deze nummers gegeven waarbij opgemerkt wordt dat uurnummer 0 gelegd is op 1 december 1994; 0:00 uur.

Meetstation	Afstand tot het meetstation Borgharen-dorp [km]
Elsloo	13,3
Grevenbicht	27,9
Stevensweert	45,6
Heel beneden	66,6
Belfeld beneden	81,6
Well dorp	112,5
Sambeek beneden	128,3
Grave beneden	154,5
Megen	169,2
Lith dorp	180,8
Heesbeen	208,8

Tabel 3-2 Afstand MSW stations tot Borgharen Dorp

Het tijdvenster bij Borgharen is vervolgens rond het uurnummer 1473 geplaatst zodanig dat dit tijdvenster de hoge waterstanden bevat (zie Tabel 3-3). Het starttijdstip van het tijdvenster is op basis van de genoemde figuur gelijk gekozen aan uurnummer 1368. Dit is 105 uur voor de maximale waterstand bij Borgharen. De grootte van het tijdvenster is gelijk gekozen aan 120 uur. Dit betekent dat het eindtijdstip van het tijdvenster bij Borgharen geplaatst is op uurnummer 1488 (15 uur na de maximale waterstand bij Borgharen).

Meetstation	Uurnummer begintijdstip tijdvenster, 105 uur voor het uurnummer van de volgende kolom	Uurnummer maximale waterstand, uitgaande van maximale waterstanden Borgharen en Lith dorp en constante golfsnelheid	Uurnummer eindtijdstip tijdvenster, 15 uur na het uurnummer van de vorige kolom
Borgharen	1368	1473	1488
Elsloo	1372	1477	1492
Grevenbicht	1377	1482	1497
Stevensweert	1383	1488	1503
Heel beneden	1390	1495	1510
Belfeld beneden	1395	1500	1515
Well haven	1400	1505	1520
Sambeek beneden	1406	1511	1526
Grave beneden	1414	1519	1534
Megen	1419	1524	1539
Lith dorp	1423	1528	1543
Heesbeen	1432	1537	1552

Tabel 3-3 Uurnummers tijdvenster ten behoeve van de objectfunctie.

Bij elk meetstation is het beginpunt van het tijdvenster vervolgens 105 uur vóór het uurnummer met de maximale waterstand (genoemd in *Tabel 3-3*) geplaatst en het eindpunt van het tijdvenster 15 uur na de maximale waterstand. Zowel het begin- als het eindtijdstip van het tijdvenster zijn vermeld in *Tabel 3-3*. Met deze tijdvensters wordt de stijgende tak zo goed mogelijk meegenomen in de optimalisatie, waardoor niet alleen op de top wordt afgeregeld.

3.8 Resultaten

Allereerst is de initiële conditie voor de inregeling van het zomerbed bepaald. Hiertoe is de periode van 13 februari 1995 0:00 uur tot 18 februari 1995 0:00 uur (uurnummer 1776 tot 1896 in *Figuur 3-2*) doorgerekend. Als beginvoorwaarde is de situatie met constante afvoer van $750 \text{ m}^3/\text{s}$ gebruikt. Als bovenstroomse randvoorwaarde is het debiet opgelegd. Dit is berekend uit de Q-h-relatie bij Borgharen-dorp + $31 \text{ m}^3/\text{s}$ ($15 \text{ m}^3/\text{s}$ voor de Zuid-Willemsvaart en $16 \text{ m}^3/\text{s}$ voor het Julianakanaal). Als benedenstroomse randconditie is de gemeten waterstand bij Keizersveer gebruikt. De overige randvoorwaarden (grondwater, laterale toestromingen, etc.) zijn conform de SOBEK-kalibratie (Van der Veen et al., 1998).

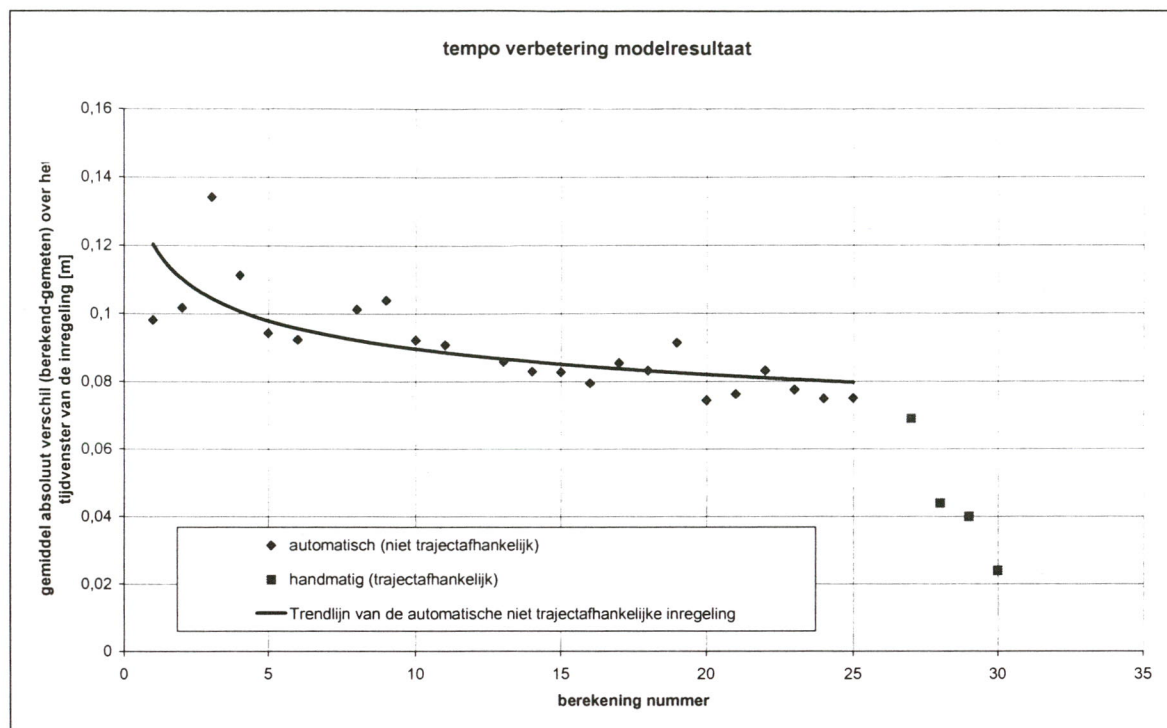
3.8.1 Inregeling bodemruwheid zomerbed

In eerste instantie zijn vier berekeningen gemaakt die samen de startsimplex vormen. De resultaten zijn weergegeven in *Tabel 3-4*. Na deze berekeningen is er een correctie geweest op de overlatenberekening in WAQUA. De eerste vier berekeningen zijn niet overgemaakt. Van de fout in de startsimplex door de aangepaste overlatenberekening wordt verwacht dat deze reeds na enkele vervolgberekeningen is verdwenen. Vervolgens zijn er 25 berekeningen gemaakt. Berekening 7 en 12 zijn vastgelopen. Dit bleek te komen door een combinatie van $\gamma < 0$ en $T = 0$ in de ruwheidsberekening, in dat geval wordt door nul gedeeld. Dit is verholpen door de ondergrens van gamma groter dan nul te stellen.

De optimalisatie is handmatig stopgezet, omdat het tempo waarin de objectfunctiewaarde verbeterde klein was. Het verloop van de optimalisatie is weergegeven *Tabel 3-4* en *Figuur 3-4*. De beste berekening was berekening nummer 20. De file waarin in waqua de ruwheid wordt opgegeven is de ruw.karak file. De ruw.karak file van de eerste berekening is weergegeven in *Bijlage C*. De ruw.karak file van berekening nummer 20 is weergegeven in *Bijlage D*.

	berekening nummer	alpha	beta	exp(gamma)	Objecfunctiewaarde	Gemiddelde afwijking [m]
start simplex	1	1	1	1	130.6	0.098
	2	1.2	1	1	135.4	0.102
	3	1	1.2	1	178.5	0.134
	4	1	1	1.1	148.1	0.111
automatisch	5	1.12	0.88	1.07	125.6	0.094
	6	1.2	0.8	1.1	123.0	0.092
	7	1.29	0.85	0.97	fout	fout
	8	1.06	0.95	1.07	134.8	0.101
	9	0.98	0.83	1.11	138.4	0.104
	10	1.13	0.94	1.03	122.7	0.092
	11	1.16	0.85	1.02	120.8	0.091
	12	1.21	0.82	0.99	fout	fout
	13	1.39	0.77	1.1	114.2	0.086
	14	1.65	0.72	1.15	110.4	0.083
	15	1.4	0.83	1.02	110.1	0.083
	16	1.51	0.85	1.01	105.8	0.079
	17	1.75	0.72	1.02	113.7	0.085
	18	2.02	0.69	1.03	110.7	0.083
	19	1.51	0.85	0.98	121.6	0.091
	20	1.95	0.68	1.15	99.0	0.074
	21	2.08	0.64	1.22	101.4	0.076
	22	1.48	0.73	1.22	110.7	0.083
	23	1.65	0.72	1.18	103.2	0.078
	24	1.92	0.7	1.14	99.7	0.075
	25	2.02	0.69	1.13	99.8	0.075

Tabel 3-4 Verloop objectfunctiewaarde tijdens de automatische inregeling

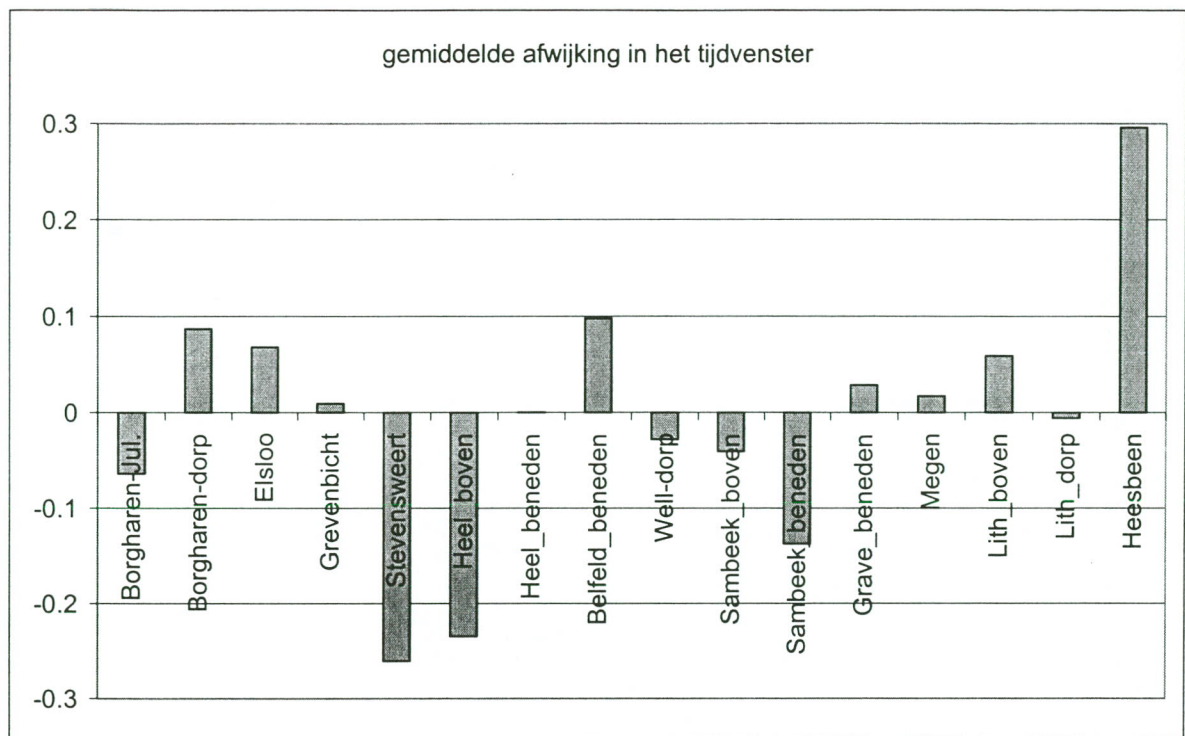


Figuur 3-4 Tempo verbetering modelresultaat

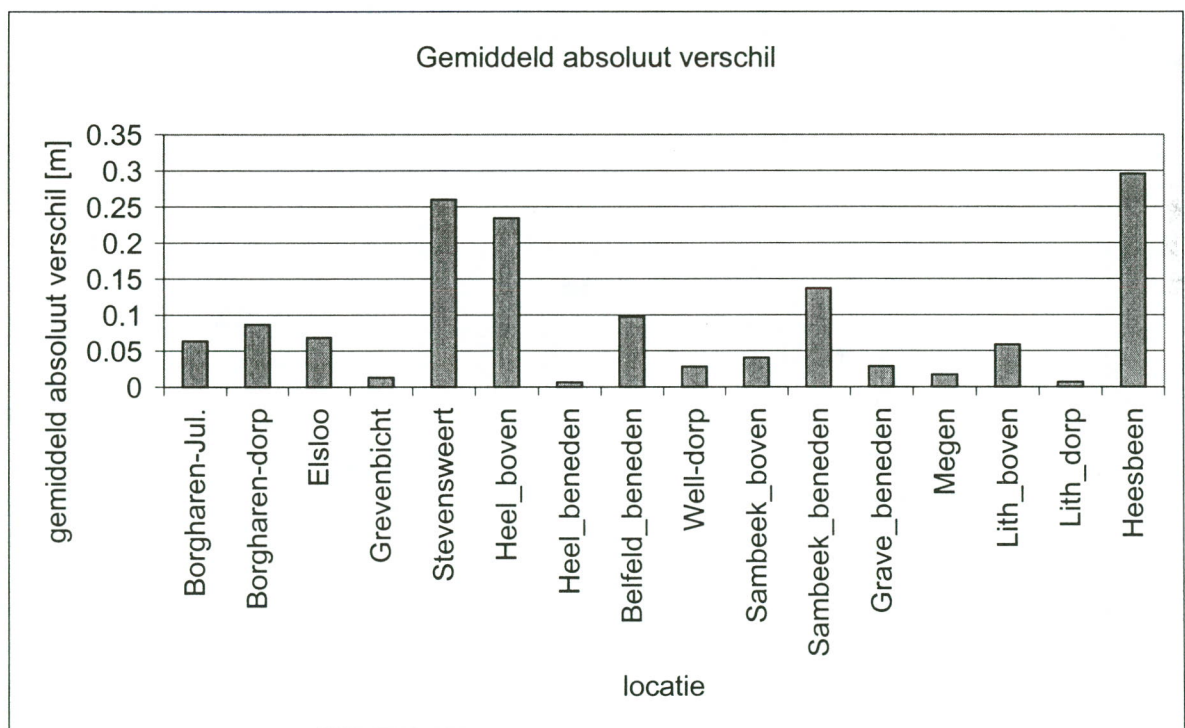
3.8.2 Nauwkeurigheid per station

De nauwkeurigheid per station staat in twee figuren weergegeven. In Figuur 3-5 staat een overzicht van de gemiddelde afwijking over het tijdvenster waarin de meetlocatie wordt meegenomen voor de objectfunctie. In dit figuur staan ook de locaties waarop niet is ingeregeld, dit ter indicatie van de fout die daar gemaakt wordt. Het gemiddelde van de absolute fout bedraagt 0,075 m voor alle ingeregelde stations. Alle stations waarop is ingeregeld, met uitzondering van Sambeek-beneden en Heesbeen voldoen aan de in de doelstelling gestelde eis van een gemiddelde absolute fout kleiner dan 0,10 m. In Figuur 3-6 staat het gemiddelde van het absolute verschil tussen de berekende en de gemeten waarde.

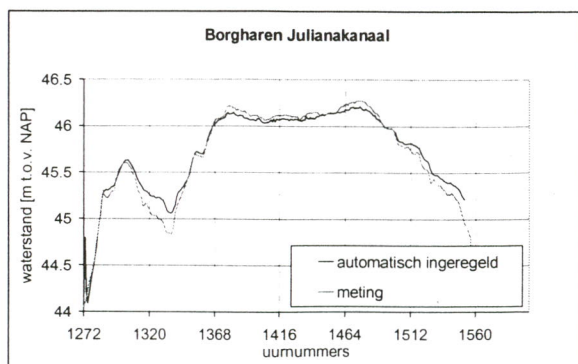
In Figuur 3-7 tot Figuur 3-22 staan de gemeten en de berekende waterstand uitgezet per station van som 20, de niet trajectafhankelijke inregeling. De verschillen tussen de berekende en de gemeten waterstand zijn in Figuur 3-23 tot en met Figuur 3-26 uitgezet.



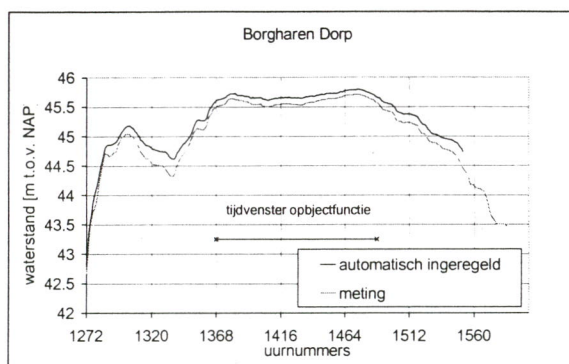
Figuur 3-5 Gemiddelde verschil (berekend-gemeten) over het tijdvenster in som 20



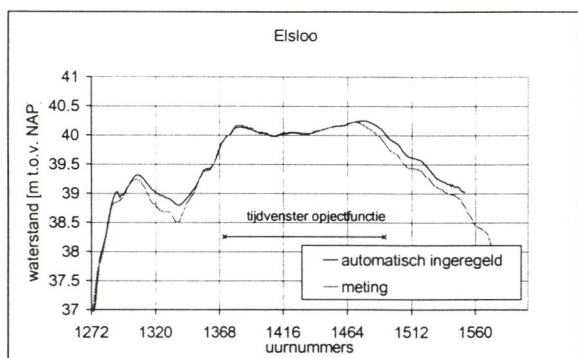
Figuur 3-6 Gemiddeld absoluut verschil (berekend-gemeten) over het tijdvenster in som 20



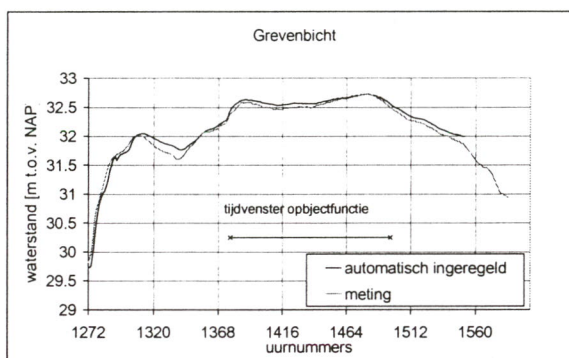
Figuur 3-7 Waterstand Borgharen Julianakanaal (1995)



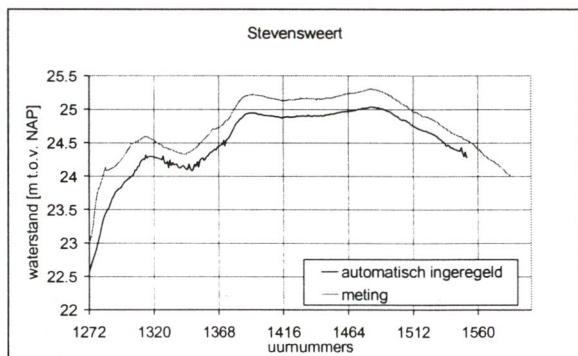
Figuur 3-8 Waterstand Borgharen dorp (1995)



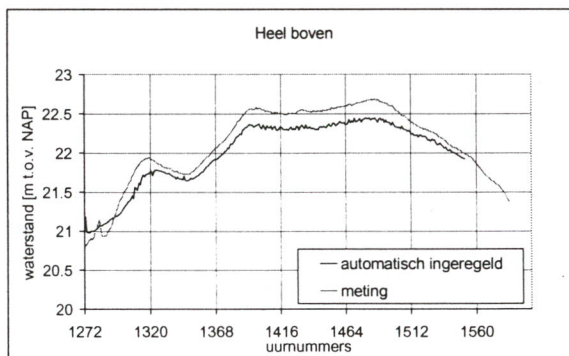
Figuur 3-9 Waterstand Elsloo (1995)



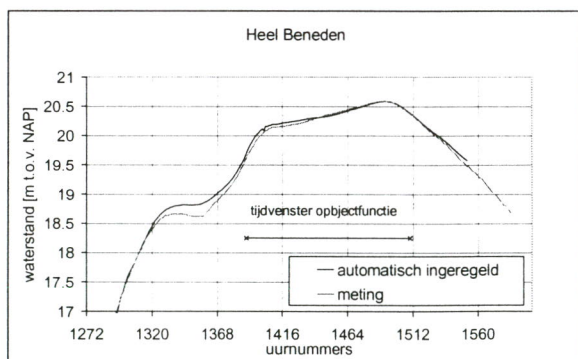
Figuur 3-10 Waterstand Grevenbicht (1995)



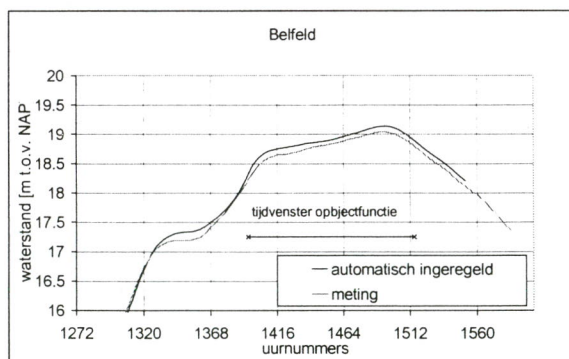
Figuur 3-11 Waterstand Stevensweert (1995)



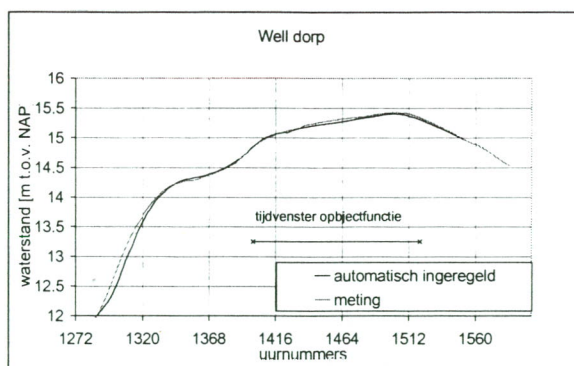
Figuur 3-12 Waterstand Heel boven (1995)



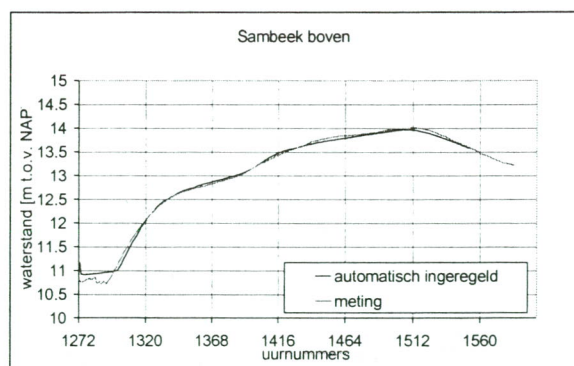
Figuur 3-13 Waterstand Heel beneden (1995)



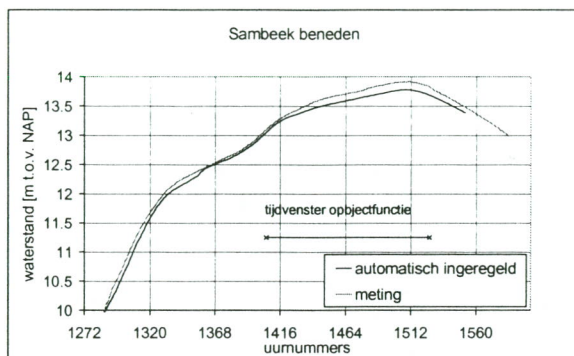
Figuur 3-14 Waterstand Belfeld (1995)



