



Barbarossastraat 35  
Postbus 151  
6500 AD Nijmegen  
+31 (0)24 328 42 84    Telefoon  
   Fax  
info@nijmegen.royalhaskoning.com    E-mail  
www.royalhaskoning.com    Internet  
Arnhem 09122561    KvK

Documenttitel	Achtergronddocument Rivierkunde MER Grensmaas 2003
Verkorte documenttitel	
Status	Rapport
Datum	maart 2003
Projectnaam	MER Grensmaas 2003
Projectnummer	9M4711.A0
Auteur(s)	drs. R.C. Agtersloot
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat De Maaswerken
Referentie	9M4711.A0/R//Nijm

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1.1	Algemeen .....	1
1.2	Probleemschets .....	1
1.3	Doel van het rivierkundig onderzoek.....	3
1.4	Afbakening van het rivierkundig onderzoek .....	3
1.5	Beschrijving alternatieven/ontwerpen .....	5
1.6	Relaties met andere deelonderzoeken.....	7
1.7	Leeswijzer .....	7
<b>2</b>	<b>Methodiek en gegevensbronnen .....</b>	<b>9</b>
2.1	Algemeen .....	9
2.2	Hydraulisch onderzoek .....	11
2.2.1	Rekenmodel.....	11
2.2.2	Validatie rekenplatform.....	13
2.2.3	Gebruikte gegevens .....	13
2.2.4	Methodiek per MER-alternatief/ontwerp.....	15
2.2.5	Evaluatie van de nauwkeurigheid van de voorspelling.....	17
2.3	Overzicht gemaakte berekeningen .....	17
<b>3</b>	<b>Toetsingskader .....</b>	<b>19</b>
3.1	Inleiding.....	19
3.2	Toetsingscriteria.....	19
<b>4</b>	<b>Huidige toestand van het riviersysteem.....</b>	<b>21</b>
4.1	De geometrie.....	21
4.2	De hydrologie .....	23
4.3	Modellering Referentiesituaties .....	23
<b>5</b>	<b>Autonome ontwikkeling van het riviersysteem .....</b>	<b>27</b>
5.1	Inleiding.....	27
5.2	De autonome ontwikkeling.....	27
5.3	Hydraulica .....	29
5.3.1	Veiligheid .....	29
5.3.2	Benedenstroomse effecten .....	31
5.3.3	Bovenstroomse effecten.....	31
5.3.4	Laagwater effecten .....	31
5.4	De WML-natuurontwikkeling bij Roosteren (deel 1).....	31
5.5	Tussentijdse effecten, testcase 'Ringdijk bij Hartelstein' .....	33
<b>6</b>	<b>Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas.....</b>	<b>35</b>
6.1	Inleiding.....	35
6.2	Het Voorkeursalternatief 2003 .....	35
6.3	Hydraulica .....	37
6.3.1	Veiligheid .....	37
6.3.2	Vergunbaarheid .....	39
6.3.3	Benedenstroomse effecten .....	39

6.3.4	Bovenstroomse effecten .....	41
6.3.5	Laagwater effecten .....	41
6.3.6	Inundatiegebied .....	43
6.4	De WML-natuurontwikkeling bij Roosteren (deel 2).....	43
6.5	Gevoeligheidsanalyse ecotopenkaarten .....	45
6.5.1	Selectie ecotopenkaarten .....	45
6.5.2	Resultaten gevoeligheidsanalyse .....	47
<b>7</b>	<b>Voorkeursalternatief 2003 met verhoging ontgravingsdiepte .....</b>	<b>49</b>
7.1	Inleiding .....	49
7.2	Algemeen .....	49
7.3	Hydraulica .....	49
7.3.1	Veiligheid .....	49
7.3.2	Vergunbaarheid .....	51
7.3.3	Benedenstroomse effecten .....	53
7.3.4	Bovenstroomse effecten .....	55
7.3.5	Laagwater effecten .....	55
<b>8</b>	<b>Voorkeursalternatief 2003 met verlaging ontgravingsdiepte .....</b>	<b>57</b>
8.1	Inleiding .....	57
8.2	Algemeen .....	57
8.3	Hydraulica .....	59
8.3.1	Veiligheid .....	59
8.3.2	Vergunbaarheid .....	61
8.3.3	Benedenstroomse effecten .....	61
8.3.4	Bovenstroomse effecten .....	63
8.3.5	Laagwater effecten .....	63
<b>9</b>	<b>Meest Milieuvriendelijk Alternatief .....</b>	<b>65</b>
9.1	Inleiding .....	65
9.2	Algemeen .....	65
9.3	Hydraulica .....	67
9.3.1	Veiligheid .....	67
9.3.2	Vergunbaarheid .....	69
9.3.3	Benedenstroomse effecten .....	69
9.3.4	Bovenstroomse effecten .....	71
9.3.5	Laagwater effecten .....	71
<b>10</b>	<b>Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse Locaties .....</b>	<b>73</b>
10.1	Inleiding .....	73
10.2	Algemeen .....	73
10.3	Hydraulica .....	73
10.3.1	Veiligheid .....	73
10.3.2	Vergunbaarheid .....	75
10.3.3	Benedenstroomse effecten .....	77
10.3.4	Bovenstroomse effecten .....	79
10.3.5	Laagwater effecten .....	79

<b>11 Conclusies</b> .....	<b>81</b>
11.1 Inleiding.....	81
11.2 Vergelijking MER-alternatieven/ontwerpen .....	81
11.3 Hydraulica .....	81
11.3.1 Autonome ontwikkeling.....	81
11.3.2 Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas (VKA) .....	81
11.3.3 Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas met ontgravingsdiepte + 0,5 meter (VKA_P) .....	85
11.3.4 Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas met ontgravingsdiepte - 0,5 meter (VKA_M).....	85
11.3.5 Meest Milieuvriendelijk Alternatief (MMA) .....	87
11.3.6 Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas plus Vlaamse Locaties .....	87
<b>12 Referenties</b> .....	<b>89</b>

## Bijlagenlijst

<b>Bijlage 1</b>	<b>Gebruikte randvoorwaarden</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Memo 'Validatie rekenplatform'</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Memo 'Gevoeligheidsanalyse ecotopenontwikkeling'</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Memo 'Weergave van de fysica met wiskundige modellen'</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Snelheidsvelden in verschillende berekeningen</b>

## Figurenlijst

Figuur 1-1 Bodemligging van de Grensmaas .....	4
Figuur 2-1 Het WAQUA-rekenrooster van de Grensmaas.....	10
Figuur 2-2 Een ecotopenkaart van de Grensmaas.....	12
Figuur 2-3 Standaardgolven bij Eijsden.....	14
Figuur 3-1 Snelheidsveld Referentiesituatie, 1/250 hoogwatergolf.....	20
Figuur 4-1 Gemeten afvoeren bij Borgharen in de periode 1911 - 1998 .....	22
Figuur 4-2 Waterstanden Referentiesituatie Ref95_3 bij 1/250 hoogwatergolf.....	22
Figuur 4-3 Waterstanden gecorrigeerde autonome-ontwikkeling bij een 1/1250 hoogwatergolf.....	24
Figuur 4-4 Stroomsnelheden Referentiesituatie bij een 1/250 hoogwatergolf .....	24
Figuur 4-5 Veranderingen autonome ontwikkeling in de Grensmaas .....	26
Figuur 5-1 Effect van autonome ontwikkeling: waterstanden t.o.v. de Referentiesituatie bij een 1/250 hoogwatergolf .....	28
Figuur 5-2 Snelheden in de autonome ontwikkeling t.o.v. de Referentiesituatie (1/250 hoogwatergolf) .....	30
Figuur 5-3 Invloed aanleg DGR-kaden (in autonome ontwikkeling) .....	30
Figuur 5-4 De ringdijk bij Hartelstein .....	32
Figuur 5-5 Ingrepen van het Voorkeursalternatief 2003.....	34
Figuur 6-1 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003: waterstanden t.o.v. Referentiesituatie bij een 1/250 hoogwatergolf .....	36
Figuur 6-2 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003: stroomsnelheden t.o.v. Referentiesituatie bij een 1/250 hoogwatergolf .....	36
Figuur 6-3 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003 zonder natuurontwikkeling: waterstanden t.o.v. Referentiesituatie bij een ontwerphoogwater (1/250 jaar) ..	38
Figuur 6-4 Benedenstroomse effecten Voorkeursalternatief 2003, 1/1250 hoogwatergolf .....	38
Figuur 6-5 Tijdreeksen bij Heel (rkm 69), 1/1250 hoogwatergolf .....	40
Figuur 6-6 Inundatiegebied 1/250 hoogwatergolf; Referentiesituatie en Voorkeursalternatief ..	42
Figuur 6-7 Verdelingen ecotopenkaarten, ecotoopgroep ruigte .....	44
Figuur 6-8 Verdelingen ecotopenkaarten, ecotoopgroep bos.....	44
Figuur 6-9 Standaard afwijking in maximale waterstanden t.g.v. ecotopen ontwikkelingen ....	46
Figuur 6-10 Verschil referentie berekening en gemiddelde, maximale en minimale waterstanden .....	46
Figuur 6-11 Ingrepen Voorkeursalternatief 2003 met verhoging ontgravingsdiepte.....	48
Figuur 7-1 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m: waterstanden bij een 1/250 hoogwatergolf .....	50
Figuur 7-2 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m: stroomsnelheden bij een 1/250 hoogwatergolf .....	50
Figuur 7-3 Waterstandseffect Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m t.o.v. Voorkeursalternatief 2003 .....	52
Figuur 7-4 Benedenstroomse effecten Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m , 1/1250 hoogwatergolf.....	52
Figuur 7-5 Tijdreeksen bij Heel (rkm 69), 1/1250 hoogwatergolf .....	54
Figuur 7-6 Ingrepen Voorkeursalternatief 2003 met verlaging ontgravingsdiepte .....	56
Figuur 8-1 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m: waterstanden bij een 1/250 hoogwatergolf .....	58