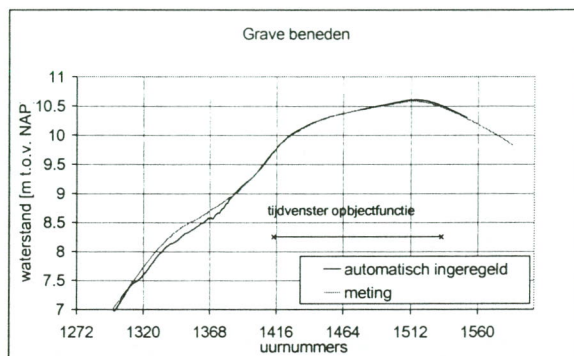
Figuur 3-15 Waterstand Well dorp (1995)



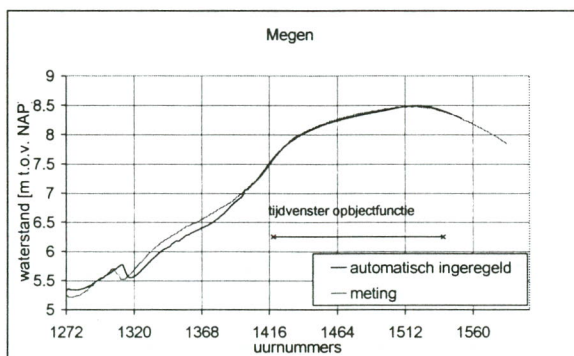
Figuur 3-16 Waterstand Sambeek boven (1995)



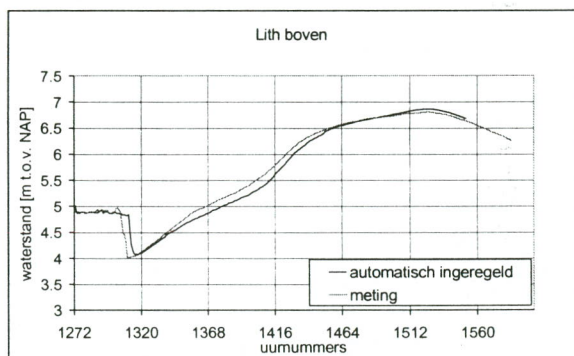
Figuur 3-17 Waterstand Sambeek beneden (1995)



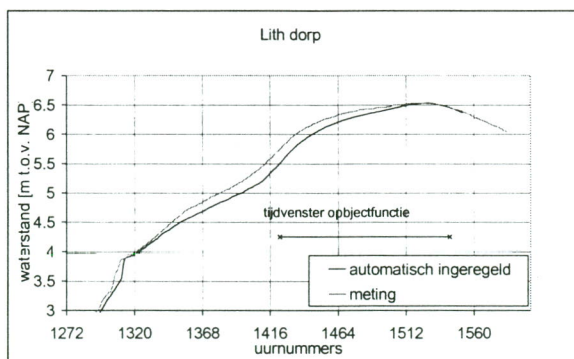
Figuur 3-18 Waterstand Grave beneden (1995)



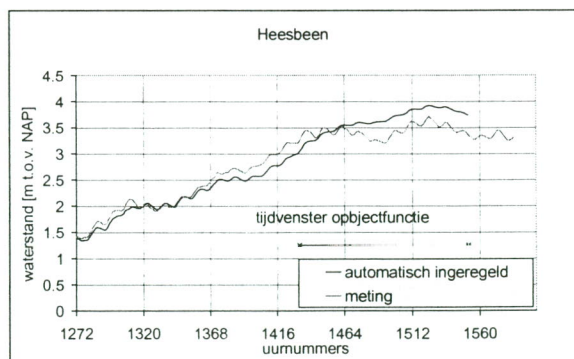
Figuur 3-19 Waterstand Megen (1995)



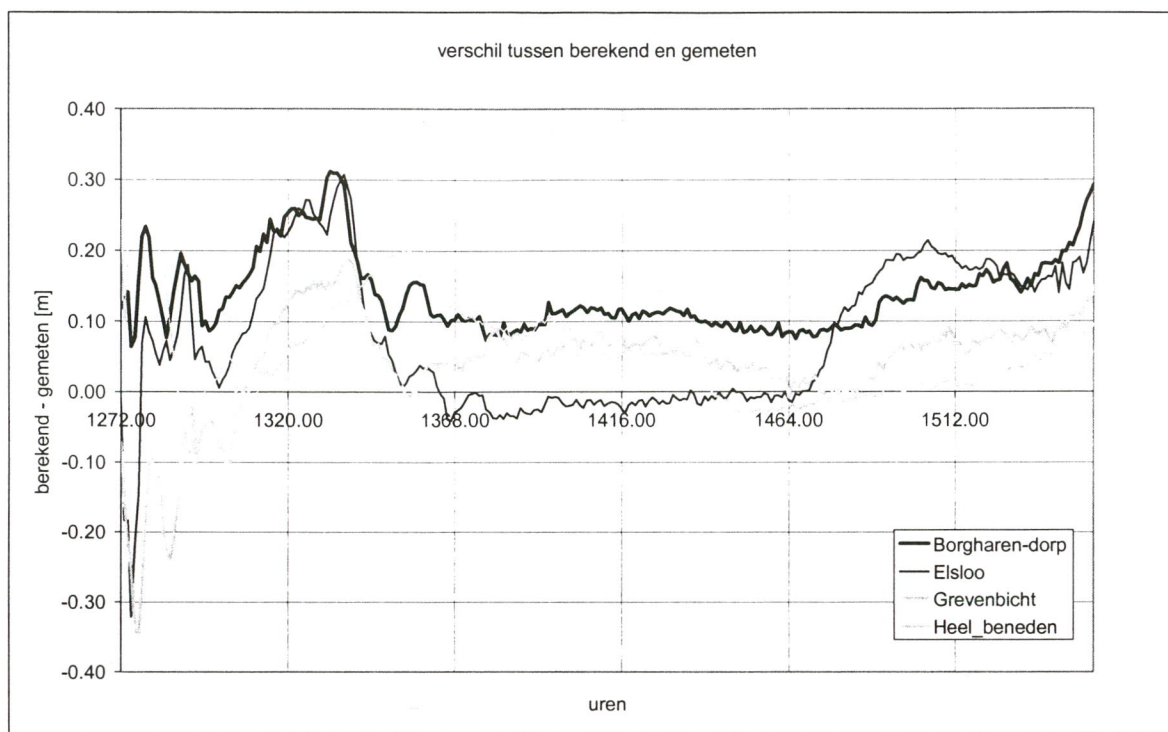
Figuur 3-20 Waterstand Lith boven (1995)



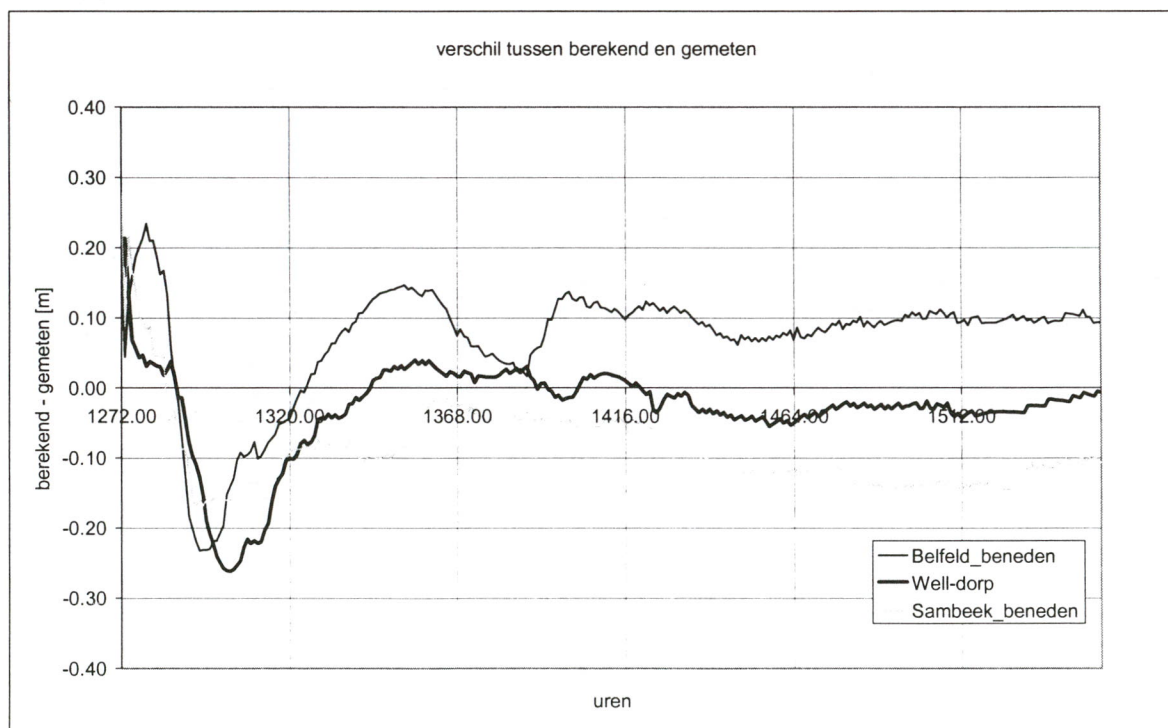
Figuur 3-21 Waterstand Lith dorp (1995)



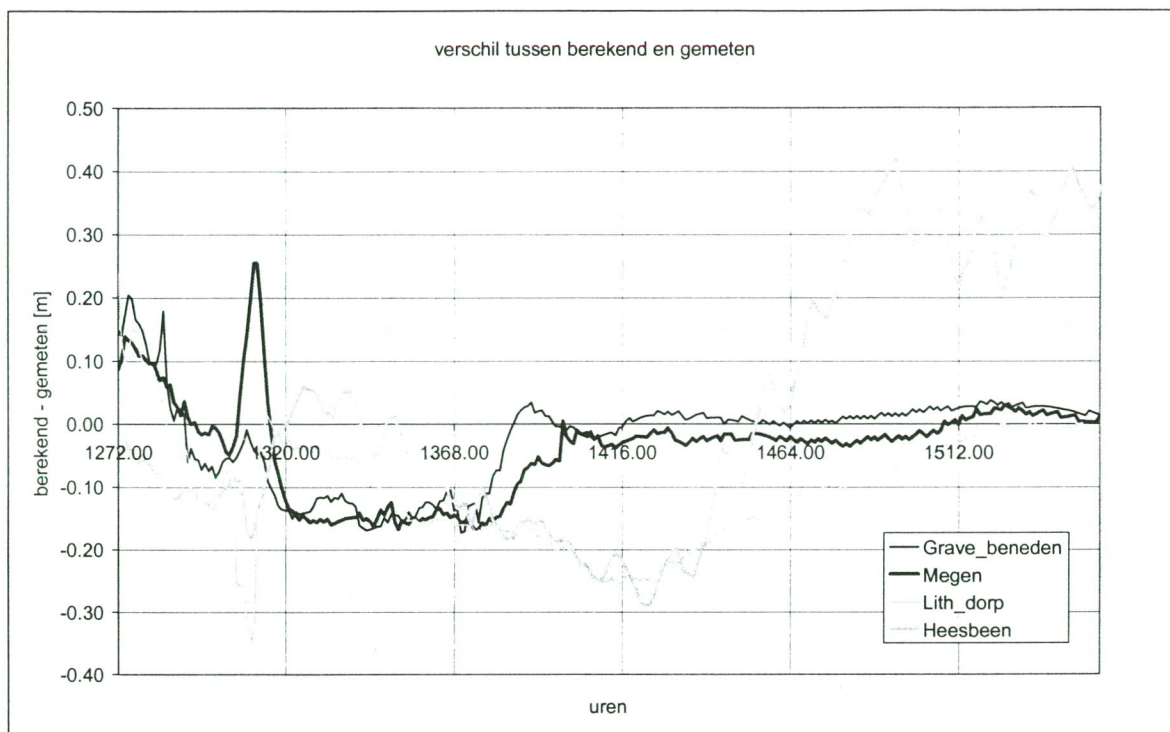
Figuur 3-22 Waterstand Heesbeen (1995)



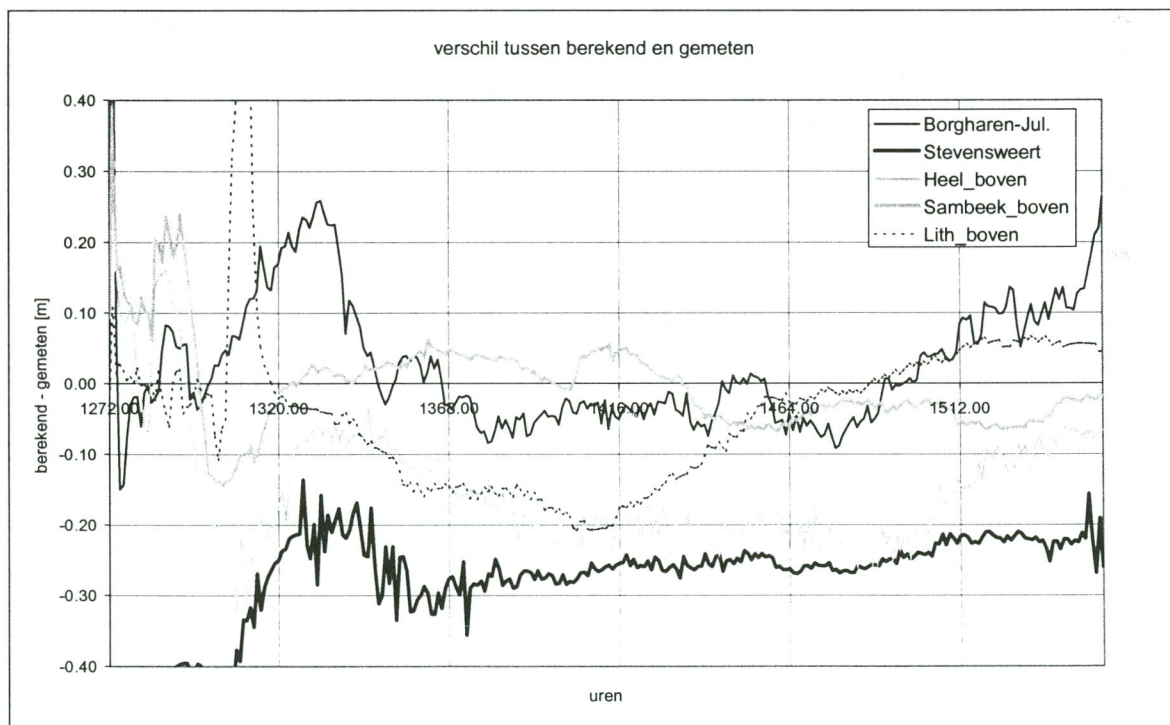
Figuur 3-23 Verschil berekend-gemeten, automatische inregeling



Figuur 3-24 Verschil berekend-gemeten, automatische inregeling



Figuur 3-25 Verschil berekend - gemeten automatische inregeling



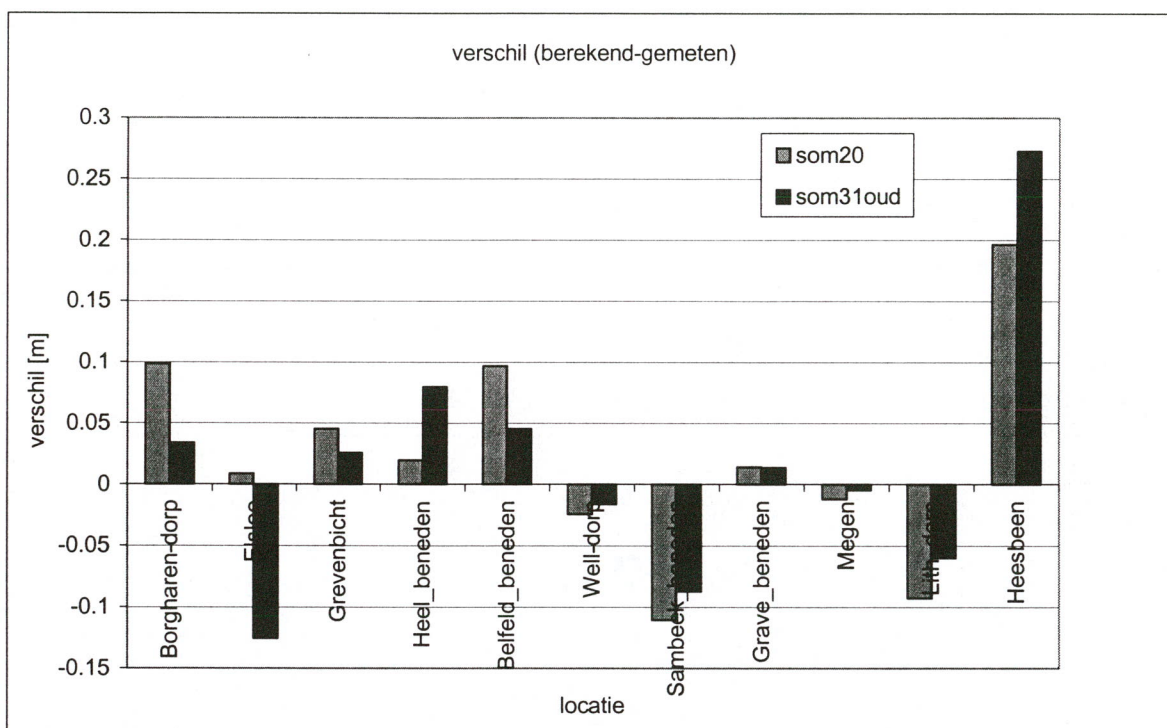
Figuur 3-26 Verschil berekend - gemeten automatische inregeling

3.8.3 Vergelijking met beste berekening uit de oude inregeling

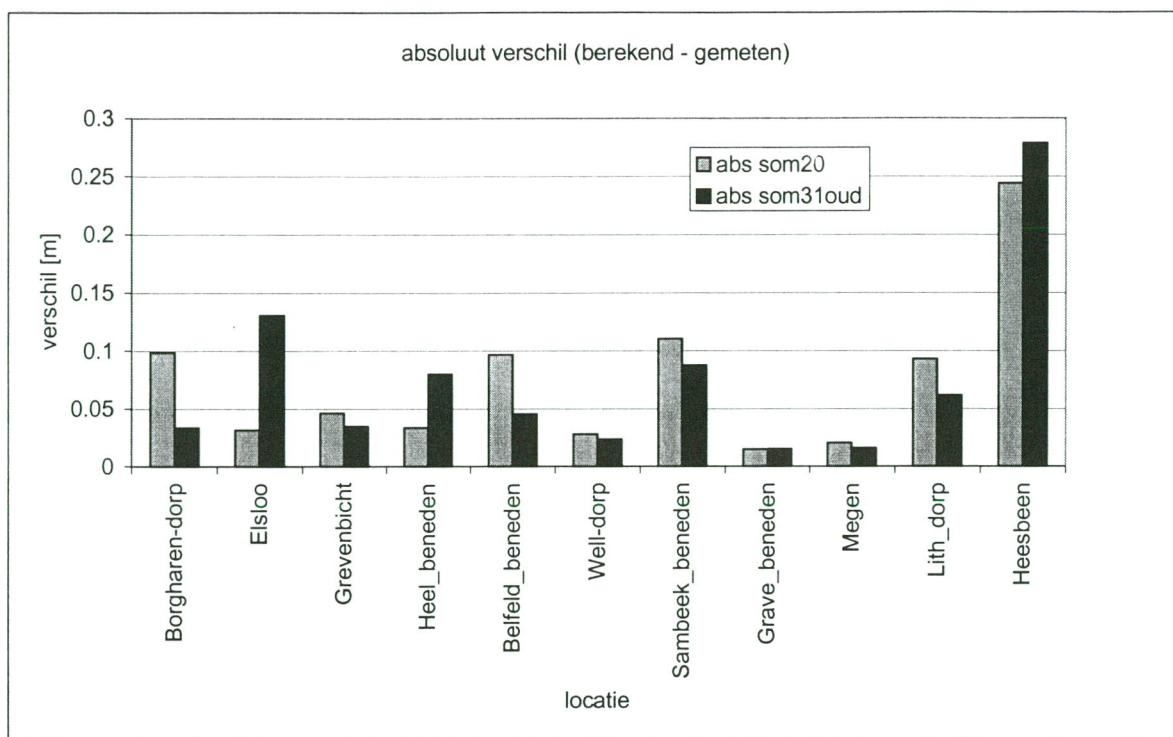
In 1999 is de nagenoeg dezelfde automatische methodiek gevolgd om de ruwheden van de Maas in te regelen. Zie hiervoor Duits en Visser, 1999. Toen is de oude ruwheidsformulering gebruikt (vergelijking 1) en een WAQUA versie met een andere overlatenberekening. Om een vergelijking te maken tussen de beste berekening met de nieuwe ruwheidsformulering en de beste berekening

met de oude ruwheidsberekening zijn de resultaten in Figuur 3-27 en Figuur 3-28 naast elkaar gezet. Deze vergelijking is niet helemaal zuiver, maar geeft wel een beeld van de kwaliteit van de nieuwe automatische inregeling ten opzichte van de oude. Aan de oude berekening is een trajectafhankelijke inregeling vooraf gegaan. Bij de nieuwe inregeling zijn vooraf de onderlinge verhoudingen van de zomerbedruwheden niet ingeregeld.

Uit Figuur 3-27 en Figuur 3-28 blijkt dat beide berekeningen ongeveer even goed zijn. De objectfunctiewaarde inclusief Heesbeen bedraagt voor de oude berekening 98 m en de nieuwe berekening 99 m, waarmee de oude inregeling een fractie beter presteert.



Figuur 3-27 Vergelijking beste oude inregeling en beste nieuwe inregeling; gemiddeld verschil over tijdvenster objectfunctie



Figuur 3-28 Vergelijking beste oude inregeling en beste nieuwe inregeling; gemiddeld absoluut verschil over tijdvenster objectfunctie

4 Fase II: Handmatige fijnaafregeling bodemruwheid zomerbed

4.1 Trajectafhankelijke correctieterm toevoegen en inregelen

In de tweede fase van de aanpassing van de ruwheidsformulering is een trajectafhankelijke correctieterm toegevoegd. De correctieterm, die trajectafhankelijk is, komt voor de hele ruwheidsterm te staan.

$$k = \text{correctieterm}(\alpha D_{90} + \beta h T^r)$$

Er is gebruik gemaakt van de handmatige inregelmethode die beschreven is in Van den Brink (2000). De inregeling komt neer op een lineaire aanpak. De methode gaat uit van een inter- en extrapolatie van ruwheden op basis van het geregistreerde effect tussen de eerste en de laatste berekening. Deze methode is toepasbaar als de berekende waterstanden betrekkelijk dicht bij de gemeten waterstanden zit.

De entries 602 en hoger in het ruw.karak bestand worden gebruikt. Van iedere entry is het derde getal de trajectafhankelijke correctieterm. Zie hiervoor ook Bijlage A en B, waarin de documentatie staat die VORtech gemaakt heeft. Na het inbouwen van de trajectafhankelijke correctieterm is deze term handmatig ingeregeld aan de hand van het hoogwater 1995. De inregeling is zodanig dat de berekende en gemeten waterstanden van de top van het hoogwater voor ieder MSW-station overeenkomen. Hier is het tijdvenster van de objectfunctie losgelaten. Het gaat om de twintig uur rond de top van het hoogwater. Er is dus een nieuwe objectfunctie.