Figuur 8-2 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m: stroomsnelheden bij een 1/250 hoogwatergolf .....	58
Figuur 8-3 Waterstandseffect Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m t.o.v. Voorkeursalternatief 2003 .....	60
Figuur 8-4 Benedenstroomse effecten Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m, 1/1250 hoogwatergolf.....	60
Figuur 8-5 Tijdreeksen bij Heel (rkm 69), 1/1250 hoogwatergolf .....	62
Figuur 8-6 Ingrepen Meest Milieuvriendelijk Alternatief .....	64
Figuur 9-1 Effect van ingrepen MMA: waterstanden bij een 1/250 hoogwatergolf .....	66
Figuur 9-2 Effect van ingrepen MMA: stroomsnelheden bij een 1/250 hoogwatergolf .....	66
Figuur 9-3 Waterstandseffect MMA t.o.v. Voorkeursalternatief 2003 .....	68
Figuur 9-4 Benedenstroomse effecten MMA, 1/1250 hoogwatergolf.....	68
Figuur 9-5 Tijdreeksen bij Heel (rkm 69), 1/1250 hoogwatergolf .....	70
Figuur 9-6 Ingrepen Voorkeursalternatief 2003 inclusief Vlaamse Boertienlocaties.....	72
Figuur 10-1 Effect van ingrepen VKA_VL: waterstanden bij een 1/250 hoogwatergolf .....	74
Figuur 10-2 Effect van ingrepen VKA_VL: stroomsnelheden bij een 1/250 hoogwatergolf .....	74
Figuur 10-3 Waterstandseffect Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties t.o.v. Voorkeursalternatief 2003 .....	76
Figuur 10-4 Benedenstroomse effecten Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties, 1/1250 hoogwatergolf.....	76
Figuur 10-5 Tijdreeksen bij Heel (rkm 69), 1/1250 hoogwatergolf.....	78

## Tabellenlijst

Tabel 1-1 Vragen van rivierkundige aard .....	2
Tabel 1-2 Hydraulische modellen MER Grensmaas 2003 .....	6
Tabel 2-1 Qh-relatie bij Keizersveer .....	14
Tabel 2-2 Piekafvoer laterale toestromingen in de Grensmaas bij hoogwatergolven .....	14
Tabel 2-3 Grondwatergedrag Grensmaas bij hoogwatergolven ('-' betekent onttrekking) .....	14
Tabel 2-4 Overzicht uitgevoerde WAQUA-berekeningen .....	16
Tabel 4-1 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in de Referentiesituaties bij verschillende hoogwatergolven op verschillende locaties .....	24
Tabel 5-1 Overzicht inundatie van omkade gebieden en kade-aanpassingen (autonome ontwikkeling).....	28
Tabel 5-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in de autonome ontwikkeling bij verschillende hoogwaters op verschillende locaties t.o.v. de Referentiesituaties .	30
Tabel 5-3 Waterstandseffect ringdijk Hartelstein op de rivier.....	32
Tabel 6-1 Noodzakelijke kade-aanpassingen Voorkeursalternatief 2003 (uitgaande van cyclische verjonging) .....	36
Tabel 6-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in het Voorkeursalternatief 2003 bij verschillende hoogwaters op verschillende locaties t.o.v. de Referentiesituatie ..	40
Tabel 6-3 Bovenstroomse effecten (in m) Voorkeursalternatief 2003, alle hoogwatergolven ....	40
Tabel 6-4 Statistische verdeling ecotopengroepen .....	44
Tabel 7-1 Noodzakelijke kade-aanpassingen Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m (uitgaande van cyclische verjonging) .....	50

Tabel 7-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m bij verschillende hoogwaters op verschillende locaties t.o.v. de Referentiesituatie .....	52
Tabel 7-3 Bovenstroomse effecten (in m) Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m, alle hoogwatergolven.....	54
Tabel 8-1 Noodzakelijke kade-aanpassingen Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m (uitgaande van cyclische verjonging) .....	58
Tabel 8-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m bij verschillende hoogwaters op verschillende locaties t.o.v. de Referentiesituatie .....	60
Tabel 8-3 Bovenstroomse effecten (in m) Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m, alle hoogwatergolven.....	62
Tabel 9-1 Noodzakelijke kade-aanpassingen Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m (uitgaande van cyclische verjonging) .....	66
Tabel 9-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in het MMA bij verschillende hoogwaters op verschillende locaties t.o.v. de Referentiesituatie .....	68
Tabel 9-3 Bovenstroomse effecten (in m) Meest Milieuvriendelijk Alternatief, alle hoogwatergolven.....	70
Tabel 10-1 Noodzakelijke kade-aanpassingen VKA_VL (uitgaande van cyclische verjonging)...	74
Tabel 10-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in het Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties bij verschillende hoogwaters t.o.v. de Referentiesituatie .....	76
Tabel 10-3 Bovenstroomse effecten (in m) Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties, alle hoogwatergolven.....	78
Tabel 11-1 Vergelijking alternatieven/ontwerpen.....	82

## Fotolijst

- Foto 1-1 Zomerbed van de Grensmaas, ingesneden in het landschap (foto De Maaswerken)
- Foto 1-2 Oever van de Grensmaas (foto Frans Schepers)
- Foto 2-1 Wateroverlast langs de Maas (foto Frits Widdershoven)
- Foto 2-2 Natuur langs de Maas (foto De Maaswerken)
- Foto 11-1 Erosiegeul in de Kerkeweerd (foto Jaap Goudriaan)
- Foto 11-2 Erosie in de Kerkeweerd (foto Jaap Goudriaan)
- Foto 11-3 Toekomstbeeld van de Maas (foto Etienne van Sloun)

## Lijst met afkortingen en begrippen

1/50 beschermingsniveau	Kadehoogte, minstens zo hoog als de waterstand behorende bij een 1/50 hoogwatergolf en verhoogd met 0,5 m waakhogte
1/250 beschermingsniveau	Kadehoogte, minstens zo hoog als de waterstand behorende bij een 1/250 hoogwatergolf en verhoogd met 0,5 m waakhogte
1/50 hoogwatergolf	Een ontwerp hoogwatergolf met een statistisch bepaalde kans van voorkomen van 1/50 per jaar, piekafvoer bij Borgharen is 2710 m <sup>3</sup> /s
1/115 hoogwatergolf	Een ontwerp hoogwatergolf met een statistisch bepaalde kans van voorkomen van 1/115 per jaar, piekafvoer bij Borgharen is 3000 m <sup>3</sup> /s
1/250 hoogwatergolf	Een ontwerp hoogwatergolf met een statistisch bepaalde kans van voorkomen van 1/250 per jaar, piekafvoer bij Borgharen is 3275 m <sup>3</sup> /s

1/1250 hoogwatergolf AO AO'	Een ontwerp hoogwatergolf met een statistisch bepaalde kans van voorkomen van 1/1250 per jaar, piekafvoer bij Borgharen is 3800 m <sup>3</sup> /s Autonome Ontwikkeling, situatie in 2017 van de Grensmaas Autonome Ontwikkeling, gecorrigeerd voor het effect van de aangelegde DGR-kaden
benedenstrooms	Vanaf een specifieke locatie in/langs de rivier in stroomafwaartse richting; zo ligt Roosteren benedenstrooms van Meers
bovenstrooms	Vanaf een specifieke locatie in/langs de rivier in stroomopwaartse richting; zo ligt Maastricht bovenstrooms van Meers
DGR	Deltaplan Grote Rivieren, een noodplan in gang gezet na het hoogwater van 1995 om de veiligheid langs de Nederlandse rivieren te verhogen
DGR-kaden	Kaden aangelegd na het hoogwater van 1995 in het kader van het Deltaplan Grote Rivieren
VKA	Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas
VKA_M	Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas met verlaging ontgravingsdiepte
VKA_P	Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas met verhoging ontgravingsdiepte
VKA_VL	Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas inclusief Vlaamse Boertienlocaties
HW03	Het hoogwater van januari 2003
ontgravingsdiepte	niveau tot waarop een ingreep (zomerbedverbreding, weerdverlaging) wordt afgegraven
MER	Milieu Effect Rapportage, een rapport waarin de milieu effecten van een ingreep beschreven staan
MHW	Maatgevend Hoogwater, voor de Maas een 1/1250 hoogwatergolf
MMA	Meest Milieuvriendelijk Alternatief
R95	Referentiesituatie in 1995 na aanleg DGR-kaden, ook wel Ref95_3
RIZA	Rijksinstituut voor Integraal Zoetwater en Afvalwaterbehandeling, een specialistische dienst van Rijkswaterstaat
rkm	Rivierkilometer, lengtemaat over de as van de rivier; voor de Maas begint de rivierkilometrering op 2,5 km bij Eijsden (aan de grens)
t50	Identificatie van WAQUA-berekening met een 1/50 hoogwatergolf, bijvoorbeeld r95-t50
t115	Identificatie van WAQUA-berekening met een 1/115 hoogwatergolf, bijvoorbeeld na-t115
t250	Identificatie van WAQUA-berekening met een 1/250 hoogwatergolf, bijvoorbeeld vka-t250
t1250	Identificatie van WAQUA-berekening met een 1/1250 hoogwatergolf, bijvoorbeeld mma-t1250
V93	Referentiesituatie in 1993 voor aanleg DGR-kaden, ook wel V93_3
VO	Voorlopig Ontwerp, een nadere uitwerking van het VKA uit de MER'98
waakhoogte	Veiligheidshoogte bovenop de berekende waterstand om rekening te houden met factoren als golfoploop, windeffecten en modelonzekerheden
Wbr	Wet Beheer Rijkswaterstaatwerken, een wet waarin onder andere de voorwaarden staan waaraan ingrepen in het zomer- en winterbed van een rivier moeten worden getoetst
winterbed	Hoger gelegen delen langs de rivier die enkel bij hoge afvoeren onder water staan, ook wel 'hoogwaterbed' of 'uiterwaarden' genoemd
zomerbed	Deel van de rivier waarin bijna altijd water staat, ook wel 'laagwaterbed' genoemd