	Begin tijdvenster	Midden tijdvenster	Eind tijdvenster
Borgharen-Jul.	1465	1476	1486
Borgharen-dorp	1464	1475	1485
Elsloo	1466	1477	1487
Grevenbicht	1470	1481	1491
Stevensweert	1470	1481	1491
Heel boven	1475	1486	1496
Heel beneden	1482	1493	1503
Belfeld beneden	1484	1495	1505
Well-dorp	1492	1503	1513
Sambeek boven	1498	1509	1519
Sambeek beneden	1498	1509	1519
Grave beneden	1505	1516	1526
Megen	1510	1521	1531
Lith boven	1515	1526	1536
Lith dorp	1516	1527	1537
Heesbeen	1514	1525	1535
Keizersveer	1511	1522	1532

Tabel 4-1 Tijdvenster objectfunctie trajectafhankelijke inregeling

4.2 Resultaten

Er zijn voor de inregeling van de trajectafhankelijke correctieterm vier WAQUA-berekeningen gemaakt. In Tabel 4-2 staat per berekening de gebruikte trajectafhankelijke correctieterm en de berekende trajectafhankelijke correctieterm. Bij berekening nummer 28 is de berekende handmatige correctieterm bij Borgharen-dorp en Heesbeen niet overgenomen, omdat deze erg onwaarschijnlijke waarden voorstelde.

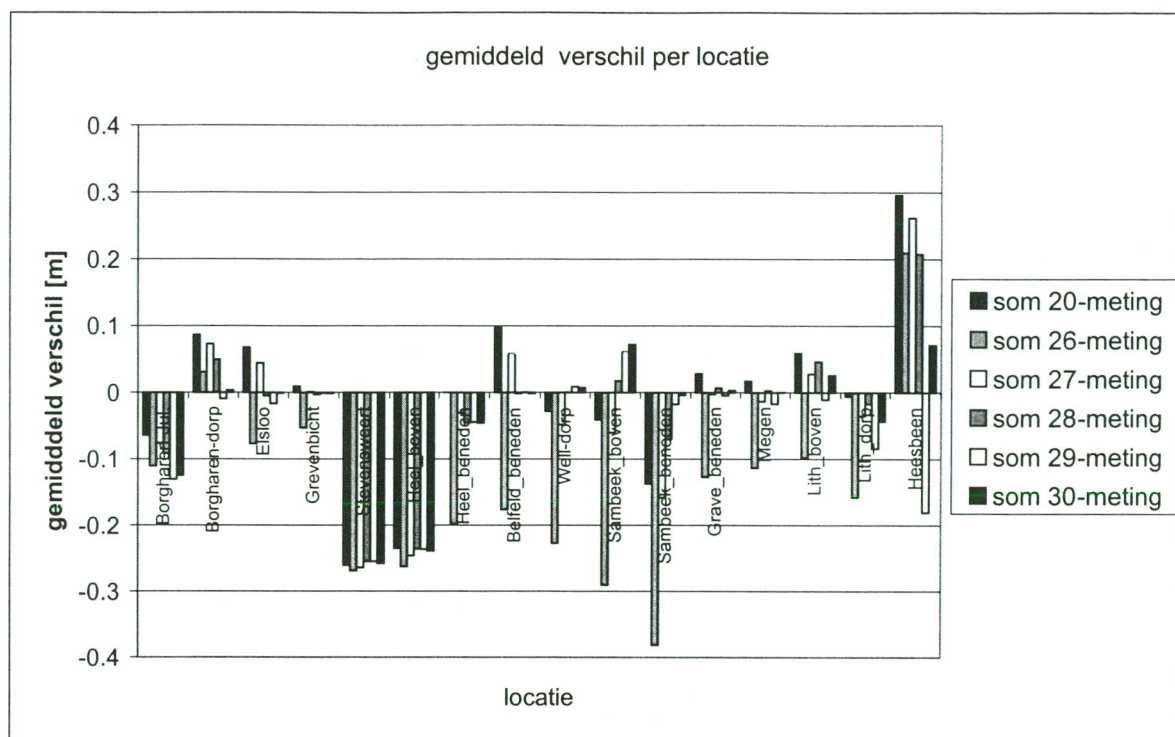
De ruw.karak file van de beste berekening is weergegeven in Bijlage E.

		Borgharen-dorp	Elsloo	Grevenbicht	Heel_beneden	Belfeld_beneden	Well-dorp	Sambeek_beneden	Grave_beneden	Megen	Lith_dorp	Heesbeen
beste auto-matische som	verschil som 20-meting	0.087	0.068	0.009	0.000	0.098	-0.028	-0.137	0.029	0.017	-0.006	0.296
	factor	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	gebruikte factor	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
som 1; trajectafh. correctieterm	verschil som 27-meting	0.074	0.045	0.001	-0.031	0.058	-0.048	-0.158	-0.002	-0.013	-0.035	0.262
	berekende factor	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
	gebruikte factor	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
som 2; trajectafh. correctieterm	verschil som 28-meting	0.050	-0.005	-0.003	-0.045	-0.001	0.001	-0.070	0.007	0.003	-0.017	0.208
	berekende factor	0.352	0.710	0.886	0.999	0.753	1.142	1.656	0.907	0.944	1.020	0.127
	gebruikte factor	0.750	0.711	0.886	0.999	0.753	1.142	1.500	0.907	0.944	1.020	0.750
som 3; trajectafh. correctieterm	verschil som 29-meting	-0.009	-0.016	-0.001	-0.044	0.001	0.009	-0.018	-0.004	-0.017	-0.084	-0.181
	berekende factor	0.415	0.729	0.912	1.000	0.756	1.137	2.022	0.877	0.930	0.990	0.161
	gebruikte factor	0.415	0.729	0.912	1.000	0.756	1.137	2.022	0.877	0.930	0.990	0.161
som 4; trajectafh. correctieterm	verschil som 30-meting	0.004	0.000	-0.001	-0.046	-0.001	0.008	-0.004	0.003	0.001	-0.043	0.071
	berekende factor	0.469	0.782	0.917	1.000	0.754	1.105	2.173	0.892	0.965	1.001	0.479
	gebruikte factor	0.469	0.782	0.917	1.000	0.754	1.105	2.173	0.892	0.965	1.001	0.479

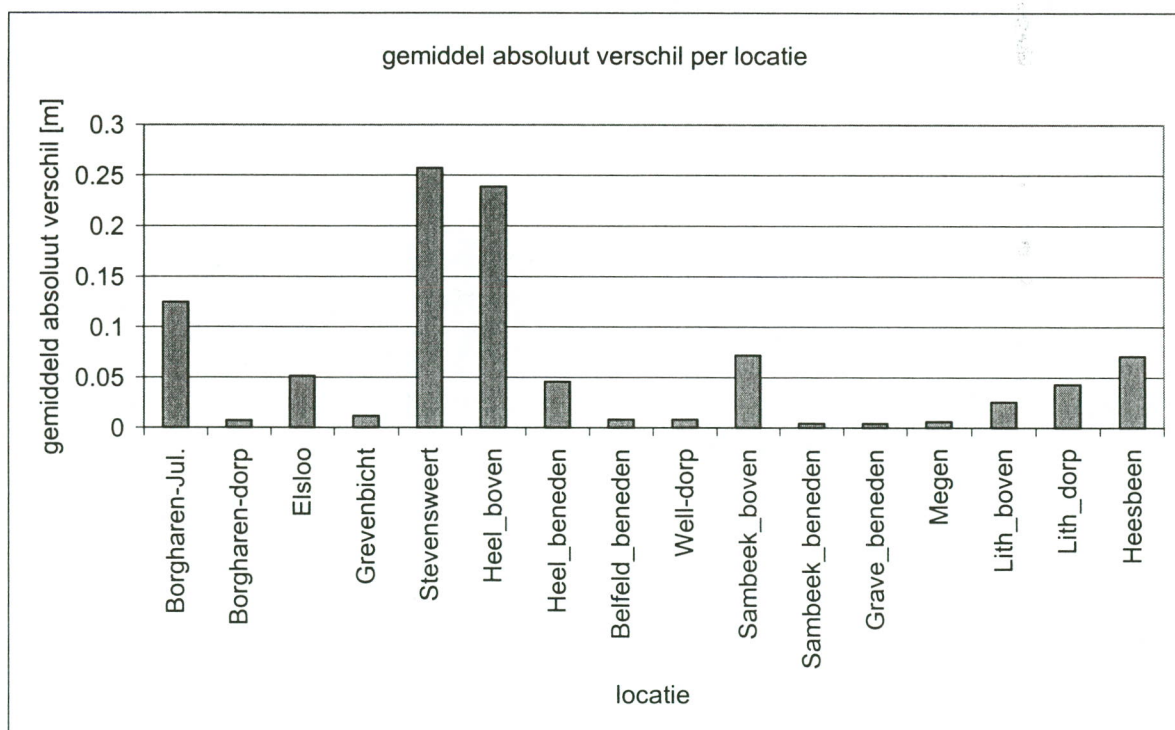
Tabel 4-2 Trajectafhankelijke inregeling

4.3 Nauwkeurigheid per station

In Figuur 4-1 is per meetlocatie het gemiddelde verschil te zien voor het tijdvenster van de handmatige inregeling. De beste automatische trajectonafhankelijke berekening (som 20) is ook weergegeven. De verschillen zijn met de handmatige trajectafhankelijke inregeling sterk afgenomen. In Figuur 4-2 is de gemiddelde absolute fout van som 30 te vinden. De MSW stations waarop is ingeregeld voldoen aan de gestelde eis van 0,1 m nauwkeurig.



Figuur 4-1 Gemiddeld verschil (berekend-gemeten) in het tijdvenster van de trajectafhankelijke inregeling.



Figuur 4-2 Gemiddeld absoluut verschil rond de top van som 30

5 Verificatieberekeningen

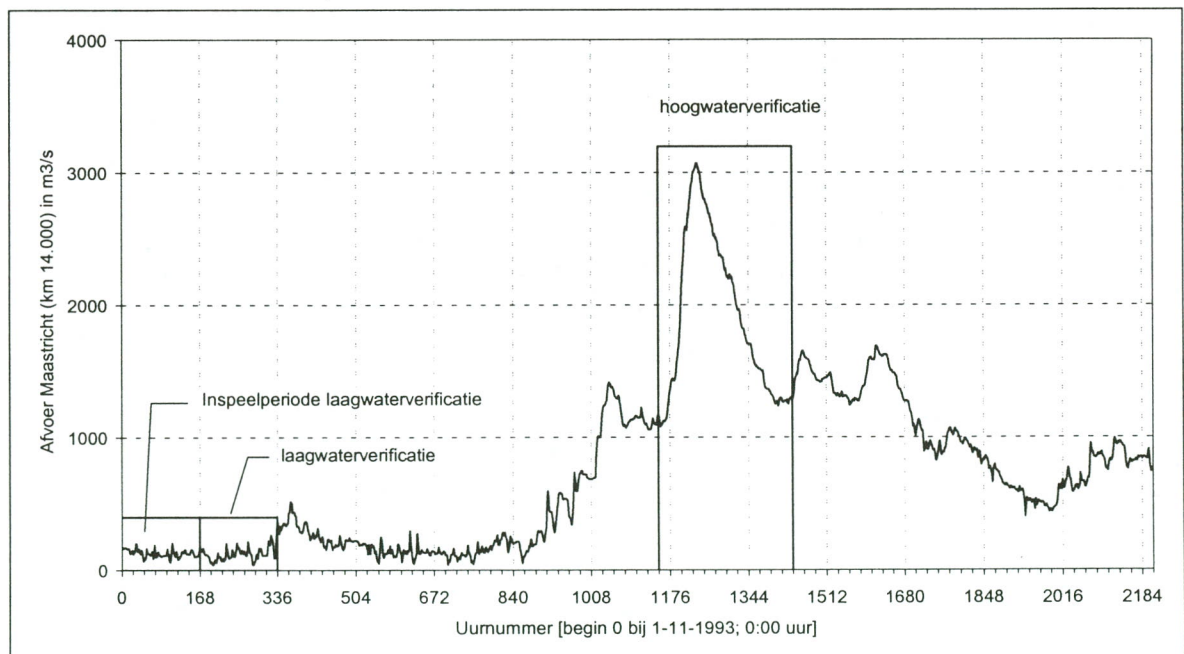
Op basis van drie berekeningen zijn de verkregen ruweheidsinstellingen geverifieerd. Voor deze verificatieberekeningen is gebruik gemaakt van de hoogwaters van 1993 en 1999 en van een laagwaterperiode van 1993. De verificatie berekeningen zijn gemaakt met de ruw.karak file van de beste globale inregeling van de Maas (som nummer 20). Dit is in overleg met de opdrachtgever zo bepaald. De trajectafhankelijke correctieterm doet hier dus niet mee.

5.1 Hoogwater 1993

5.1.1 Schematisatie 1993

Voor de schematisatie van de waterbeweging van 1993 is de schematisatie van de Maas aangepast aan de situatie die toen gold. Feitelijk is het de schematisatie van 1995 zonder noodbakkes. Na de automatische inregeling is de schematisatie van de overlaten verbeterd. Het overlatenbestand is daarom vervangen. Voor de verificatie is de ruw.karak genomen van de beste automatische inregeling (som20), dus geen trajectafhankelijke correctietermen.

De initiële toestand is overgenomen van de initiële situatie van 1995. Dit betrof nagenoeg ook een situatie van 1000 m³/s. Dit mag omdat de schematisatie van 1993 en 1995 voor afvoeren onder *bankfull* nauwelijks verschilt.



Figuur 5-1 Verloop van de afvoer bij Maastricht

5.1.2 Resultaten

Analoog aan de tijdvensters die gemaakt zijn voor de inregeling, zijn er ook tijdvensters gemaakt voor de verificatie van 1993. Bij Borgharen is de maximale waterstand gemeten op 22 december

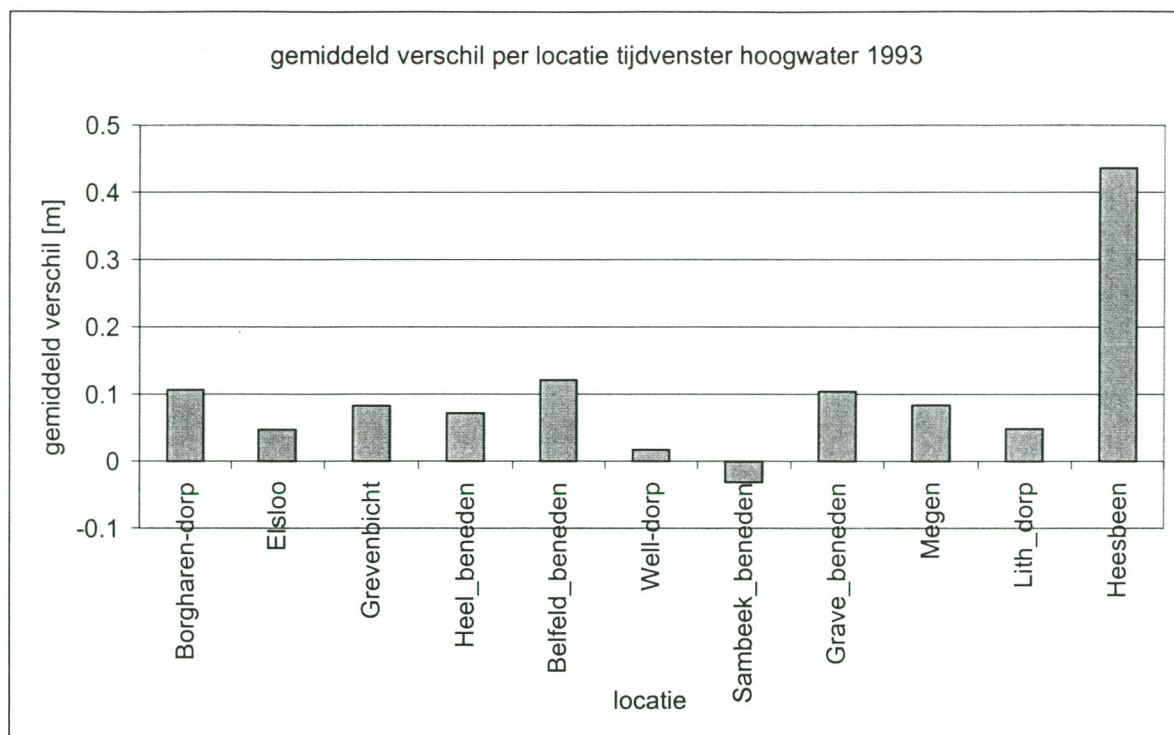
1993 om 9:00 uur en bij Lith dorp op 26 december 1993 om 1:00 uur. Met de afstand tussen de beide meetlocaties van bijna 181 km volgt een golfsnelheid van ruim 2 km/uur. Uitgaande van deze golfsnelheid is het uurnummer bepaald waarop de watermassa bij de andere meetstations is. De uurnummers zijn in Tabel 5-1 weergegeven. Deze uren komen overeen met de die van de eerder gemaakte inregeling met de oude ruwheidsformulering

Meetstation	Uurnummer begintijdstip tijdvenster, 33 uur voor het uurnummer van de volgende kolom	Uurnummer maximale waterstand, uitgaande van maximale waterstanden Borgharen en Lith dorp en constante golfsnelheid	Uurnummer eindtijdstip tijdvenster, 87 uur na het uurnummer van de vorige kolom
Borgharen	1200	1233	1320
Elsloo	1207	1240	1327
Grevenbicht	1215	1248	1335
Stevensweert	1224	1257	1344
Heel beneden	1235	1268	1355
Belfeld beneden	1243	1276	1363
Well haven	1252	1285	1372
Sambeek beneden	1260	1293	1380
Grave beneden	1274	1307	1394
Megen	1282	1315	1402
Lith dorp	1288	1321	1408
Heesbeen	1303	1336	1423

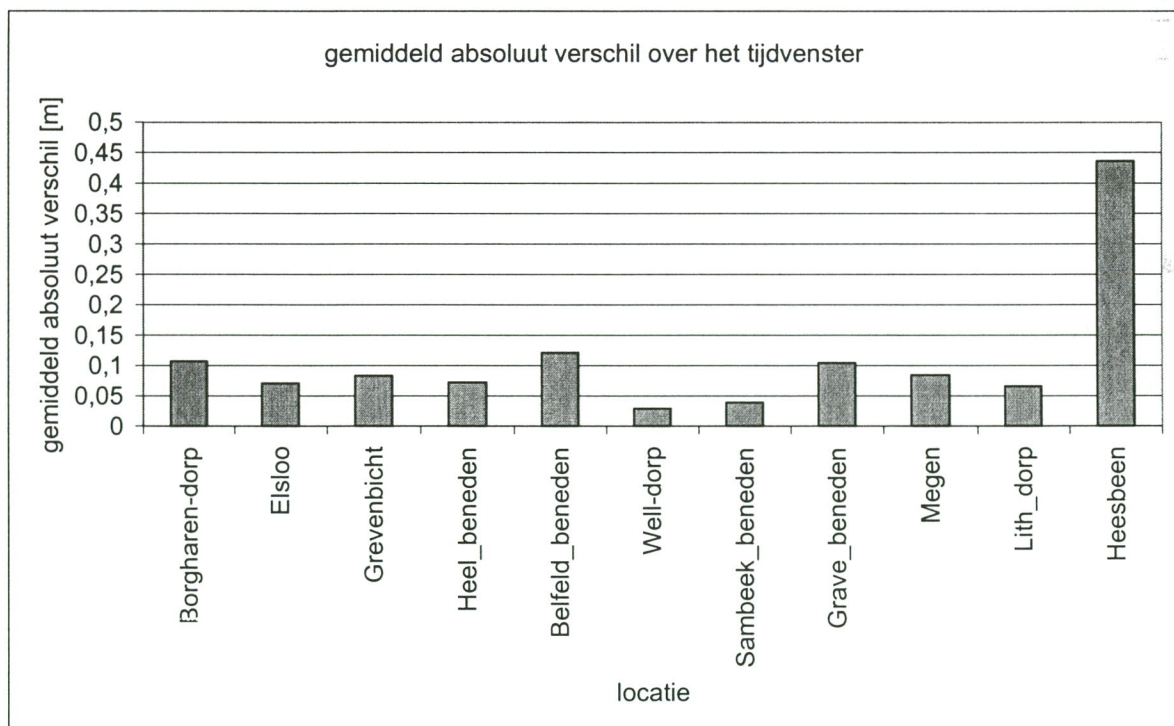
Tabel 5-1 Uurnummers ten behoeve van de tijdvensters van de objectfunctie

In Figuur 5-2 en Figuur 5-3 staan de resultaten over de tijdvenster van het hoogwater van 1993. Hieruit blijkt dat het model het goed doet voor de locaties waarvoor is ingeregeld, met uitzondering van Heesbeen. Dit station staat ook in Figuur 5-18 weergegeven. Er lijkt hier in werkelijkheid een berging te worden aangesproken die de top van de waterstand afsnuit. Deze berging lijkt niet in het model te zitten.

In Figuur 5-4 tot Figuur 5-18 zijn de berekende en de gemeten waterstand uitgezet tegen de tijd. De verschillen tussen de berekende en de gemeten waterstand zijn weergegeven in Figuur 5-19 tot en met Figuur 5-22.