Foto 1-1 Zomerbed van de Grensmaas, ingesneden in het landschap



Foto 1-2 Oever langs de Grensmaas

# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

Voor u ligt het achtergronddocument Rivierkunde van het hoofdrapport MER Grensmaas 2003. De MER Grensmaas is een onderliggend document van het POL Grensmaas. Het POL Grensmaas is een aanvulling op het Provinciaal Omgevingsplan Limburg uit 2001. De vaststelling van het POL Grensmaas is een eerste stap in de planvoorbereiding om uitvoering van het Grensmaasproject mogelijk te maken.

De doelstellingen van het Grensmaasproject zijn:

- 1) beperking van de wateroverlast, gericht op het bereiken van een beschermingsniveau van 1/250 voor de door kades beschermde gebiedsdelen, te bereiken in uiterlijk 2017;
- 2) Grootschalige natuurontwikkeling en ecologisch herstel van de rivier, waarbij een nieuw, riviergebonden natuurgebied van minimaal 1000 ha ontstaat;
- 3) De winning van grind zoals vastgelegd in bestuursovereenkomsten (1990 en 1997) tussen Rijk en provincie (Limburg levert voor de nationale behoefte nog de hoeveelheid grind die vrijkomt bij uitvoering van de projecten Grensmaas en Zandmaas/Maasroute en daarna niets meer).

De drie doelstellingen dienen in onderlinge samenhang gerealiseerd te worden. Alle maatregelen die nodig zijn voor het bereiken van het beschermingsniveau van 1/250 dienen voor eind 2017 afgerond te zijn. De eindoplevering van het gehele project is voorzien in 2022.

De doelstellingen worden gerealiseerd door rivierverruiming. De daarbij vrijkomende dekgrond wordt geborgen in dekgrondbergingen.

In het hoofdrapport van de MER Grensmaas wordt voor alle relevante aspecten op hoofdlijnen aangegeven wat de milieueffecten van het Grensmaasproject zijn. Het betreft telkens samenvattingen van onderzoek dat uitgevoerd is in het kader van de MER Grensmaas. Dit achtergronddocument is een rapportage van het onderzoek dat heeft plaatsgevonden voor het aspect Rivierkunde.

Voor het onderzoek is telkens gebruik gemaakt van alle relevante beschikbare gegevens, en zijn telkens de meest geschikte onderzoeksmethoden volgens de laatste stand der techniek toegepast.

## 1.2 Probleemschets

Tot voor 200 jaar was de Grensmaas een enigszins vrij meanderende rivier met meerdere ondiepe geulen en diverse eilanden in het laagwaterbed. De huidige Grensmaas is een rivier met een laagwaterbedding met een enkele geul die diep ingesneden ligt in het hoogwaterbed en weinig natuurvriendelijke oevers, zie Foto's 1.1 en 1.2. In de loop van ongeveer twee eeuwen is dit rivierenlandschap ontstaan als gevolg van ontgrindingswerkzaamheden in combinatie met afzetting tijdens hoogwaters en rivierkundige werken ter verdediging van oevers en geleiding van de stroom ('normalisatie').

Tabel 1-1 Vragen van rivierkundige aard

Vraag	Omschrijving
1 a, b	Hoe verandert de veiligheid tegen overstromen, en wat voor kade-aanpassingen (lengte, mate van verhoging) zijn noodzakelijk om de veiligheid te kunnen garanderen?
2	Welke problemen kunnen verwacht worden in het kader van de Wbr, waarin één van de uitgangspunten is dat ingrepen in het zomer- en winterbed van de rivier niet mogen leiden tot verhogingen van de waterstand?
3	Wat zijn de benedenstroomse effecten van het Voorkeursalternatief 2003? Het gaat hierbij met name om verandering in topwaterstanden en looptijden van de hoogwatergolven. In de analyse moet ook worden gekeken naar de effecten bij Den Bosch en de effecten op de kaden benedenstrooms van het Grensmaasgebied maar bovenstrooms (rkm 55 – 70) van de Zandmaasingrepen.
4	Wat zijn de bovenstroomse effecten van het Voorkeursalternatief 2003? Het gaat hierbij met name om verandering in waterstanden en stroomsnelheden.
5	Wat zijn de effecten van het Voorkeursalternatief 2003 bij een afvoer van 10 m <sup>3</sup> /s? In een tractaat uit 1840 met België is vastgelegd hoe de afvoerverdeling bij Borgharen moet zijn om te komen tot deze gewenste minimale afvoer in de Grensmaas. Dit is met name van belang voor de grondwaterwinning aan Vlaamse zijde van de Grensmaas.
6	Wat is het effect van vegetatieontwikkeling en hoeverre beïnvloedt vegetatie de effectiviteit van een ingreep? In het Voorkeursalternatief 2003-model is een voorspelling gedaan over de te verwachten vegetatie zoals die zal ontstaan na uitvoering van het Voorkeursalternatief 2003. Het kan zijn dat deze vegetatieontwikkeling leidt tot te weinig waterstandsval en dit aspect moet nadrukkelijk onderzocht worden.
7	Hoe gevoelig zijn de berekeningsresultaten van het Voorkeursalternatief 2003 voor een andere ecotopenontwikkeling? De applicatie waarmee de ecotopen worden gegenereerd bevat een randomcomponent. Om nu de gevoeligheid van de resultaten voor veranderingen in de ecotopenontwikkeling inzichtelijk te maken zullen tien verschillende ecotopenkaarten worden gemaakt waarmee tien berekeningen zullen worden uitgevoerd.

De ondergrond van het laagwaterbed van de Grensmaas bestaat uit afwisselend grind, Boomse klei (ter hoogte van Aan de Maas) en fijn zand met kleilenzen. In het meest zuidelijke deel komt mergel voor. Diepe ontgrinding heeft in de laagwaterbedding van de Grensmaas nauwelijks plaatsgevonden en op veel plaatsen is dat, bij gebrek aan voldoende grind, ook niet meer mogelijk. Het meeste winbare grind zit onder de hoogwaterbedding. Afgraving daarvan kan zodanig plaatsvinden dat na afloop van de graafwerkzaamheden een verbreed laagwaterbed en een verlaagd hoogwaterbed resteert. Hierop kan zich een natuurlijk rivierenlandschap ontwikkelen. De vraag is hoe dat er precies uit zal gaan zien en hoe de rivier zich zal gaan gedragen met betrekking tot de waterstanden, de stroomsnelheden en het sedimenttransport en welke consequenties dat zal hebben voor de wateroverlast door overstromingen, de stabiliteit van oevers en beddingen, de ligging van de thalweg en het karakteristieke beeld van de rivier bij de lagere afvoeren. Deze onderzoeksvragen zijn hierna verder uitgewerkt.

### **1.3 Doel van het rivierkundig onderzoek**

Het doel van het onderzoek was antwoord te geven op een aantal concrete vragen met betrekking tot veiligheid, de morfologische ontwikkelingen, de natuurontwikkeling en het grondwaterpeil. Deze vragen zijn in Tabel 1-1 aangegeven.