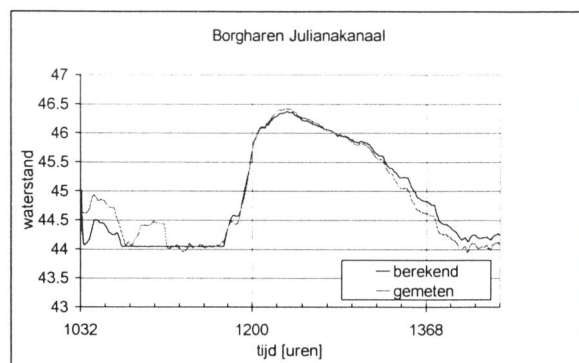


Figuur 5-2 Gemiddeld verschil per locatie tijdvenster hoogwater 1993

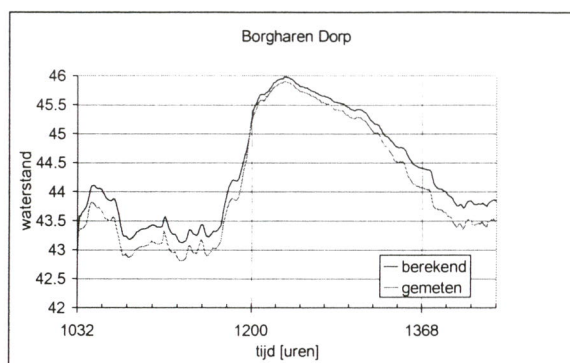


Figuur 5-3 Gemiddeld absoluut verschil over het tijdvenster hoogwater 1993

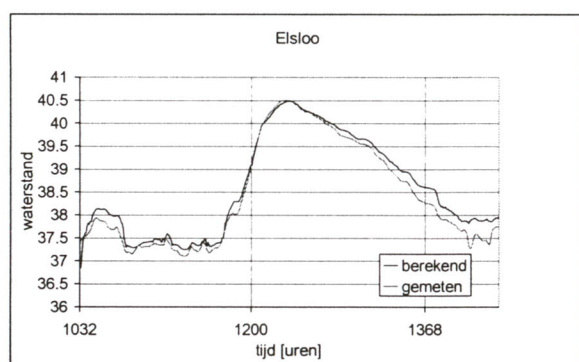
5.1.3 Nauwkeurigheid per station



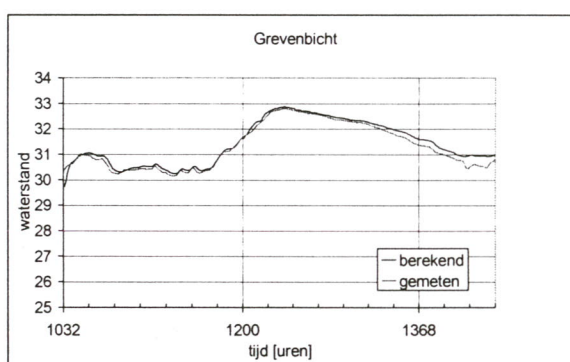
Figuur 5-4 Waterstand Borgharen Julianakanaal (hoogwaterperiode 1993)



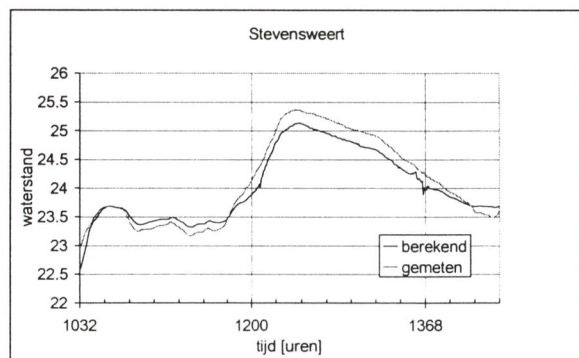
Figuur 5-5 Waterstand Borgharen dorp (hoogwaterperiode 1993)



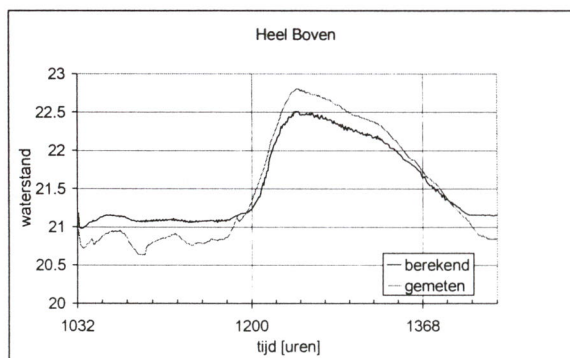
Figuur 5-6 Waterstand Elsloo (hoogwaterperiode 1993)



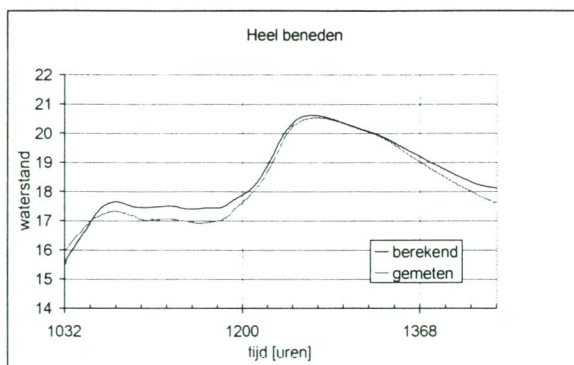
Figuur 5-7 Waterstand Grevenbicht (hoogwaterperiode 1993)



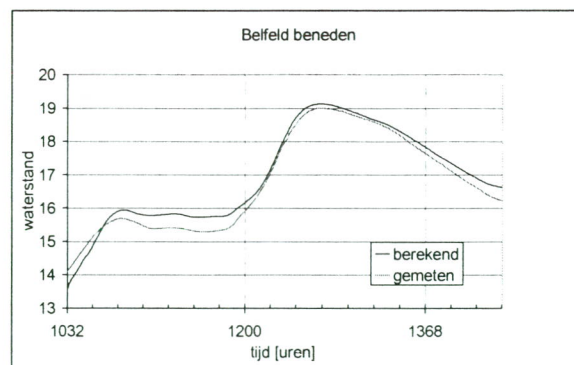
Figuur 5-8 Waterstand Stevensweert (hoogwaterperiode 1993)



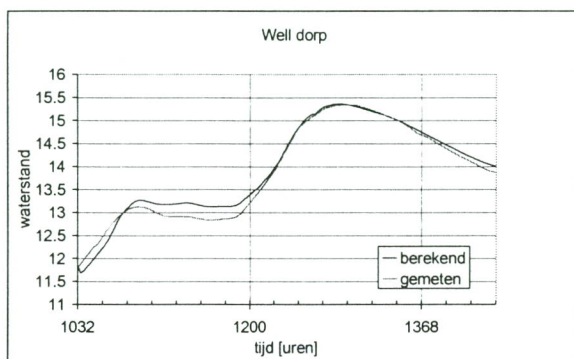
Figuur 5-9 Waterstand Heel boven (hoogwaterperiode 1993)



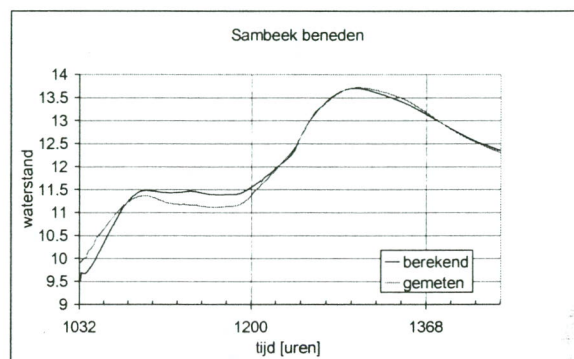
Figuur 5-10 Waterstand Heel beneden
(hoogwaterperiode 1993)



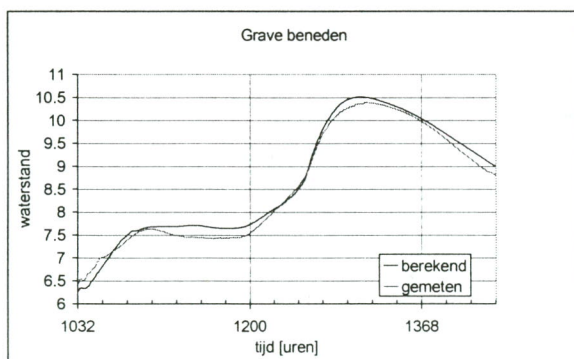
Figuur 5-11 Waterstand Belfeld
(hoogwaterperiode 1993)



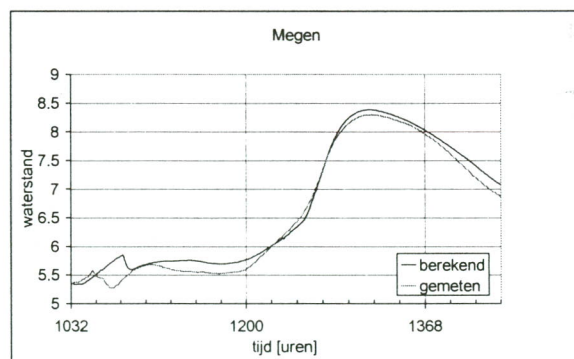
Figuur 5-12 Waterstand Well dorp
(hoogwaterperiode 1993)



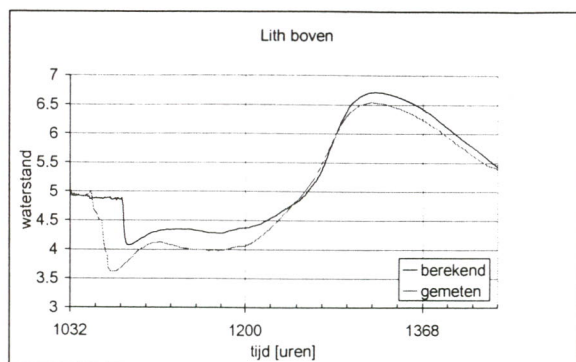
Figuur 5-13 Waterstand Sambeek beneden
(hoogwaterperiode 1993)



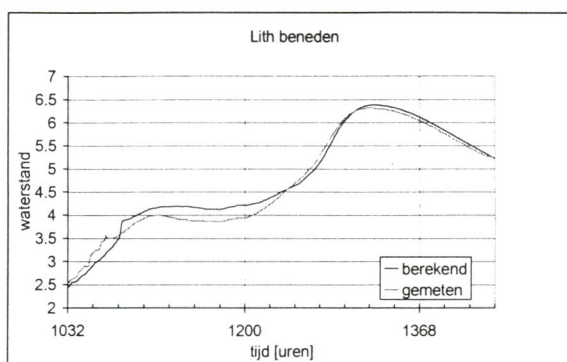
Figuur 5-14 Waterstand Grave beneden
(hoogwaterperiode 1993)



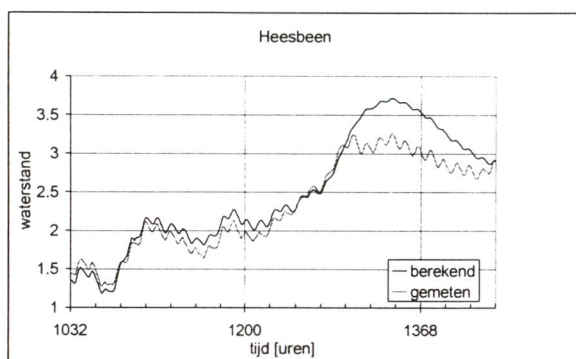
Figuur 5-15 Waterstand Megen
(hoogwaterperiode 1993)



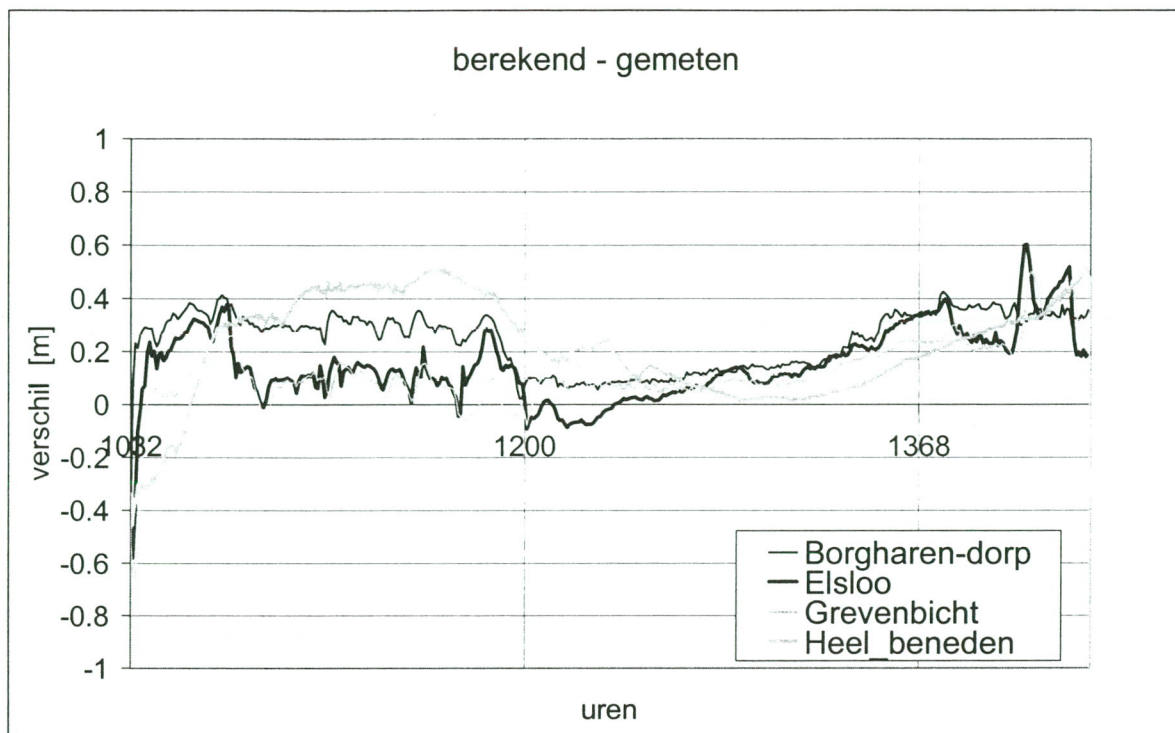
*Figuur 5-16 Waterstand Lith boven
(hoogwaterperiode 1993)*



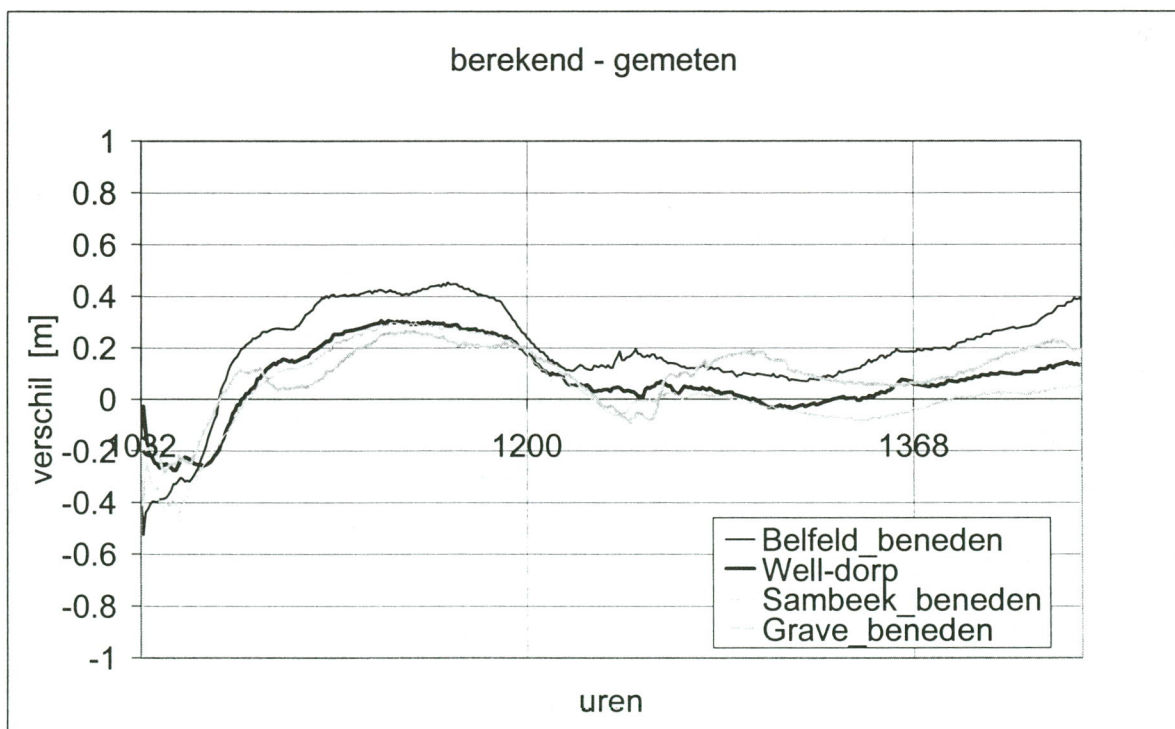
*Figuur 5-17 Waterstand Lith dorp
(hoogwaterperiode 1993)*



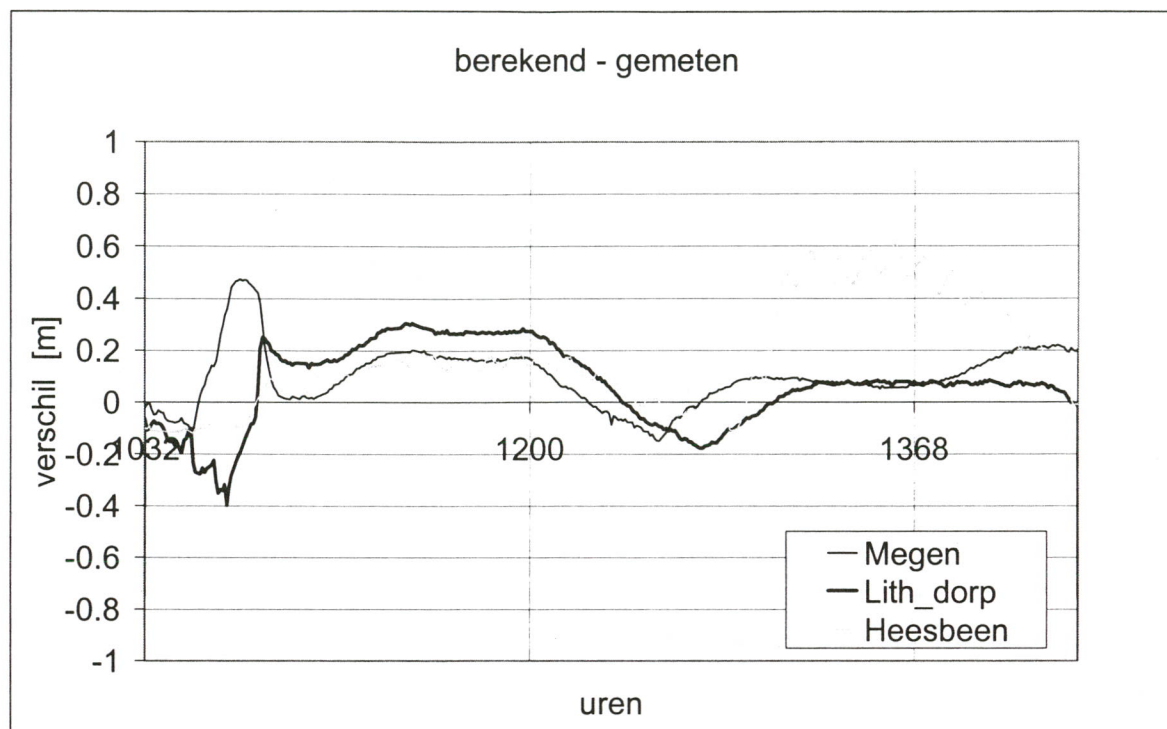
*Figuur 5-18 Waterstand Heesbeen
(hoogwaterperiode 1993)*



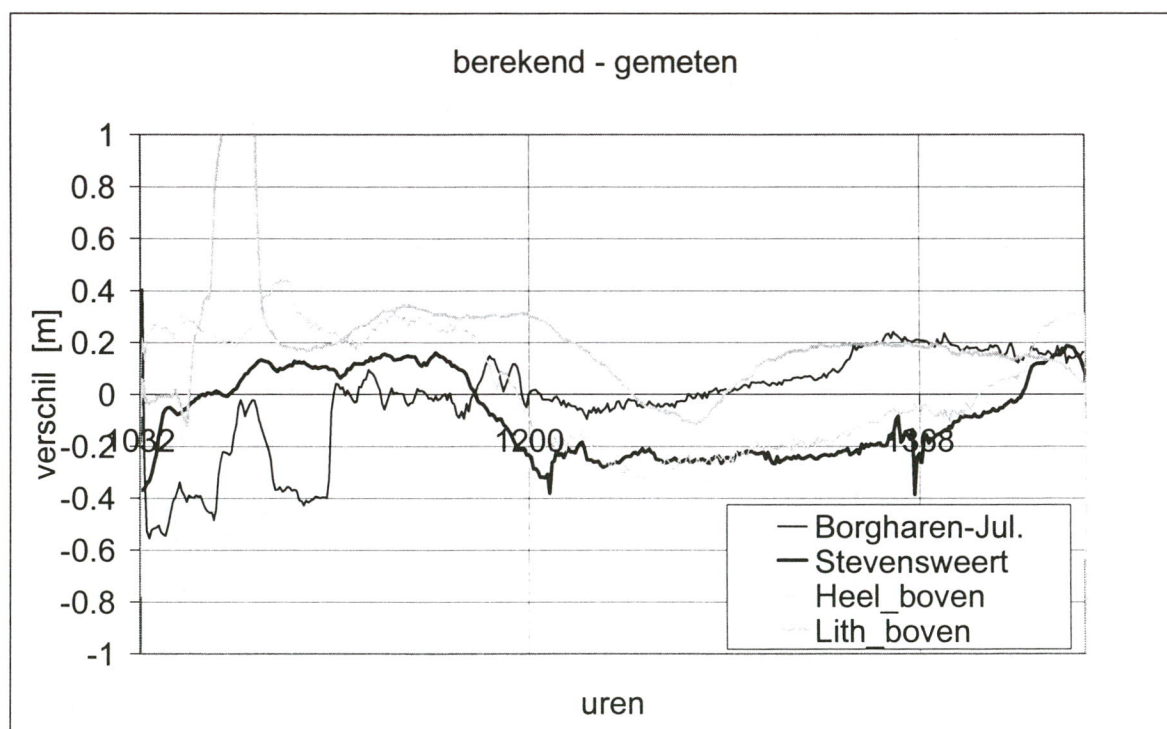
Figuur 5-19 Verschil berekend - gemeten hoogwater 1993



Figuur 5-20 Verschil berekend - gemeten hoogwater 1993



Figuur 5-21 Verschil berekend - gemeten hoogwater 1993



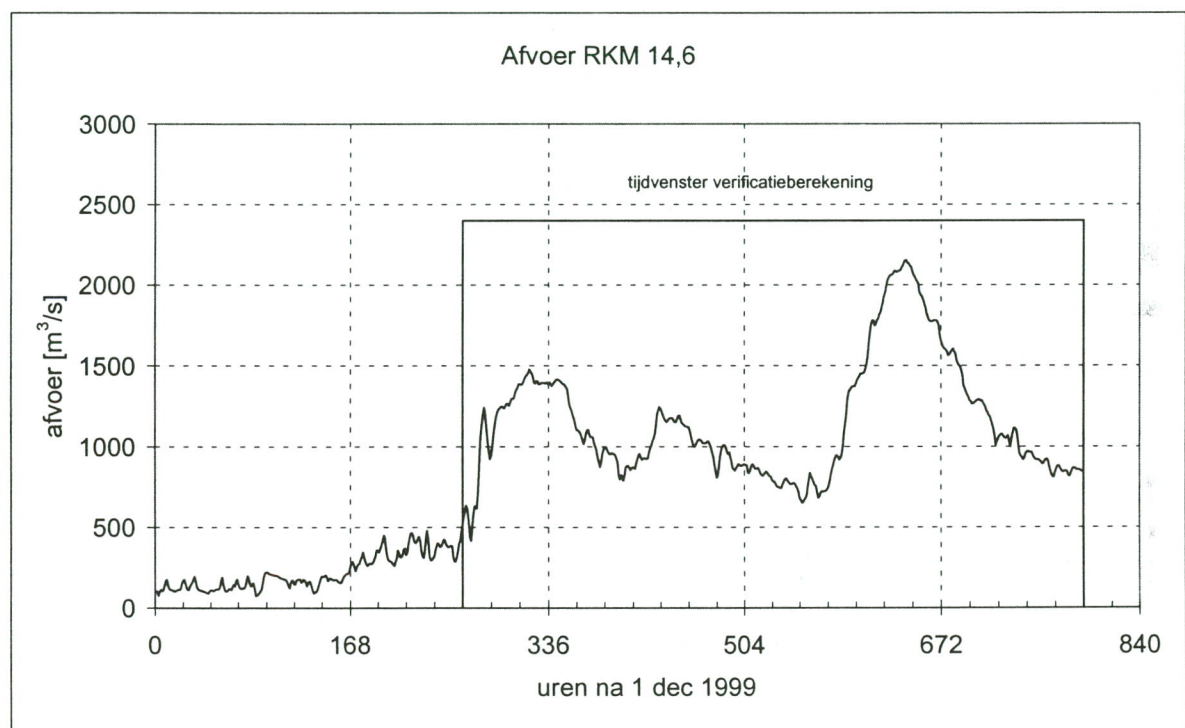
Figuur 5-22 Verschil berekend - gemeten hoogwater 1993

5.2 Hoogwater 1999

5.2.1 Schematisatie 1999

De modelschematisatie van 1999 is toegeleverd door Rijkswaterstaat/RIZA Arnhem. Dit is een volledig nieuwe schematisatie van de Maas. Van deze schematisatie zijn de ruwheidsbestanden gewijzigd. Hierin zijn de ruwheidscodes van de 400-428 reeks verhoogd met 203. Het komt dus neer op de nieuwe schematisatie, met voor het zomerbed de ruwheid die als beste uit de automatische inregeling kwam.

Voor de verificatie is de ruw.karak genomen van de beste automatisch inregeling (som 20). De trajectafhankelijke correctieterm is hier niet gebruikt. De berekening is gestart met een initiële waterstand die hoort bij een afvoer van 500 m³/s.



Figuur 5-23 Tijdvenster verificatieberekening 1999

5.2.2 Resultaten

Net zoals bij de inregeling is gebruik gemaakt van een tijdvenster waarin de berekening wordt beoordeeld. Het tijdvenster dat voor 1999 wordt gebruikt, is gebaseerd op de meetgegevens. In Figuur 5-23 is de afvoer tegen de tijd uitgezet, met daarbij het tijdvenster waarover de verificatieberekening is gemaakt. De tijdvensters zijn weergegeven in Tabel 5-2.

Meetstation	Uurnummer begintijdstip tijdvenster, 33 uur voor het uurnummer van de volgende kolom	Uurnummer gemeten maximale waterstand	Uurnummer eindtijdstip venster, 121 na het uurnummer van het starttijdstip
Borgharen-Jul.	607	641	727
Borgharen-dorp	608	642	728
Elsloo	610	644	730
Grevenbicht	615	649	735
Stevensweert	620	654	740
Heel_boven	626	660	746
Heel_beneden	634	668	754
Belfeld_beneden	637	671	757
Well-dorp	648	682	768
Sambeek_boven*	660	694	747
Sambeek_beneden	661	695	781
Grave_beneden	661	695	781
Megen	672	706	792
Lith_boven*	681	715	747
Lith_dorp	683	717	803
Heesbeen	700	734	820

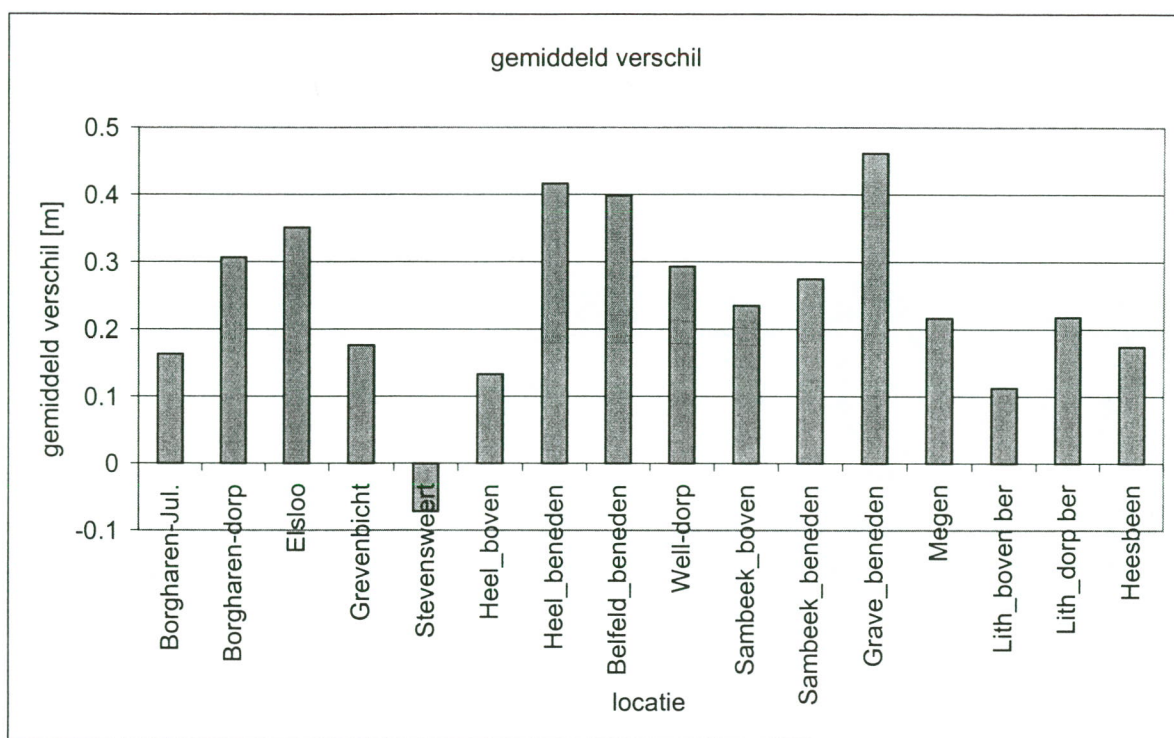
Tabel 5-2 Uurnummers tijdvenster hoogwater 1999

De vensters met een * zijn korter in verband met ontbrekende gegevens.

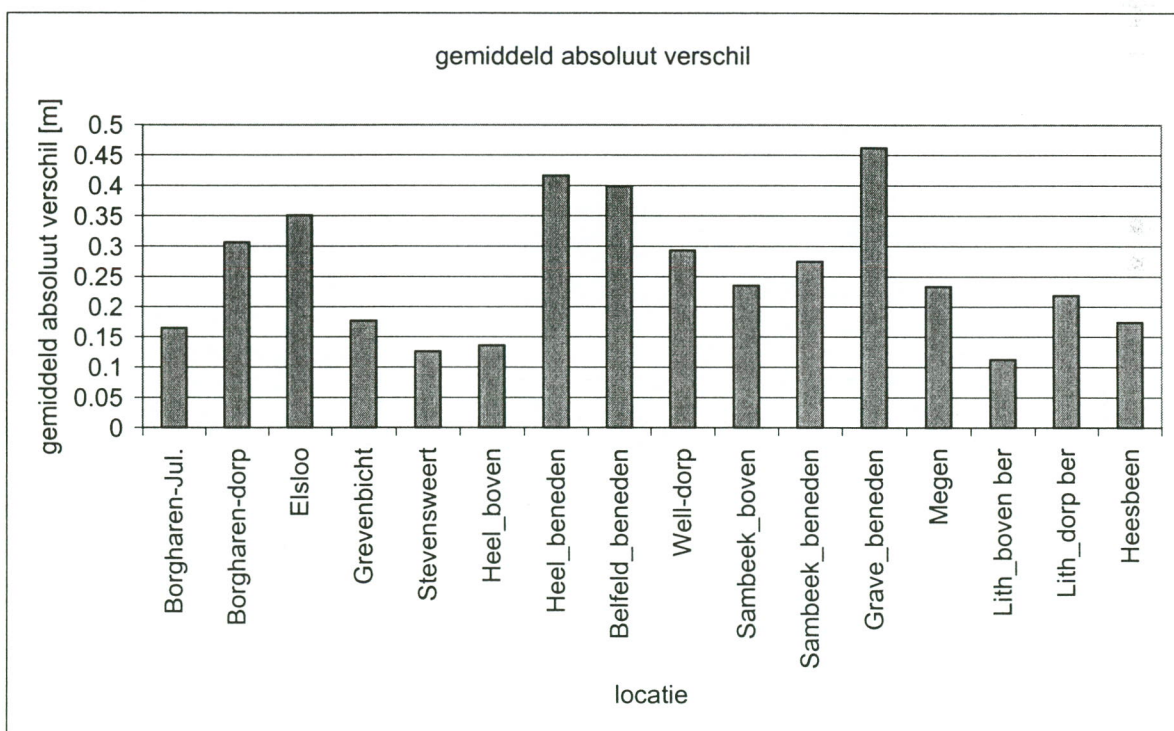
In Figuur 5-24 is het gemiddelde verschil tussen de berekende en de gemeten waarde te zien over het tijdvenster. Uit deze grafiek kan worden geconcludeerd dat de berekende waterstand structureel circa 0,25 m te hoog zit. In Figuur 5-25 is het gemiddelde van de absolute verschillen over het tijdvenster weergegeven. Dit figuur is nagenoeg identiek aan Figuur 5-24 omdat de afwijking structureel te hoog is.

In Figuur 5-26 tot en met Figuur 5-41 zijn de berekende en de gemeten waterstand tegen de tijd uitgezet. Wat opvalt aan Figuur 5-39 is de stuwsturing van Lith. De stuwstand wordt in het model op een ander tijdstip aangepast dan in werkelijkheid is op getreden. Hierdoor wordt de waterbeweging rondom de stuw beïnvloed. Het zou beter zijn om de werkelijke stuwsturing in het model toe te passen dan een stuwsturing op waterstand in het model.

In Figuur 5-42 tot en met Figuur 5-45 zijn de verschillen uitgezet tussen de berekende en de gemeten waterstand.

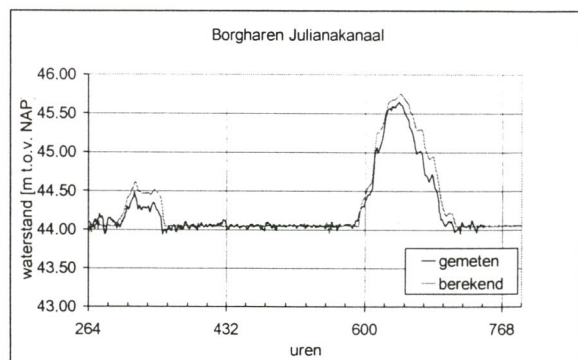


Figuur 5-24 Gemiddeld verschil per locatie verificatie 1999

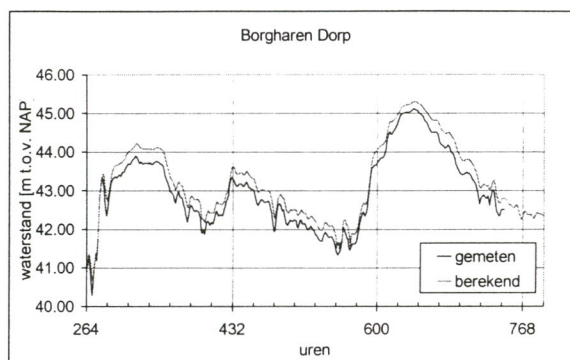


Figuur 5-25 Gemiddeld absoluut verschil per locatie verificatie 1999

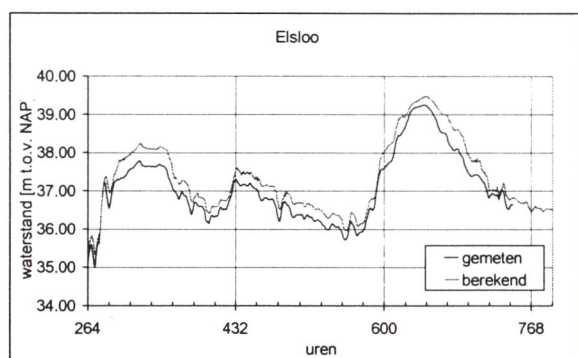
5.2.3 Nauwkeurigheid per station



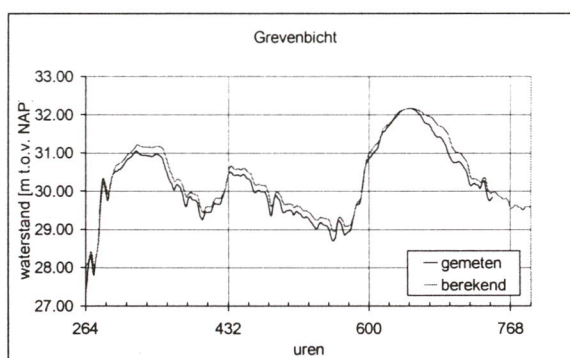
Figuur 5-26 Waterstand Borgharen Julianakanaal (verificatie 1999)



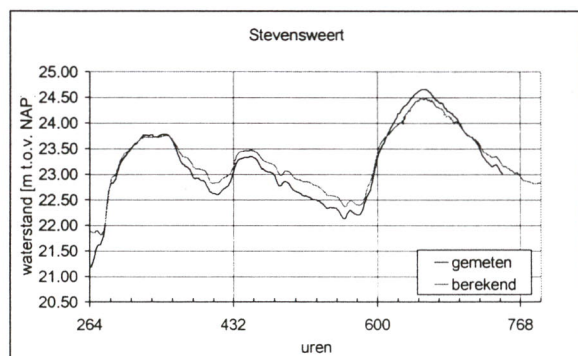
Figuur 5-27 Waterstand Borgharen dorp (verificatie 1999)



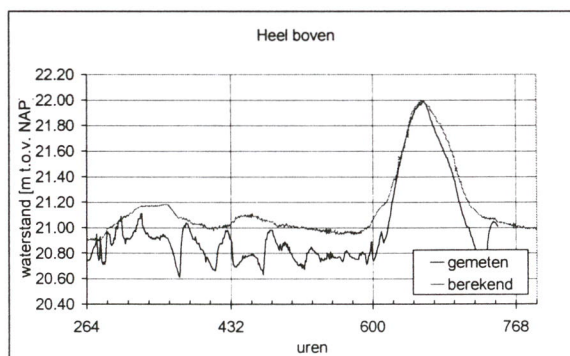
Figuur 5-28 Waterstand Elsloo (verificatie 1999)



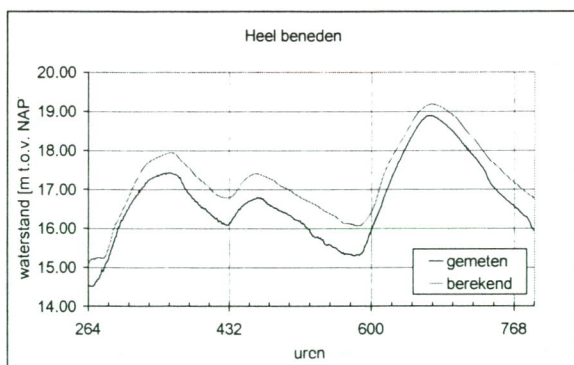
Figuur 5-29 Waterstand Grevenbicht (verificatie 1999)



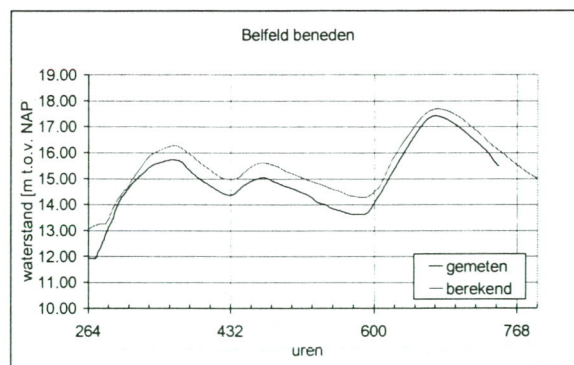
Figuur 5-30 Waterstand Stevensweert (verificatie 1999)



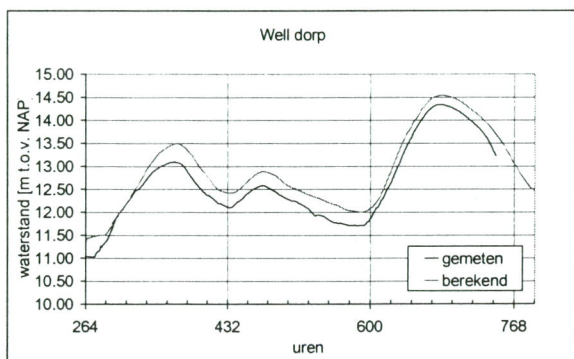
Figuur 5-31 Waterstand Heel boven (verificatie 1999)



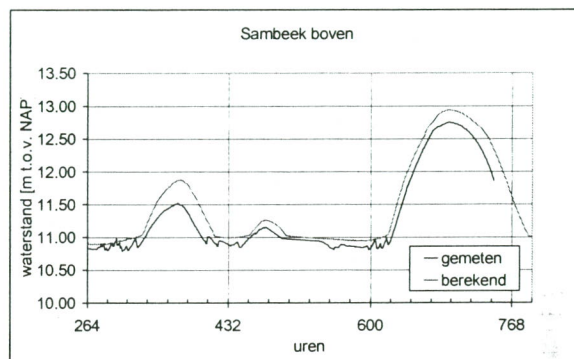
Figuur 5-32 Waterstand Heel beneden
(verificatie 1999)



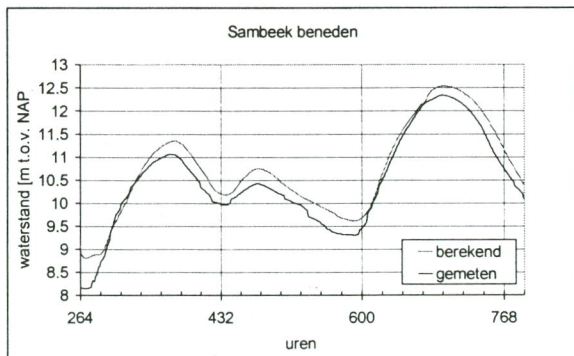
Figuur 5-33 Waterstand Belfeld beneden
(verificatie 1999)



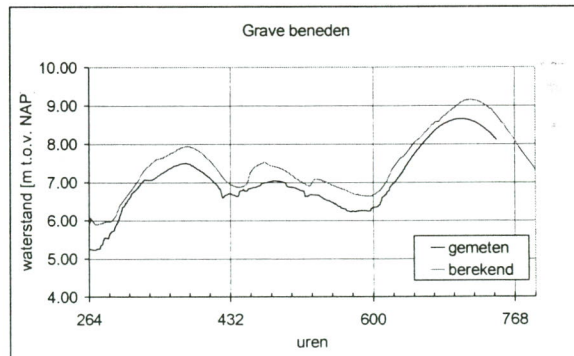
Figuur 5-34 Waterstand Well dorp (verificatie 1999)



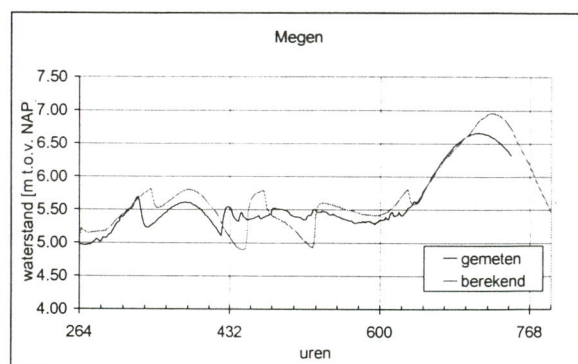
Figuur 5-35 Waterstand Sambeek boven
(verificatie 1999)



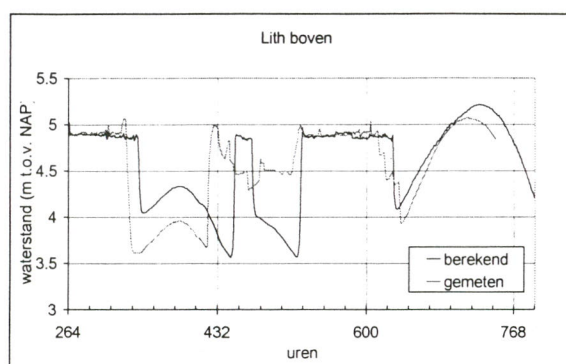
Figuur 5-36 Waterstand Sambeek beneden
(verificatie 1999)



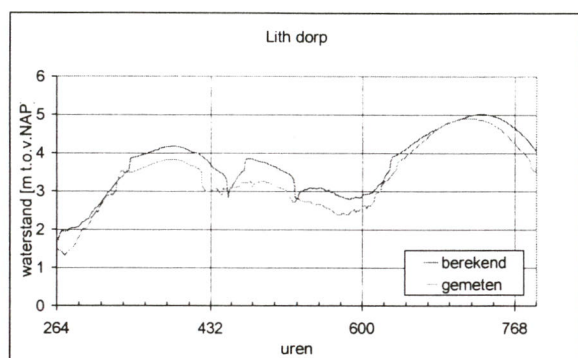
Figuur 5-37 Waterstand Grave beneden
(verificatie 1999)



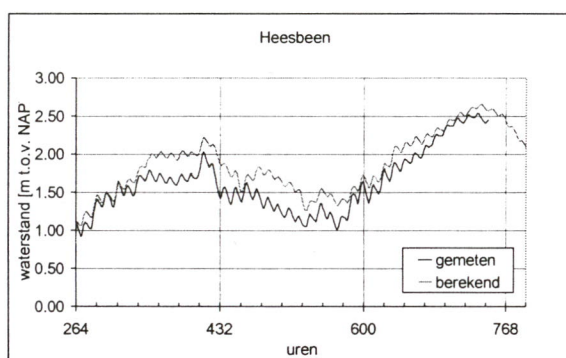
Figuur 5-38 Waterstand Megen (verificatie 1999)



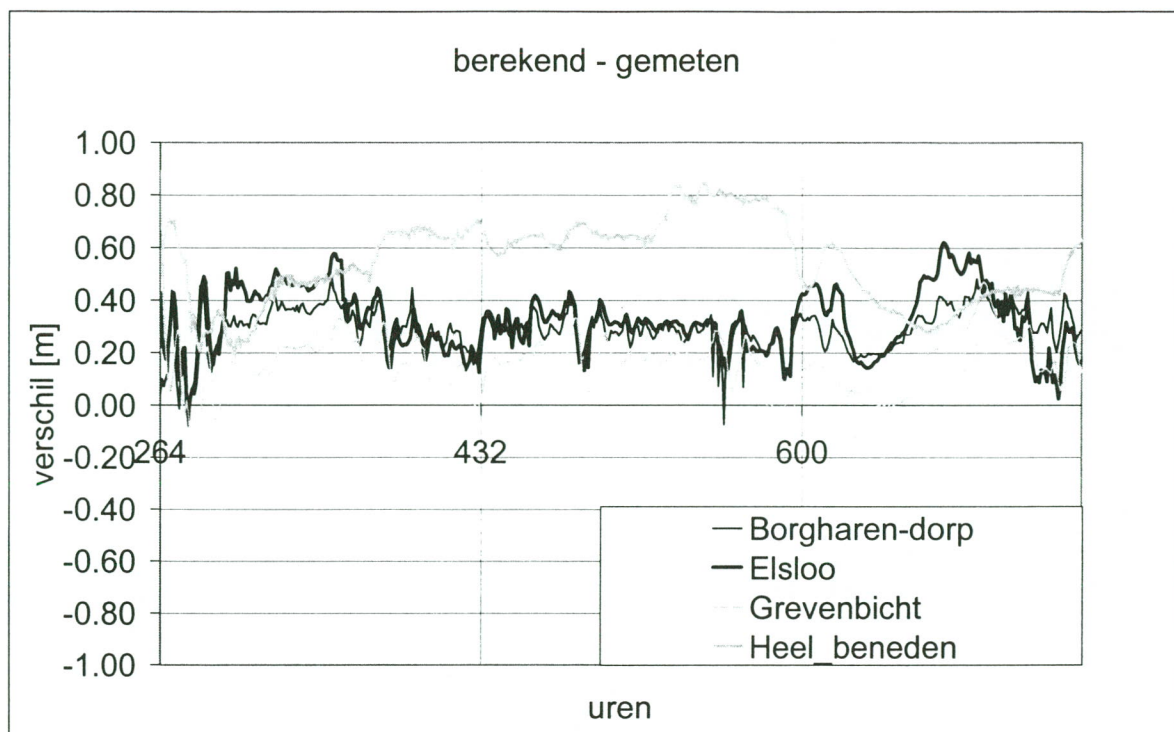
Figuur 5-39 Waterstand Lith boven (verificatie 1999)