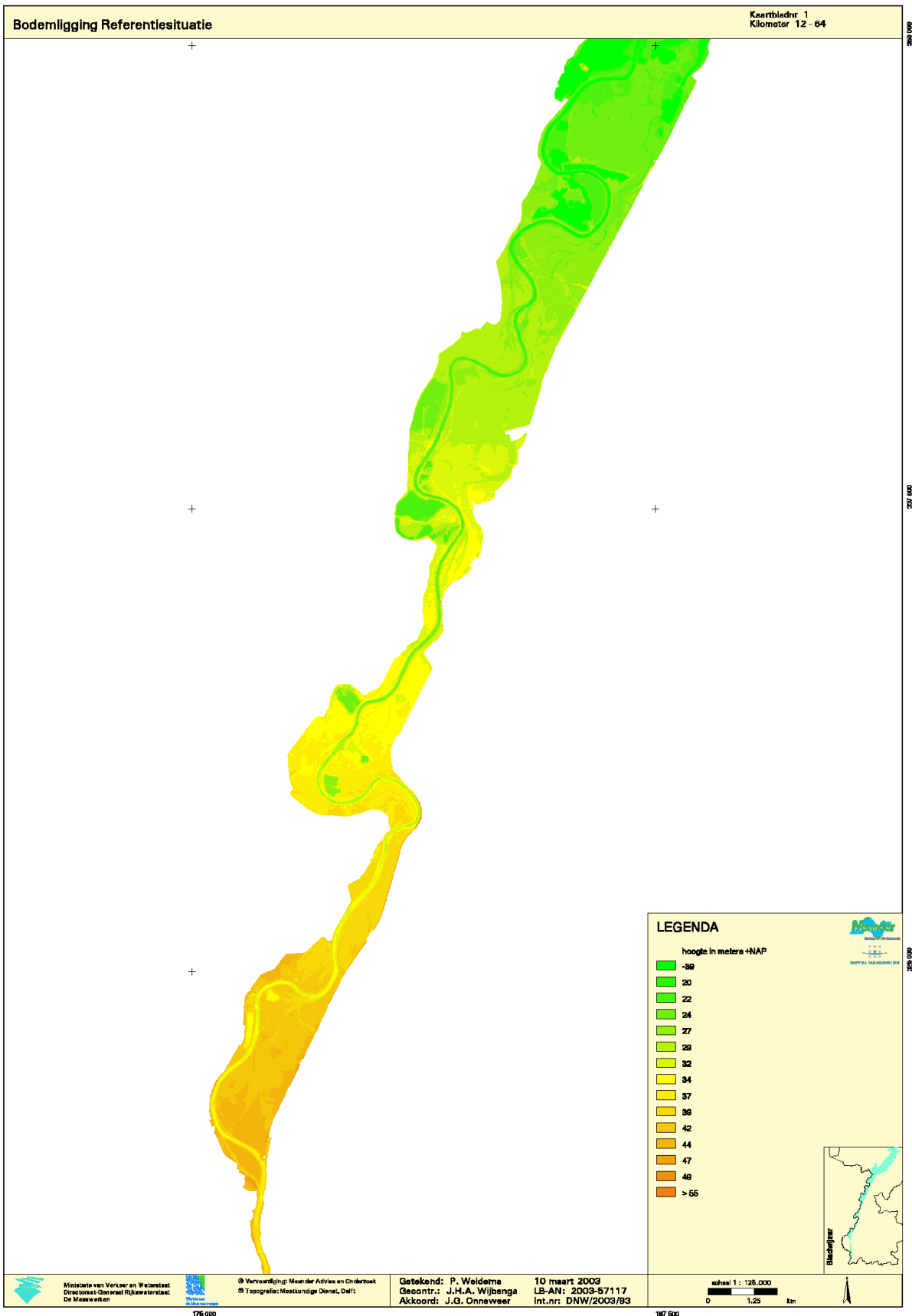
### **1.4 Afbakening van het rivierkundig onderzoek**

Het onderzoek richt zich in het bijzonder op de hydraulische effecten van ingrepen in het Grensmaasgebied, zie Figuur 1-1. De hydraulische effecten zullen niet alleen in het dit gebied zelf worden aangegeven maar ook boven- en benedenstrooms van de Grensmaas. In rivierkundige termen start het Grensmaasgebied bij het bovenstroomse punt van de Bosscherveld (rkm 14,6) en eindigt het gebied bij Roosteren (rkm 56). De beken in het gebied maken deel uit van de modellen, tezamen met onttrekkingen als het Julianakanaal, de Zuid-Willemsvaart en de lozing DSM. Met het eventuele effect van terugstuwning van Maaswater en/of lokkering van de afvoer van zijbeken tijdens hoogwater wordt geen rekening gehouden. De effecten op de stuw Borgharen en het eiland en de overlaat Bosscherveld vereisen speciale aandacht vanwege de mogelijke wijziging van de hydraulische condities voor deze werken en daarmee verband houdende aanpassingen.