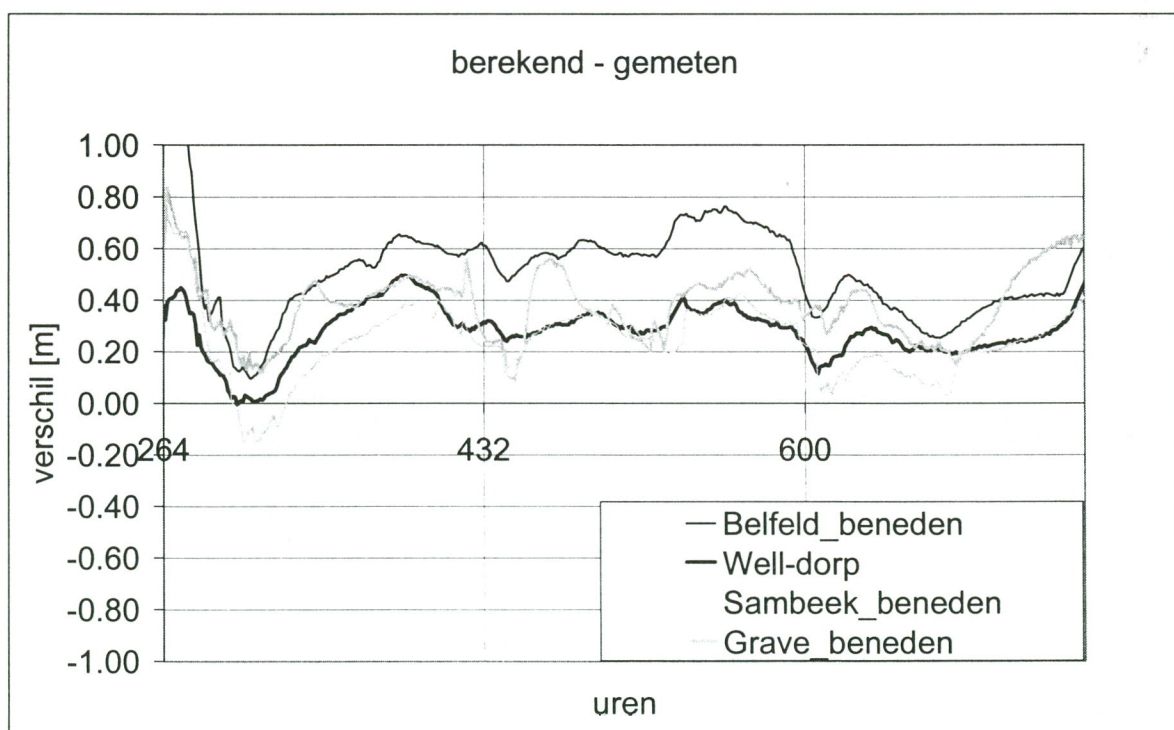
Figuur 5-40 Waterstand Lith dorp (verificatie 1999)



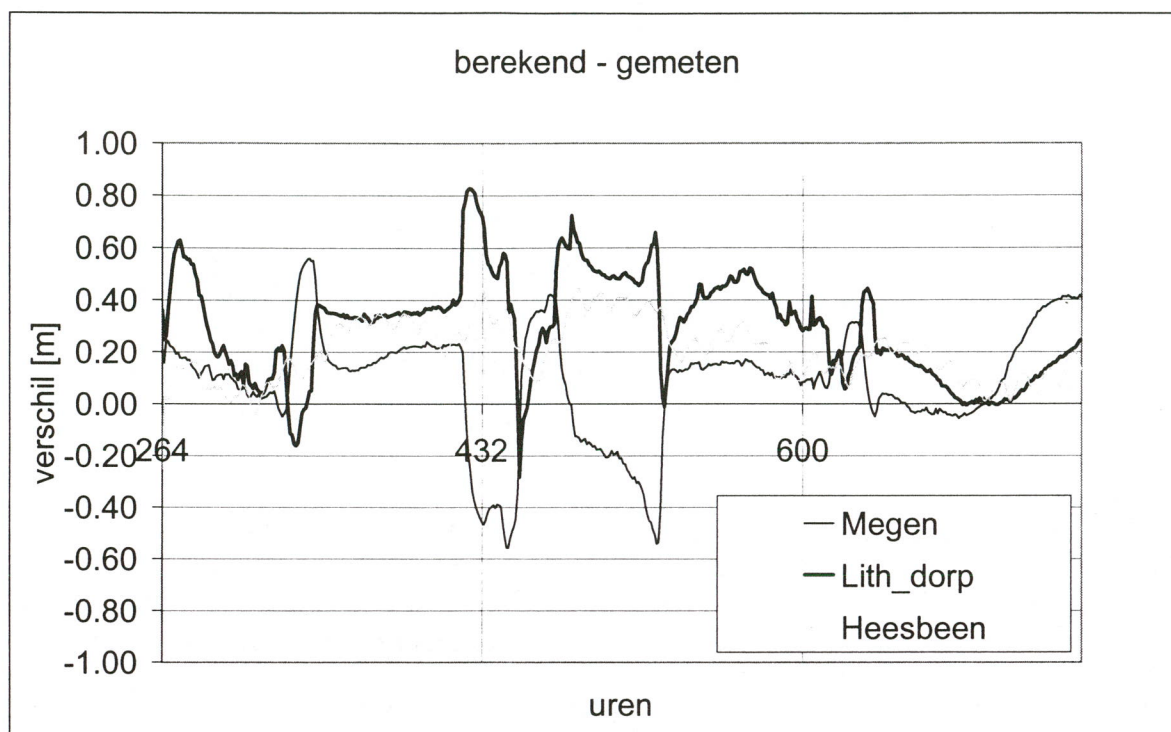
Figuur 5-41 Waterstand Heesbeen (verificatie 1999)



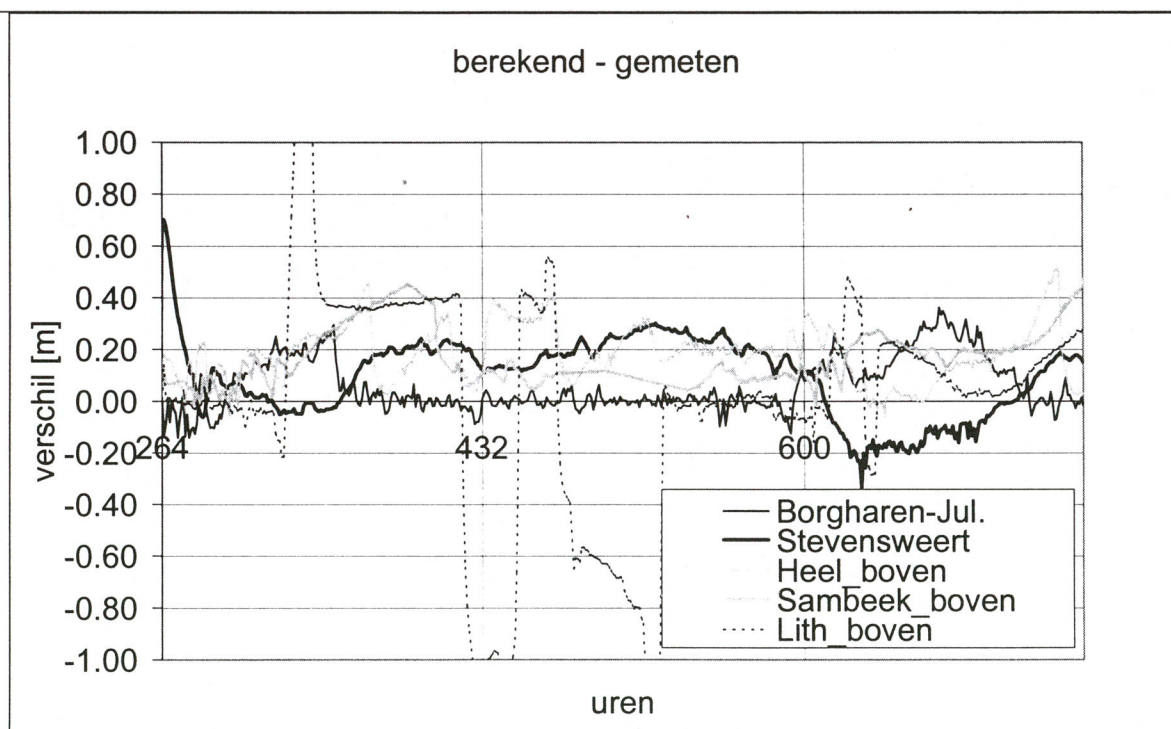
Figuur 5-42 Verschil berekend – gemeten verificatie 1999



Figuur 5-43 Verschil berekend – gemeten verificatie 1999



Figuur 5-44 Verschil berekend – gemeten verificatie 1999



Figuur 5-45 Verschil berekend – gemeten verificatie 1999

5.3 Laagwaterperiode november 1993

5.3.1 Schematisatie 1993

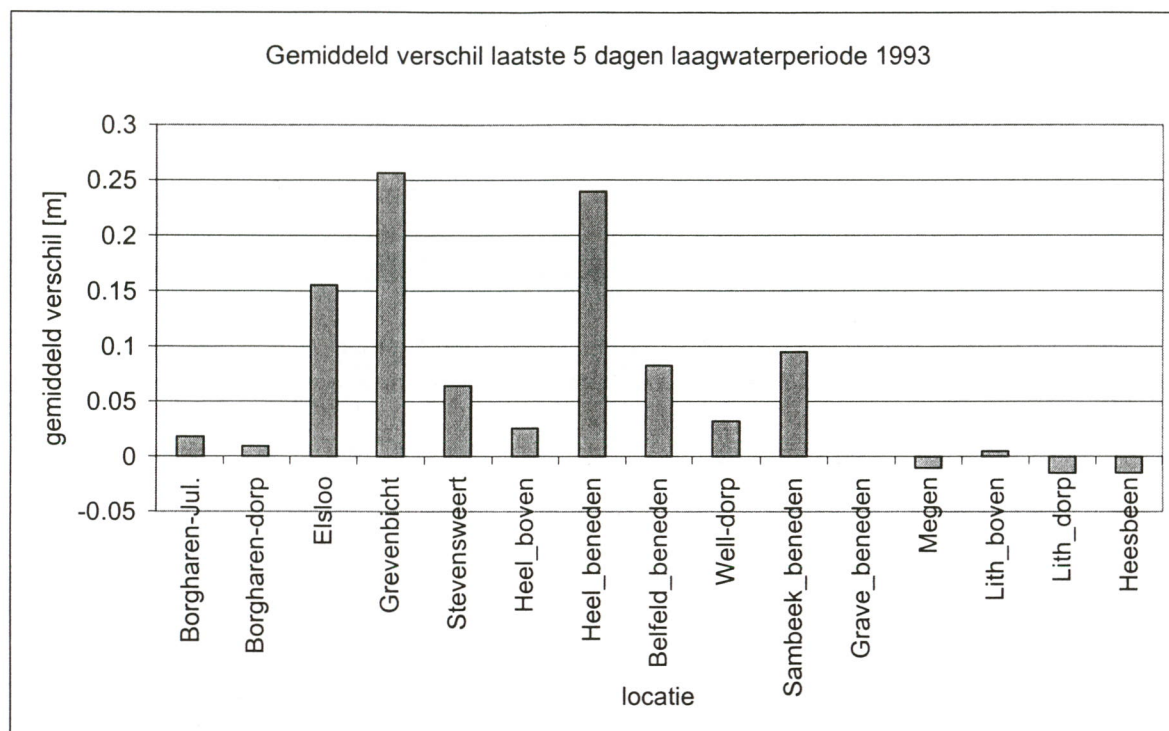
Voor de schematisatie van de waterbeweging van 1993 is de schematisatie van de Maas aangepast aan de situatie die toen gold. Feitelijk is het de schematisatie van 1995 zonder noedkades. Na de automatische inregeling is de schematisatie van de overlaten verbeterd.

De initiële toestand is genomen uit velden met een gelijke waterstand. Vervolgens zijn de eerste twee weken van november 1993 doorgerekend. De eerste week van november 1993 wordt beschouwd als de inspeelperiode. Zie hiervoor ook Figuur 5-1

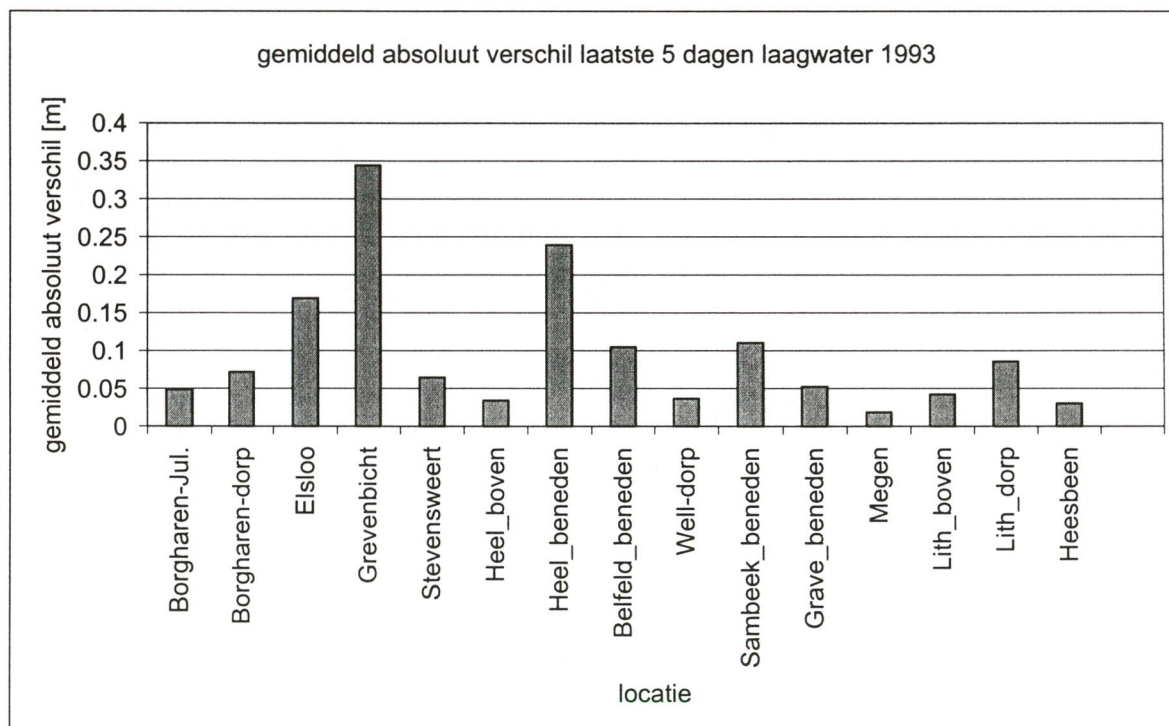
5.3.2 Resultaten

In eerste instantie is de berekening vastgelopen. Een tweede berekening is gemaakt die juist is gestopt voor het moment van de instabiliteit. Vervolgens is de berekening *gerestart* waarbij de resultaten van de berekening met een kleiner interval zijn weggeschreven. Deze berekening bleef stabiel, terwijl aan de instellingen van het rekenhart en aan de schematisatie niets is gewijzigd. Uit een analyse van deze berekeningsresultaten bleek dat er op sommige locaties op een tijdstip piekwaardes van ruim zeven meter ontstonden boven de omliggende waterstanden. Daar dit voor deze omstandigheden voor de Maas fysisch niet mogelijk is, lijkt het rekenhart van WAQUA hier tekort te schieten.

De afvoer van de laagwaterperiode is betrekkelijk constant. Het is hier niet mogelijk om een venster rond de maximale waterstand te nemen, omdat er geen afvoerpiek is. Tevens is het niet mogelijk om de looptijden van de inregeling over te nemen, omdat de afvoergolf zich met een andere snelheid voortplant bij deze lage afvoeren. Daarom is voor alle stations de laatste vijf dagen van de verificatieperiode genomen.

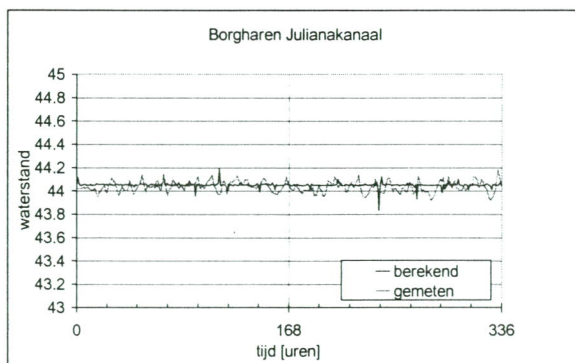


Figuur 5-46 Gemiddeld verschil tussen berekende en gemeten waterstand over de laatste vijf dagen van de laagwaterperiode 1993

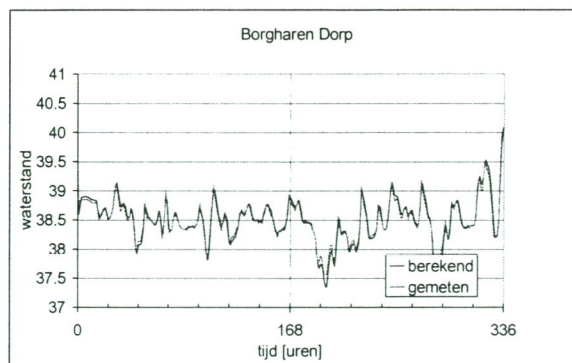


Figuur 5-47 Gemiddeld absoluut verschil tussen de berekende en gemeten waterstanden over de laatste vijf dagen van de laagwaterperiode 1993

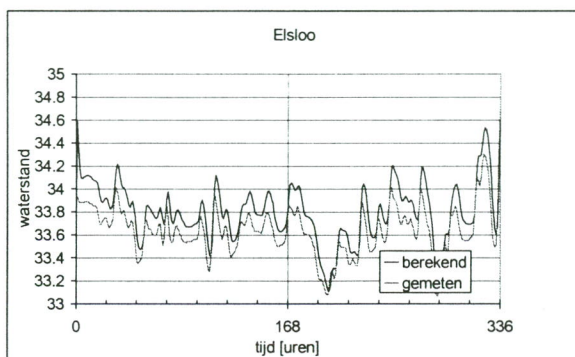
5.3.3 Nauwkeurigheid per station



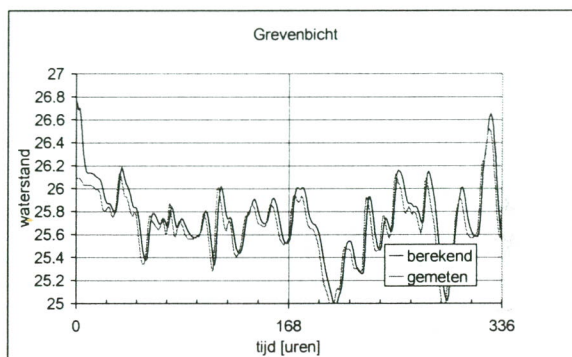
Figuur 5-48 Waterstand Borgharen Julianakanaal (laagwaterperiode 1993)



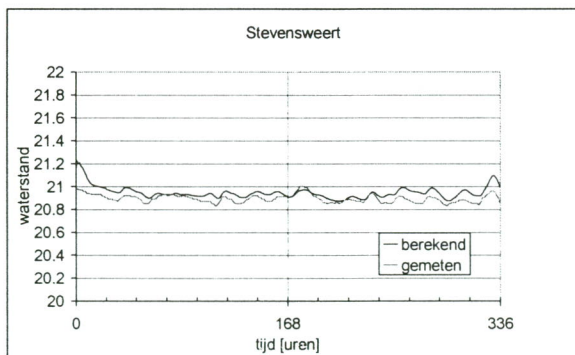
Figuur 5-49 Waterstand Borgharen dorp (laagwaterperiode 1993)



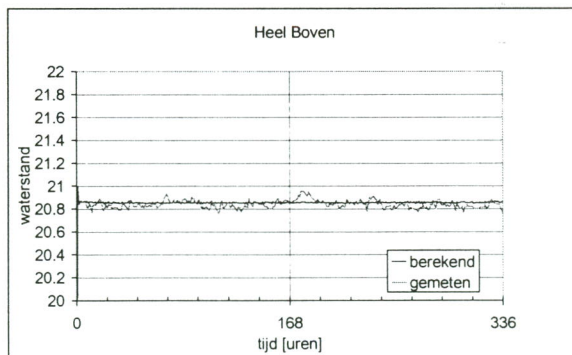
Figuur 5-50 Waterstand Elsloo Julianakanaal (laagwaterperiode 1993)



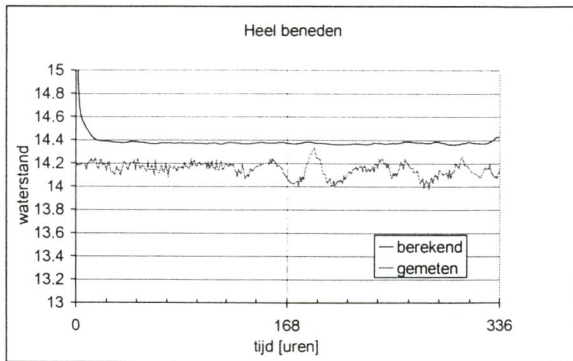
Figuur 5-51 Waterstand Grevenbicht (laagwaterperiode 1993)



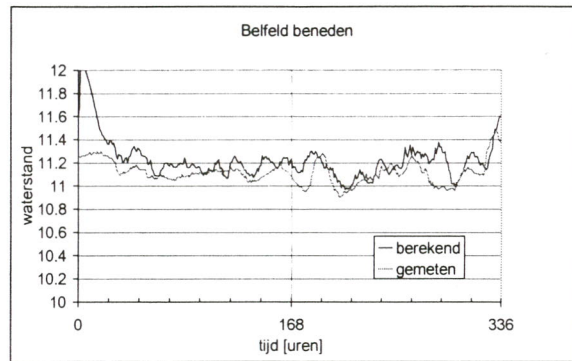
Figuur 5-52 Waterstand Stevensweert (laagwaterperiode 1993)



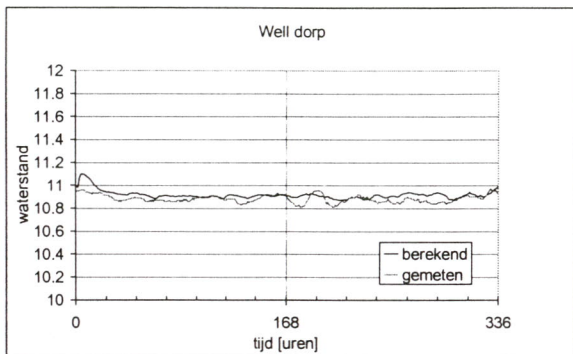
Figuur 5-53 Waterstand Heel boven (laagwaterperiode 1993)



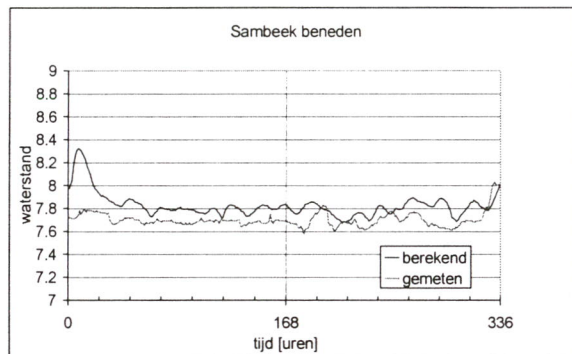
Figuur 5-54 Waterstand Heel beneden
(laagwaterperiode 1993)



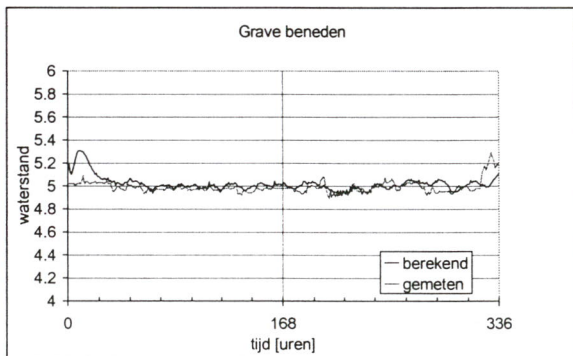
Figuur 5-55 Waterstand Belfeld beneden
(laagwaterperiode 1993)



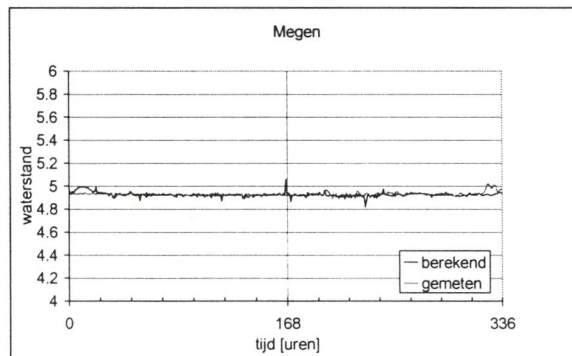
Figuur 5-56 Waterstand Well dorp
(laagwaterperiode 1993)



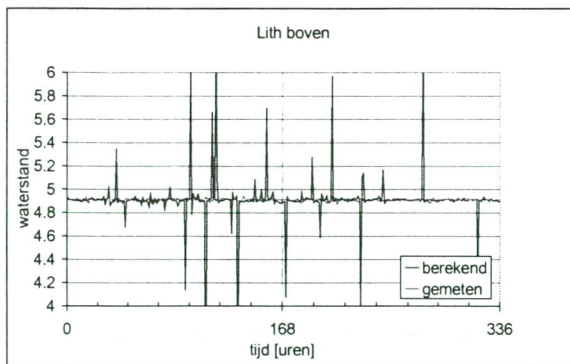
Figuur 5-57 Waterstand Sambeek beneden
(laagwaterperiode 1993)



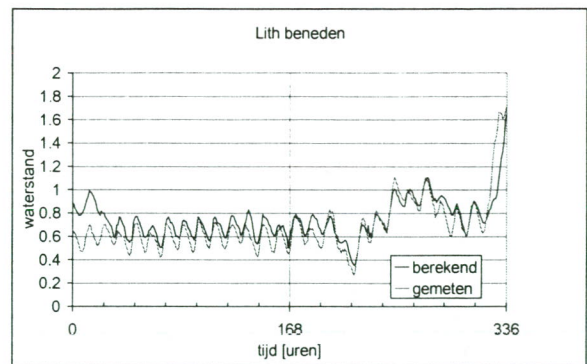
Figuur 5-58 Waterstand Grave beneden
(laagwaterperiode 1993)



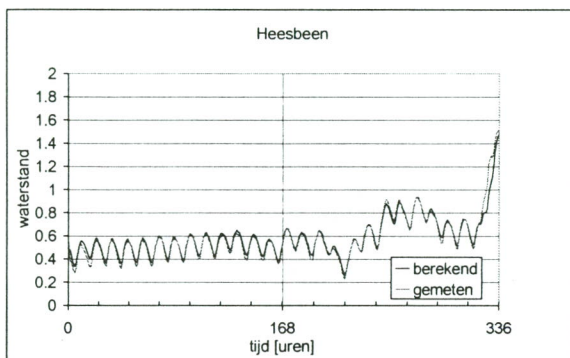
Figuur 5-59 Waterstand Megen
(laagwaterperiode 1993)



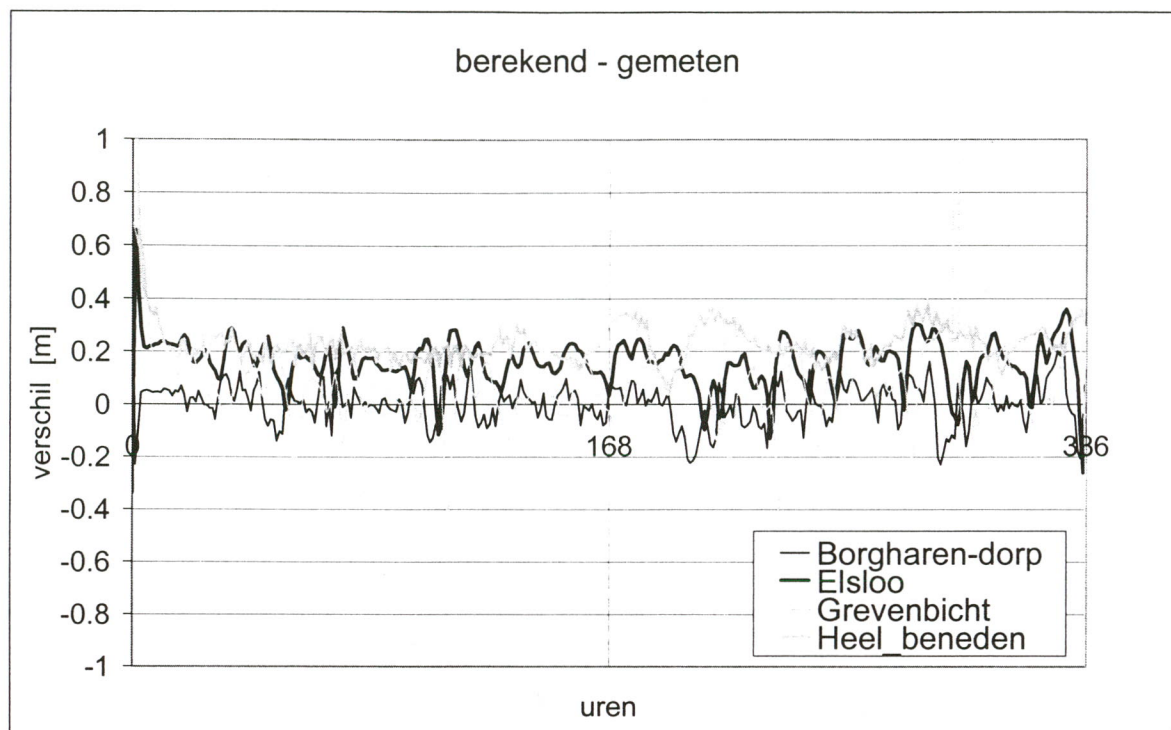
Figuur 5-60 Waterstand Lith boven
(laagwaterperiode 1993)



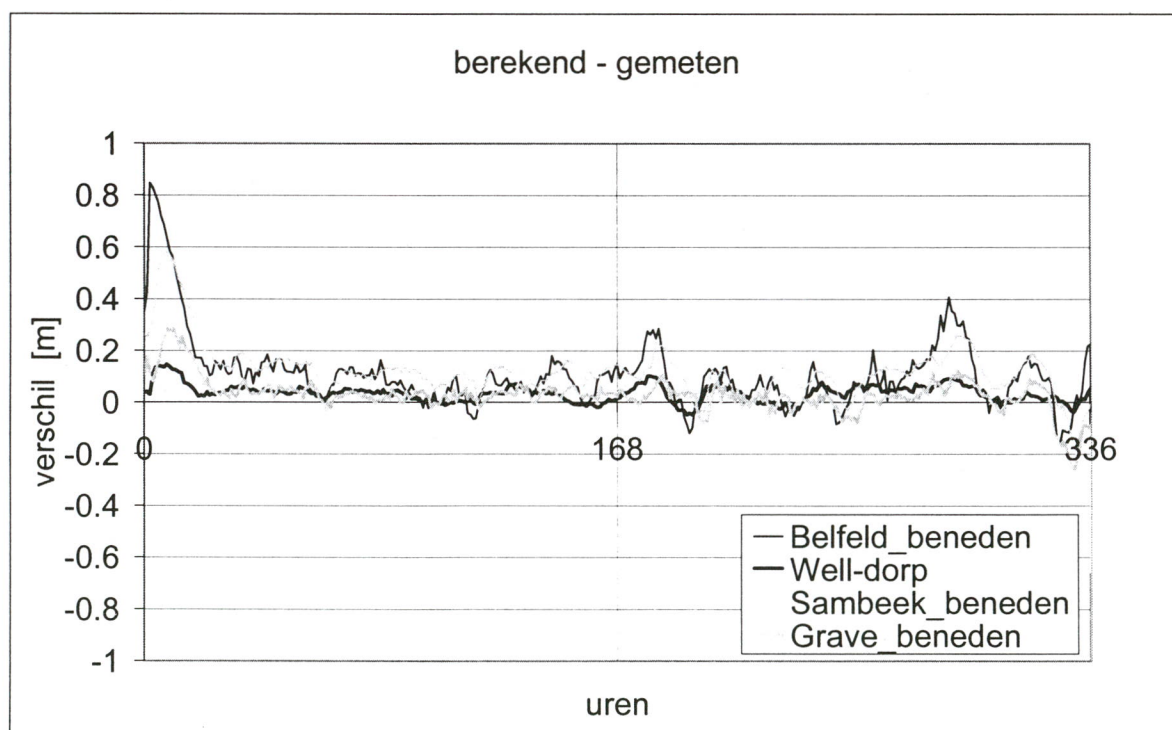
Figuur 5-61 Waterstand Lith beneden
(laagwaterperiode 1993)



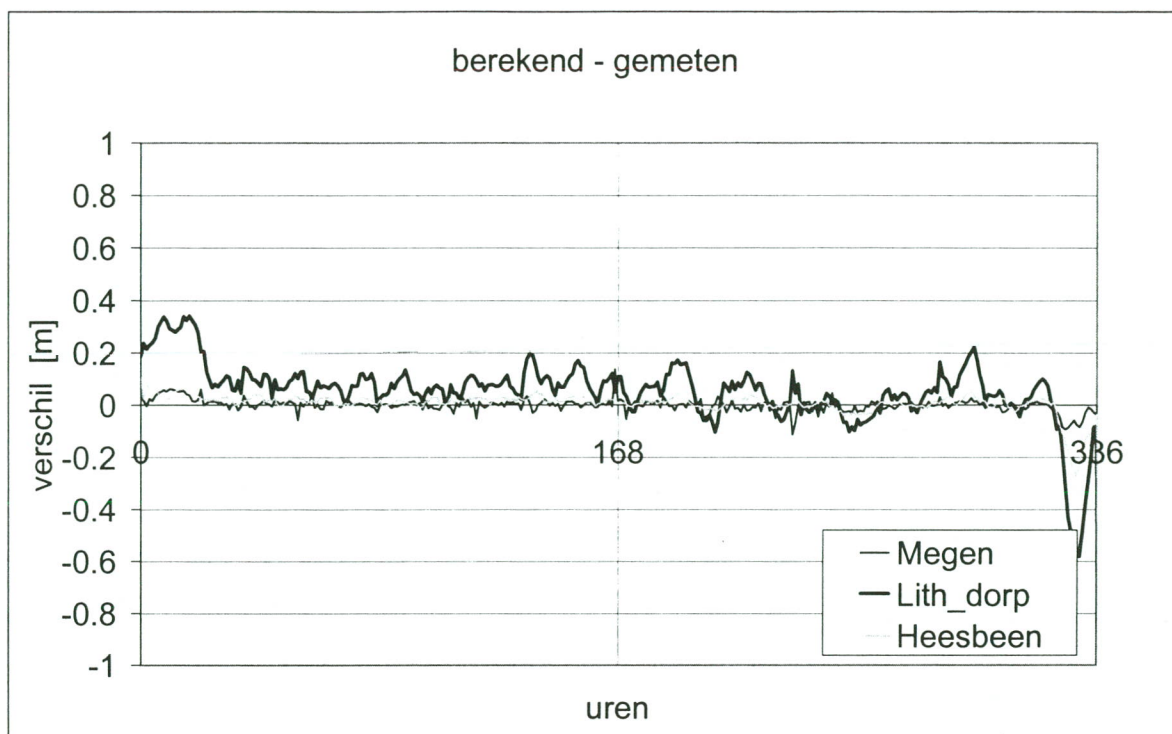
Figuur 5-62 Waterstand Heesbeen
(laagwaterperiode 1993)



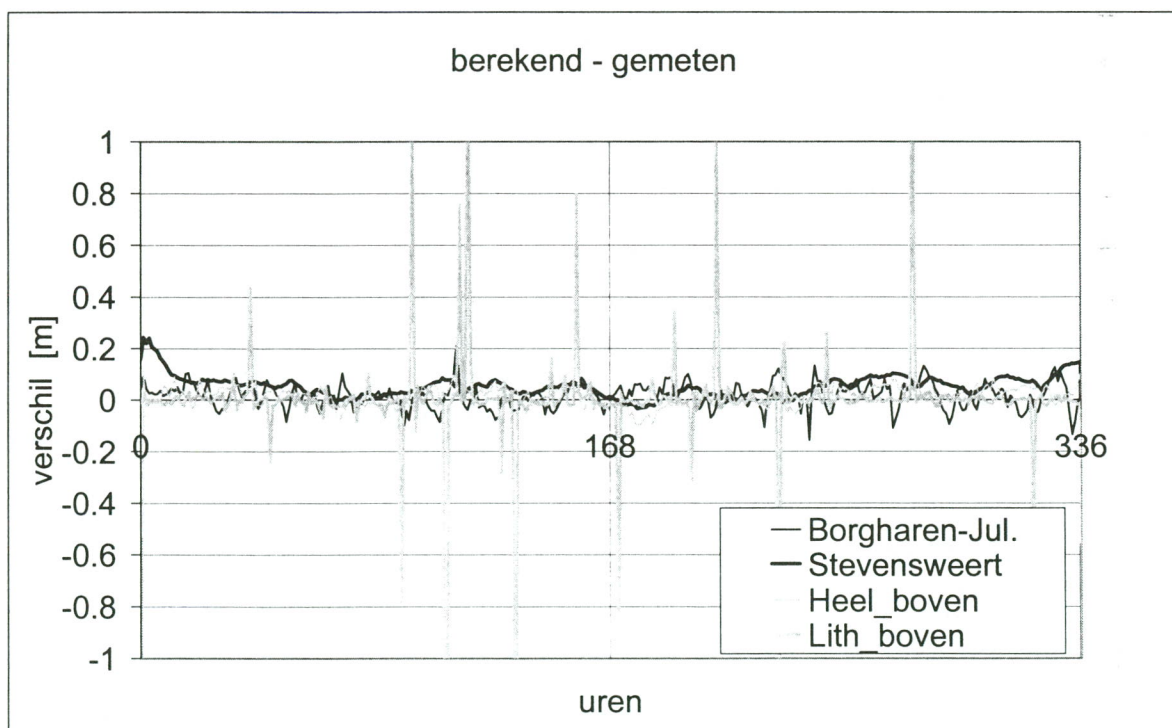
Figuur 5-63 Verschil berekend – gemeten laagwaterperiode 1993



Figuur 5-64 Verschil berekend - gemeten laagwaterperiode 1993



Figuur 5-65 Verschil berekend - gemeten laagwaterperiode 1993



Figuur 5-66 Verschil berekend - gemeten laagwaterperiode 1993

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Het doel van deze inregeling is het toetsen van een nieuwe ruwheidsformulering voor het zomerbed in WAQUA. Deze nieuwe ruwheidsformulering heeft tot doel betere modelresultaten te geven voor een afvoerbereik tussen 1000 en 3800 m³/s. De toetsing is gedaan door de WAQUA schematisatie van 1995 in te regelen. Deze inregeling is voor de meetstations die ingeregeld zijn geslaagd, waarmee gezegd kan worden dat de nieuwe ruwheidsformulering voor afvoeren hoger dan circa 2000 m³/s voldoet. Dit wordt bevestigd door het hoogwater van 1993, waarbij de ingeregelde stations weliswaar iets minder goed voldoen dan bij de inregeling, maar nog steeds redelijke resultaten geeft.

De nieuwe ruwheidsformulering geeft bij lage afvoeren minder goede resultaten dan voor het hoogwater 1993 en 1995. Dit is opgemaakt uit de laagwaterverificatie van 1993. Met name Elsloo, Grevenbicht en Heel beneden geven een gemiddelde absolute waarde van meer dan 0,15 m. De overige stations doen het redelijk goed.

Uit de verificatieperiode van 1999 blijkt dat het model niet voldoet. Mogelijke oorzaken zijn de nieuwe ruwheidsformulering, maar ook een nieuwe modelschematisatie.

In vergelijking met de oude inregeling, voor het hoogwater 1995, (Duits en Visser, 1999) presteert het model voor de ingeregelde periode ongeveer even goed.

6.2 Aanbevelingen

Het inregelen van het Maasmodel met de nieuwe ruwheidsformulering leidt tot de volgende aanbevelingen:

1. WAQUA is niet stabiel bij lage afvoeren. Er wordt onderzoek aanbevolen naar de oorzaak van deze instabiliteit.
2. Het model van 1999 presteert niet goed. Er wordt onderzoek aanbevolen naar de oorzaak hiervan.

7 Referenties

- Duits, M.T., & M. Visser, 1999, Inregeling ruwheden WAQUA-model Maas, PR264, HKV LIJN IN WATER, Lelystad.
- Duits, M.T., & J.H.A. Wijbenga, Actualisatie waqua Rijntakken / Maas. Inregelen bij variërende afvoer (fase 2), Pr 106, HKV LIJN IN WATER, Lelystad.
- Nelder, J.A., & R. Mead, 1965, A Simplex Method for Function Minimisation. The Computer Journal, 7, pp. 308-313.
- Ogink, H.J.M., 1986, Estimate of roughness length of minor bed Upper Rhine River and Waal River, Delft Hydraulics Laboratory, Note R2017.
- Rijkswaterstaat, 1999, Simona. User's guide WAQUA. a two-dimensional hydrodynamic and water quality simulation system, Ministry of Transport Public Works and Water Management, Directorate-General Rijkswaterstaat, Simona report 9902.
- Van den Brink, N.G.M., 1997, Dynamische ruwheid zomerbed, Automatisering WAQUA, Memo Rijn 1997-42 (H), Rijkswaterstaat RIZA.
- Van den Brink, N.G.M., 2000, Nadere inregeling WAQUA-Rijn, Memo Rijn 2000-15 (H), Rijkswaterstaat RIZA.
- Van Rijn, L.C., 1984, Sediment transport. Part III. Bed forms and alluvial roughness. Journal of Hydraulic Engineering, 110, pp. 1733-1754.
- Van der Veen, R., 1998, RIZA nota 98.038.
- Van Velzen, E.H., 2000, Dynamische afregeling WAQUA Maas, projectplan RIZA.
- Wijbenga, J.H.A. & M.T. Duits, 1998, Actualisatie WAQUA Rijntakken/Maas. Inregelen bij constante afvoer (fase 1), PR 106, HKV LIJN IN WATER, Lelystad.

Bijlagen

Postbus 260
2600 AG DELFT

tel. 015-285 0125
fax. 015-285 0126
vortech@vortech.nl

Aantekeningen bij de aanpassing van de ruwheidswaarde-berekening in WAQUA

Datum

januari 2001

Auteur(s)

dr.ir. B. van 't Hof

In opdracht van

HKV-lijn in water

© VORtech Computing

Bijlage A Aantekeningen bij aanpassing ruwheidsformulering

```
*****
*   AANTEKENINGEN                                   *
*   -----                                           *
*   bij de uitbreidingen van WAQUA tbv. de Van Velzen- benadering *
*   van de k-Nikuradse parameter.                   *
*****
```

1. Aanpassingen in de programmatuur

Uitgegaan is van de code PAR0005. Deze is ten aanzien van limieten in ruwheidswaarde-berekening voor het zomerbed in overeenstemming gebracht met de code die gebruikt wordt in Arnhem.

De volgende routines zijn aangepast: WAQGEN

wagkni.f - berekening van de Van Velzen-benadering voor icode = 605..700 hiervoor zijn nodig de (nieuwe) invoer parameters UP en VP

WAQPRE

wapf07.f - variabelen UP en VP worden doorgegeven naar WAGKNI
 wapkn2.f - foutje verbeterd: indien er geen AREAU/V-file is, moet nrec = 0 gesteld worden. Dit werd niet gedaan. Aanpassing is ook in de standaard-versie doorgevoerd.
 wapkn3.f - default-, minimum- en maximum- waarden zijn ingevuld voor Van Velzen-parameters WAQPRO (zie sectie 3 van deze readme-file)
 wasknu.f - variabelen UP en VP worden doorgegeven naar WAGKNI
 wasknv.f - variabelen UP en VP worden doorgegeven naar WAGKNI

De aangepaste routines kunnen ook worden gebruikt in de code PAR0008, die door EDS is aangepast t.a.v. SIMONA normen. Alleen moet dan wapf07.0008 worden gebruikt in plaats van wapf07.f vanwege andere aanpassingen aan deze routine. De aanpassing van wapkn2.f is al opgenomen in deze versie.

2. Berekeningen in de nieuwe functionaliteit

De k-Nikuradse parameter wordt in de Van Velzen-benadering berekend volgens:

$$k = \max(0.01, \alpha_{\text{hav}} * d_{90} + \beta_{\text{tav}} * \text{depth} * T^{\gamma_{\text{tav}}}) * \text{cormlt}$$

Hierbij zijn

- alphav - invoer parameter, globaal voor het hele domein
deze is opgeslagen als ROUGK(1,601)
- betav - invoer parameter, globaal voor het hele domein
deze is opgeslagen als ROUGK(2,601)
- gammav - invoer parameter, globaal voor het hele domein
deze is opgeslagen als ROUGK(1,602)
- d90 - diameter van 'grote' zandkorrels (90 gewichts-% is
kleiner); invoer parameter per area-code
deze is opgeslagen als ROUGK(1,icode), met icode
de area-code 605..700
- d50 - mediane diameter van zandkorrels (50 gewichts-% is
kleiner); invoer parameter per area-code
deze is opgeslagen als ROUGK(2,icode), met icode
de area-code 605..700
- depth - locale diepte van het water (berekend uit
WAQUA-resultaten)
- T - transport-parameter (volgt uit de berekening hier onder)
- cormlt - multiplicatieve correctieterm

De transport-parameter T wordt gegeven door:

$$T = \max(0.01, \sqrt{\frac{|u|}{\text{wrijving}}} / \sqrt{\frac{|u|}{\text{crit.wrijving}}} - 1.0)$$

De wrijvingsnelheid \bar{u} wordt berekend uit:

$$\bar{u} = \frac{u \sqrt{\text{ag}}}{\text{wrijving} \cdot C}$$

Hierbij is

- $\bar{u} = (u, v)$ - de locale stroomsnelheid (berekend uit WAQUA-resultaten)
vanwege het gebruik van verschoven (gestaggerde)
roosters is interpolatie (middeling) nodig voor
de v-snelheden in u-snelheidspunten de u-snelheden

in v-snelheidspunten

ag - de valversnelling

C - de lokale Chezy-waarde

De lokale Chezy-waarde wordt hierbij berekend uit

waarbij cfix staat voor

cfix - minimum waarde in de Chezy-berekening: constante waarde,
vastgesteld op cfix = 1.0129

De kritische wrijvinssnelheid $|u_{crit}|$ wordt berekend uit
crit.wrijving

$|u_{crit}| = \sqrt{const2 * delta * d50 * ag}$
crit.wrijving

Hierbij staan delta en const2 voor

delta - relatieve dichtheid:
(rho(zand)-rho(water))/rho(water) een constante waarde,
vastgesteld op delta = 1.65

const2 - parameter uit het Shields-diagram (ongeveer gelijk aan
0.05). Deze wordt opgeslagen als ROUGK(2,602).

De gebruiker moet dus de volgende getallen invoeren:

alphav betav gammav const2 - constant in het hele rekendomein
d90 d50 - variabel per area-code

3. Invoer door de gebruiker

De gebruiker kan de getallen alphav..const2 invullen onder het keyword
ROUGH_CHAR in de r_codes 601 en 602. In de invoer ziet dat er dan zo uit:

```
# alphav = 1e3, betav = 0.5, gammav = 0.20, const2 = 0.04:
ROUGH_CHAR
r_code = 601 a = 1e3 b = 5.0 # alphav = 1e3, betav = 0.5
r_code = 602 a = 0.20 b = 0.04 # gamma = 0.20, const2 = 0.04
```

De gebruiker kan vervolgens area-codes 605..700 gebruiken voor de Van Velzen berekeningen. Hierin kan hij steeds de getallen d50 en d90 invullen.

In de invoer ziet dat er dan zo uit:

```
# Van Velzen benadering, Korrelgroottes:
r_code = 605  a = 6e-3  b = 3e-3  # grof zand d90=6mm, d50=3mm
r_code = 606  a = 1e-3  b = 0.3e-3 # fijn zand d90=1mm, d50=0.3mm
```

Alle eenheden zijn SI.

De volgende minima, defaults en maxima zijn ingesteld:

	minimum	default	maximum

alphav	1e-6	2.0	1e6
betav	1e-6	1.0	1e6
gammav	-1.0	0.0	1e6
const2	0.01	0.05	0.25
d90	1e-6	3e-3	0.5
d50	1e-6	1e-3	0.1

Postbus 260
2600 AG DELFT

tel. 015-285 0125
fax. 015-285 0126
vortech@vortech.nl

Aantekeningen bij de aanpassing van de ruwheidswaarde-berekening, met traject-afhankelijke correctie-term

Datum

januari 2001

Auteur(s)

dr.ir. B. van 't Hof

In opdracht van

HKV-lijn in water

© VORtech Computing

Bijlage B Aantekeningen bij aanpassing ruwheidsberekening, inclusief trajectafhankelijke correctieterm

NIKURADSE (optional)

In this subsection information concerning the k-Nikuradse computation is given.

NIKURADSE

GLOBAL

TIMES

TFNIKU=[val] TINIKU=[ival] TLNIKU=[ival]

ROUGH_CHAR

< R_CODE=[ival] A=[val] B=[val] C=[val] D=[val] >

UDIREC

AREAU = [text]

VDIREC

AREAV = [text]

Explanation:

When the subsection NIKURADSE is given its subsections GLOBAL and TIMES are mandatory. The subsections ROUG_CHAR, UDIREC and VDIREC are optional.

TFNIKU=[val]	O	Time to do the first k-Nikuradse computation.
TINIKU=[val]	M	Time interval for the k-Nikuradse computation.
TLNIKU=[val]	D	Time to do the last k-Nikuradse computation.

(All times in elapsed simulation minutes)

R_CODE=[ival]	M	Roughness code. Only values between 1 and 999 are valid. The following codes (on head points) are defined (see for detailed codes Table "Relations between Rcode, A and B" under Notes).
---------------	---	--

R_CODE	Meaning
--------	---------

1	code for buildings
2	code for water free surface
3	default k-Nikuradse value
4-400	code for roughness with a static k-Nikuradse value

401-600 code for roughness for the main-channel

601-602 code for roughness in Van Velzen formulation of k-Mikuradse for entire domain

603-700 locally varying code for roughness in Van Velzen formulation of k-Mikuradse

701-950 code for vegetation structure types with a k-Nikuradse value depending from the water depth

951-999 code for hedges and wooden banks

A=[val] M The meaning of A depends on the value of R_CODE:

R_CODE	Meaning
--------	---------

1	A has no meaning
---	------------------

2	A has no meaning
---	------------------

3	A is the default k-Nikuradse value
---	------------------------------------

4-400	A is the k-Nikuradse value
-------	----------------------------

401-600	A is alfa in the formula for roughness of the main channel (see formula in User's guide waqua, General Information, subsection 3.4.2.5)
---------	--

601	A is alfa in the Van Velzen formulation of k-Nikurdse parameter (see formula in file 'readme.nikuradse')
-----	--

602	A is gamma in the Van Velzen formulation of k-Nikurdse parameter (see formula in file 'readme.nikuradse')
-----	---

603-700	A is D90 in the Van Velzen formulation of k-Nikurdse parameter (see formula in file 'readme.nikuradse')
---------	---

701-950	A is the value for vegetation height in the formula for roughness of vegetation structure types (see formula in User's guide waqua, General Information, subsection 3.4.2.5)
---------	--

951-999	A is the value for the height of the hedges in the formula for roughness of hedges (see formula in Users guide waqua, General Information, subsection 3.4.2.5)
---------	--

B=[val] O The meaning of B depends on the value of R_CODE:

R_CODE	Meaning
--------	---------

1	B has no meaning
---	------------------

2	B has no meaning
---	------------------

3	B has no meaning
---	------------------

4-400 B is the k-Nikuradse value

401-600 B is beta in the formula for roughness of the main channel (see formula in User's guide waqua, General Information, subsection 3.4.2.5)

601 B is beta in the Van Velzen formulation of k-Nikurdse parameter (see formula in file 'readme.nikuradse')

602 B is const2 in the Van Velzen formulation of k-Nikurdse parameter (see formula in file 'readme.nikuradse')

603-700 B is D50 in the Van Velzen formulation of k-Nikurdse parameter (see formula in file 'readme.nikuradse')

701-950 B is the value for vegetation density in the formula for roughness of vegetation structure types (see formula in User's guide waqua, GeneralInformation, subsection 3.4.2.5)

951-999 B is the value for the density of the hedges in the formula for roughness of hedges (see Users guide waqua, General Information, 3.4.2.5)

C=[val] D The meaning of C depends on the value of R_CODE:

R_CODE Meaning

4-600 C is a multiplication factor for A. C is only meaningful in case A is meaningful. C will be used in cases of calibration.
Default = 1.0

603-700 C is a multiplication factor for k. C will be used in cases of calibration.
Default = 1.0

700-999 C is a multiplication factor for A. C is only meaningful in case A is meaningful. C will be used in cases of calibration.
Default = 1.0

D=[val] D D is a multiplication factor for B. D is only meaningful in case B is meaningful. D will be used in cases of calibration.
Default = 1.0

AREAU=[text] M Area-U tablename. The given filename can contain an explicit pathname. The use of any indication of a parent directory ('..') is allowed.

AREAV=[text] M Area-V tablename (see Area-U for the filename).

Notes: - the Area-U and V-table must contain formatted records (format 3I6, F10.0). Each of these records successively contains:

N-grid index	(I6)
M-grid index	(I6)
roughness code	(I6)
percentage	(F10.0)

The valid percentage in Percentage in AREAU and AREAV is for r_code 1-950 between 0. and 1. For r_code 951-999 there is no maximum:

R_code	Percentage		Description
	min	max	
1-950	0.	1.	Fraction of the gridcell covered by this (r_code) roughness type
951-999	0.	-	Relative length of this roughness type (r_code) in this gridcell. For example if two hedges with the same r_code going from one side to the other side of this gridcell then the percentage should be 2. The relative length is a projection of the line on the middle of the gridcell. One and other depends on the U or V direction.

- Table "Relations between Rcode, A and B"

Rcode	A			B			Description
	def	min	max	def	min	max	
1							buildings
2							water free surface
3	0.2	0.05	1.0				default k-Nikuradse
11	0.05	0.05	11.0				open water (not the main-channel)
16	0.25	0.05	1.0				groyne section or shore line
21	0.2	0.1	0.3				smooth grassland
26	0.5	0.15	0.75				normal grassland
31	0.75	0.25	1.5				rough grassland
36	1.0	0.5	5.0				open herbaceous (winter)
41	0.2	0.1	0.5				dense herbaceous (winter)
51-100	0.6	0.01	100.0				vaste lagen
101-200	5.0	0.01	100.0				villages
201-400	0.2	0.01	100.0				user definable k-Nikuradse
401	0.1	0.05	0.5	2.5	1.0	10.0	main-channel

402-600	0.1	0.05	0.5	2.5	1.0	10.0	user definable main-channel
601	2.0	1e-6	1e6	1.0	1e-6	1e6	alfa and beta in Van Velzen formulation
602	0.0	-1.0	1e6	0.05	0.01	0.25	gamma and const2 in Van Velzen formulation
603-700	0.003	1e-6	0.50	0.001	1e-6	0.10	D90 and D50 in Van Velzen formulation
701	6.0	6.0	40.0	0.005	0.0005	0.01	open forest
706	6.0	6.0	40.0	0.025	0.01	0.03	normal forest
711	6.0	6.0	20.0	0.05	0.03	0.06	dense forest
716	4.0	4.0	6.0	0.1	0.03	0.3	shrubs
721	1.0	0.2	4.0	0.13	0.03	0.3	open herbaceous (summer)
726	2.0	0.2	4.0	0.5	0.3	1.0	normal herbaceous
731	2.0	0.2	4.0	2.5	0.5	10.0	dense herbaceous (summer)
736	2.0	0.2	4.0	1.0	0.5	10.0	reed
751-900	4.0	0.2	40.0	0.1	0.0005	10.0	user definable vegetation structure types
901	6.0	6.0	40.0	0.01	0.0005	1.0	tree lane
906-950	6.0	0.2	40.0	0.01	0.0005	1.0	user definable tree lanes
951	2.0	0.2	3.0	1.5	0.1	16.0	hedges
956	5.0	3.0	6.0	1.25	0.1	16.0	wooded bank
961-999	3.0	0.2	6.0	1.5	0.1	16.0	user definable hedges and wooded banks

The program will check the value for A and B if it fits between the minimum and the maximum after the multiplication with C and D. For r-codes between 401 and 999 the program needs the water-depth for the calculation of the k-Nikuradse values. Waterdepths lower then a minimum depth will be replaced (only for the k-Nikuradse calculation) by this minimum. The minimum water depth is 0.25 meter

- k-Nikuradse is only allowed in case of 2D-computation (WAQUA)
- TICVAL (interval for Chezy computation) must have a value by which each k-Nikuradse computation is followed by a Chezy computation.

Bijlage C Bestand ruw.karak voor inregeling van het zomerbed

```
# k waarden
r_code = 3 a = 0.20 c = 1.27368 d = 1.00000 # default k-waarde
r_code = 11 a = 0.05 c = 1.00000 d = 1.00000 # plassen
r_code = 16 a = 0.25 c = 1.00000 d = 1.00000 # kribvak
r_code = 21 a = 0.20 c = 1.27368 d = 1.00000 # glad grasland
r_code = 26 a = 0.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # normaal grasland
r_code = 31 a = 1.00 c = 1.27368 d = 1.00000 # ruw grasland
r_code = 36 a = 1.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # open ruigte (winter)
r_code = 41 a = 0.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # dichte ruigte (wint)
#
r_code = 101 a = 5.00 c = 1.00000 d = 1.00000 # dorp
r_code = 221 a = 0.20 c = 1.27368 d = 1.00000 # pgras met maasheggen
r_code = 226 a = 0.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # ngras met maasheggen
r_code = 227 a = 0.40 c = 0.40960 d = 1.00000 # akker met maasheggen
r_code = 327 a = 0.40 c = 0.40960 d = 1.00000 # akker
# misbruikte ruwheidscodes om variabelen van de ruwheidsformulering in te voeren
r_code = 601 a = 1.000 b = 0.040 c = 1.00000 d = 1.00000 # alfa beta
r_code = 602 a = 0.000 b = 0.050 c = 1.00000 d = 1.00000 # gamma const
# trajecten zomerbed d90 en d50
# de trajecten zijn gelijk aan de oude 400 + 203
# bovenstrooms van het inregel traject
r_code = 606 a = 51.2e-3 b = 24.1e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 1
r_code = 607 a = 78.9e-3 b = 39.7e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 608 a = 78.9e-3 b = 39.7e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 2
r_code = 609 a = 114.e-3 b = 41.4e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 3
r_code = 610 a = 67.6e-3 b = 39.9e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 611 a = 67.6e-3 b = 39.9e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 4
r_code = 612 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 613 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 614 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 615 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 5
r_code = 616 a = 41.4e-3 b = 15.6e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 617 a = 41.4e-3 b = 15.6e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 618 a = 41.4e-3 b = 15.6e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 6
r_code = 619 a = 26.6e-3 b = 2.16e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 620 a = 26.6e-3 b = 2.16e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 621 a = 26.6e-3 b = 2.16e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 7
r_code = 622 a = 21.2e-3 b = 2.98e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 8
r_code = 623 a = 29.4e-3 b = 5.43e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
```

```
r_code = 624 a = 29.4e-3 b = 5.43e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 625 a = 29.4e-3 b = 5.43e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 9
r_code = 626 a = 4.86e-3 b = 0.65e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 10
r_code = 627 a = 6.06e-3 b = 0.68e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 11
r_code = 628 a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 629 a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 12
r_code = 630 a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 13 (Afgedamde Maas)
r_code = 631 a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
#
# doorstroomd en overstroomd:
# hoogte en gemiddeld aangestroomd oppervlak per meter hoogte
r_code = 701 a = 10.00 b = 0.005 c = 1.00000 d = 1.00000 # open bos
r_code = 706 a = 10.00 b = 0.025 c = 1.00000 d = 1.00000 # normaal bos
r_code = 711 a = 10.00 b = 0.05 c = 1.00000 d = 1.00000 # dicht bos
r_code = 716 a = 4.00 b = 0.1 c = 1.00000 d = 1.00000 # struwelen
r_code = 721 a = 1.00 b = 0.15 c = 1.00000 d = 1.00000 # open ruigte
(zomer)
r_code = 726 a = 1.00 b = 0.5 c = 1.00000 d = 1.00000 # normale ruigte
r_code = 731 a = 2.00 b = 2.5 c = 1.00000 d = 1.00000 # dichte ruigte
(zomer)
r_code = 736 a = 2.00 b = 1.00 c = 1.00000 d = 1.00000 # riet
r_code = 901 a = 10.00 b = 0.01 c = 1.00000 d = 1.00000 # bomenlaan (vlak)
# lijnelementen: hoogte en aantal stammen per meter heglengte
r_code = 951 a = 2.00 b = 3.00 c = 1.00000 d = 1.00000 # heggen
r_code = 956 a = 5.00 b = 1.25 c = 1.00000 d = 1.00000 # houtwal
```


Bijlage D Bestand ruw.karak na automatisch inregelen van het zomerbed

```
# k waarden
r_code = 3 a = 0.20 c = 1.27368 d = 1.00000 # default k-waarde
r_code = 11 a = 0.05 c = 1.00000 d = 1.00000 # plassen
r_code = 16 a = 0.25 c = 1.00000 d = 1.00000 # kribvak
r_code = 21 a = 0.20 c = 1.27368 d = 1.00000 # glad grasland
r_code = 26 a = 0.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # normaal grasland
r_code = 31 a = 1.00 c = 1.27368 d = 1.00000 # ruw grasland
r_code = 36 a = 1.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # open ruigte (winter)
r_code = 41 a = 0.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # dichte ruigte (wint)
#
r_code = 101 a = 5.00 c = 1.00000 d = 1.00000 # dorp
r_code = 221 a = 0.20 c = 1.27368 d = 1.00000 # pgras met maasheggen
r_code = 226 a = 0.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # ngras met maasheggen
r_code = 227 a = 0.40 c = 0.40960 d = 1.00000 # akker met maasheggen
r_code = 327 a = 0.40 c = 0.40960 d = 1.00000 # akker
# misbruikte ruwheidscodes om variabelen van de ruwheidsformulering in te voeren
r_code = 601 a = 1.000 b = 0.040 c = 1.95229 d = 0.67893 # alfa beta
r_code = 602 a = 0.1362 b = 0.050 c = 1.00000 d = 1.00000 # gamma const
# trajecten zomerbed d90 en d50
# de trajecten zijn gelijk aan de oude 400 + 203
# bovenstrooms van het inregel traject
r_code = 606 a = 51.2e-3 b = 24.1e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 1
r_code = 607 a = 78.9e-3 b = 39.7e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 608 a = 78.9e-3 b = 39.7e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 2
r_code = 609 a = 114.e-3 b = 41.4e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 3
r_code = 610 a = 67.6e-3 b = 39.9e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 611 a = 67.6e-3 b = 39.9e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 4
r_code = 612 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 613 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 614 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 615 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 5
r_code = 616 a = 41.4e-3 b = 15.6e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 617 a = 41.4e-3 b = 15.6e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 618 a = 41.4e-3 b = 15.6e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 6
r_code = 619 a = 26.6e-3 b = 2.16e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 620 a = 26.6e-3 b = 2.16e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 621 a = 26.6e-3 b = 2.16e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 7
r_code = 622 a = 21.2e-3 b = 2.98e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
```

```
# traject 8
r_code = 623 a = 29.4e-3 b = 5.43e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 624 a = 29.4e-3 b = 5.43e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 625 a = 29.4e-3 b = 5.43e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 9
r_code = 626 a = 4.86e-3 b = 0.65e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 10
r_code = 627 a = 6.06e-3 b = 0.68e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 11
r_code = 628 a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 629 a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 12
r_code = 630 a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 13 (Afgedamde Maas)
r_code = 631 a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
#
# doorstroemd en overstroomd:
# hoogte en gemiddeld aangestroomd oppervlak per meter hoogte
r_code = 701 a = 10.00 b = 0.005 c = 1.00000 d = 1.00000 # open bos
r_code = 706 a = 10.00 b = 0.025 c = 1.00000 d = 1.00000 # normaal bos
r_code = 711 a = 10.00 b = 0.05 c = 1.00000 d = 1.00000 # dicht bos
r_code = 716 a = 4.00 b = 0.1 c = 1.00000 d = 1.00000 # struwelen
r_code = 721 a = 1.00 b = 0.15 c = 1.00000 d = 1.00000 # open ruigte
(zomer)
r_code = 726 a = 1.00 b = 0.5 c = 1.00000 d = 1.00000 # normale ruigte
r_code = 731 a = 2.00 b = 2.5 c = 1.00000 d = 1.00000 # dichte ruigte
(zomer)
r_code = 736 a = 2.00 b = 1.00 c = 1.00000 d = 1.00000 # riet
r_code = 901 a = 10.00 b = 0.01 c = 1.00000 d = 1.00000 # bomenlaan (vlak)
# lijnelementen: hoogte en aantal stammen per meter heglengte
r_code = 951 a = 2.00 b = 3.00 c = 1.00000 d = 1.00000 # heggen
r_code = 956 a = 5.00 b = 1.25 c = 1.00000 d = 1.00000 # houtwal
```

Bijlage E Bestand ruw.karak na handmatig inregelen van het zomerbed

```
# k waarden
r_code = 3 a = 0.20 c = 1.27368 d = 1.00000 # default k-waarde
r_code = 11 a = 0.05 c = 1.00000 d = 1.00000 # plassen
r_code = 16 a = 0.25 c = 1.00000 d = 1.00000 # kribvak
r_code = 21 a = 0.20 c = 1.27368 d = 1.00000 # glad grasland
r_code = 26 a = 0.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # normaal grasland
r_code = 31 a = 1.00 c = 1.27368 d = 1.00000 # ruw grasland
r_code = 36 a = 1.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # open ruigte (winter)
r_code = 41 a = 0.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # dichte ruigte (wint)
#
r_code = 101 a = 5.00 c = 1.00000 d = 1.00000 # dorp
r_code = 221 a = 0.20 c = 1.27368 d = 1.00000 # pgras met maasheggen
r_code = 226 a = 0.50 c = 1.27368 d = 1.00000 # ngras met maasheggen
r_code = 227 a = 0.40 c = 0.40960 d = 1.00000 # akker met maasheggen
r_code = 327 a = 0.40 c = 0.40960 d = 1.00000 # akker
# misbruikte ruwheidscodes om variabelen van de ruwheidsformulering in te voeren
r_code = 601 a = 1.000 b = 0.040 c = 1.95229 d = 0.67893 # alfa beta
r_code = 602 a = 0.1362 b = 0.050 c = 1.00000 d = 1.00000 # gamma const
# trajecten zomerbed d90 en d50
# de trajecten zijn gelijk aan de oude 400 + 203
# bovenstrooms van het inregel traject
r_code = 606 a = 51.2e-3 b = 24.1e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 1 Borgharen Dorp
r_code = 607 a = 78.9e-3 b = 39.7e-3 c = 0.46900 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 608 a = 78.9e-3 b = 39.7e-3 c = 0.46900 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 2 Elsloo
r_code = 609 a = 114.e-3 b = 41.4e-3 c = 0.78200 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 3 Grevenbicht
r_code = 610 a = 67.6e-3 b = 39.9e-3 c = 0.91700 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 611 a = 67.6e-3 b = 39.9e-3 c = 0.91700 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 4 Stevensweerd
r_code = 612 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 613 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 614 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 615 a = 51.0e-3 b = 37.3e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 5 Heel beneden
r_code = 616 a = 41.4e-3 b = 15.6e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 617 a = 41.4e-3 b = 15.6e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 618 a = 41.4e-3 b = 15.6e-3 c = 1.00000 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 6 Belfeld beneden
r_code = 619 a = 26.6e-3 b = 2.16e-3 c = 0.75400 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 620 a = 26.6e-3 b = 2.16e-3 c = 0.75400 d = 1.00000 # d90 d50
r_code = 621 a = 26.6e-3 b = 2.16e-3 c = 0.75400 d = 1.00000 # d90 d50
# traject 7 Well dorp
r_code = 622 a = 21.2e-3 b = 2.98e-3 c = 1.10500 d = 1.00000 # d90 d50
```



```
# traject 8 Sambeek beneden
r_code = 623  a = 29.4e-3 b = 5.43e-3 c = 2.17300  d = 1.00000  # d90 d50
r_code = 624  a = 29.4e-3 b = 5.43e-3 c = 2.17300  d = 1.00000  # d90 d50
r_code = 625  a = 29.4e-3 b = 5.43e-3 c = 2.17300  d = 1.00000  # d90 d50
# traject 9 Grave beneden
r_code = 626  a = 4.86e-3 b = 0.65e-3 c = 0.89200  d = 1.00000  # d90 d50
# traject 10 Megen
r_code = 627  a = 6.06e-3 b = 0.68e-3 c = 0.96500  d = 1.00000  # d90 d50
# traject 11 Lith dorp
r_code = 628  a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00100  d = 1.00000  # d90 d50
r_code = 629  a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00100  d = 1.00000  # d90 d50
# traject 12 Heesbeen
r_code = 630  a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 0.47900  d = 1.00000  # d90 d50
# traject 13 (Afgedamde Maas)
r_code = 631  a = 0.90e-3 b = 0.47e-3 c = 1.00000  d = 1.00000  # d90 d50
#
# doorstroomd en overstroomd:
# hoogte en gemiddeld aangestroomd oppervlak per meter hoogte
r_code = 701  a = 10.00  b = 0.005  c = 1.00000  d = 1.00000  # open bos
r_code = 706  a = 10.00  b = 0.025  c = 1.00000  d = 1.00000  # normaal bos
r_code = 711  a = 10.00  b = 0.05   c = 1.00000  d = 1.00000  # dicht bos
r_code = 716  a = 4.00   b = 0.1    c = 1.00000  d = 1.00000  # struwelen
r_code = 721  a = 1.00   b = 0.15   c = 1.00000  d = 1.00000  # open ruigte
(zomer)
r_code = 726  a = 1.00   b = 0.5    c = 1.00000  d = 1.00000  # normale ruigte
r_code = 731  a = 2.00   b = 2.5    c = 1.00000  d = 1.00000  # dichte ruigte
(zomer)
r_code = 736  a = 2.00   b = 1.00   c = 1.00000  d = 1.00000  # riet
r_code = 901  a = 10.00  b = 0.01  c = 1.00000  d = 1.00000  # bomenlaan (vlak)
# lijnelementen: hoogte en aantal stammen per meter heglengte
r_code = 951  a = 2.00   b = 3.00   c = 1.00000  d = 1.00000  # heggen
r_code = 956  a = 5.00   b = 1.25  c = 1.00000  d = 1.00000  # houtwal
```