Voor een goede effectbeschrijving is degelijk basismateriaal nodig. Gelet op de beschikbare gegevens en modellen is gekozen voor de situatie van 1995 als Referentiesituatie. Er zijn verschillende redenen om juist voor 1995 als Referentiesituatie te kiezen en niet voor bijvoorbeeld 1998 of 2000. Afwegingen zijn geweest:

- In 1995 zijn metingen uitgevoerd aan de bodemhoogte in het zomer- en winterbed en deze gegevens zijn gebruikt om het model te vullen;
- De kaden en overlaten (inclusief de DGR-kaden, de kaden aangelegd na het hoogwater van 1995 in het kader van het Deltaplan Grote Rivieren) zijn in 1995 en 1996 nauwkeurig ingemeten;
- Voor deze situatie is een door RIZA gevalideerd en gekalibreerd WAQUA-model beschikbaar;
- De situatie van 1995 is nog steeds een redelijke weergave van de huidige situatie behoudens enkele nieuwe afgravingen.

De effecten van de Vlaamse Boertienlocaties (Hochter Bampd, Herbricht en Kotem) zullen worden meegenomen in twee ontwerpen: het Meest Milieuvriendelijk Alternatief en een variant van het Voorkeursalternatief 2003 inclusief deze drie ingrepen.



Figuur 1-1 Bodemligging van de Grensmaas

Voor de effecten van andere Vlaamse ingrepen tezamen met de Nederlandse ingrepen wordt een aparte studie uitgevoerd: het Cumulatieve Onderzoek.

De randvoorwaarden die in dit onderzoek worden gebruikt (zie Paragraaf 2.2.3) worden eens in de vijf jaar door RIZA vastgesteld op basis van de toepassing van de Wet op de Waterkering. De laatste toepassing van deze wet heeft plaatsgevonden in 2001 (RIZA, 2001) waarin voor de ontwerp hoogwatergolven de hoogwaters tot en met 1999 zijn verwerkt. Dit betekent dat de hoogwaters van 2000, 2001 en het laatste hoogwater van januari 2003 niet meegenomen zijn bij de vaststelling van de ontwerp hoogwatergolven.

## 1.5 Beschrijving alternatieven/ontwerpen

De berekeningen met de WAQUA-modellen zijn uitgevoerd voor de volgende alternatieven en ontwerpen:

- Referentiesituatie in 1993 voor aanleg DGR-kaden (afgekort: V93 of V93\_3)
- Referentiesituatie in 1995 na aanleg DGR-kaden (afgekort: R95 of Ref95\_3)
- Nul-Alternatief (afgekort: AO)
- Voorkeursalternatief 2003 (afgekort: VKA)
- Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m (afgekort: VKA\_P), maximale benutting bandbreedte bovengrens
- Voorkeursalternatief 2003 – 0,5 m (afgekort: VKA\_M) , maximale benutting bandbreedte ondergrens
- Meest Milieuvriendelijk Alternatief (afgekort: MMA)
- Voorkeursalternatief 2003 gecombineerd met ingrepen op drie Vlaamse Locaties (afgekort: VKA\_VL)

De 'bandbreedte' is hier gedefinieerd als de ruimte die beschikbaar is om, binnen de vastgestelde grenzen, een optimalisatie van het ontwerp te kunnen maken. Om een indruk te krijgen van het effect van een hoger of lager ontgravingsdiepte zijn twee ontwerpen gemaakt waarbij de boven- als de ondergrens in de bandbreedte gebruikt zijn als ontgravingsdiepte.

De WAQUA-modellen V93\_3 en Ref95\_3 zijn gemaakt door RIZA, alle andere WAQUA-modellen zijn gemaakt in opdracht van De Maaswerken. V93\_3 is een weergave van de situatie in en langs de Maas ten tijde van het hoogwater in december 1993, dus nog voor aanleg van de DGR-kaden. Model Ref95\_3 is een weergave van de situatie na aanleg van de DGR-kaden en uitvoering van de compenserende maatregelen, dus eind 1995, begin 1996. De aanleg van de DGR-kaden verhoogde het beschermingsniveau langs de Maas van 1/10 per jaar naar circa 1/50 per jaar.

Het WAQUA-model AO is een weergave van de autonome situatie in 2017, dus zonder uitvoering van Maaswerken ingrepen. Verschillen ten opzichte van de situatie in 1995 betreffen onder andere grindwinning (bijvoorbeeld het Stevol-project aan Nederlandse zijde of de ingrepen in de Bichterweert aan Vlaamse zijde) en natuurontwikkeling (het WML-project bij Roosteren). Opgemerkt wordt dat Proefproject Meers **géén** deel uitmaakt van de AO. Verder zal het beschermingsniveau langs de Maas nog steeds circa 1/50 per jaar zijn. Een meer volledige beschrijving van de AO en de berekeningsresultaten staat in Hoofdstuk 5.

De modellen VKA, VKA\_P en VKA\_M beschrijven de situatie in 2015, waarbij de ingrepen uit het Voorkeursalternatief 2003 wel zijn uitgevoerd. De modellen bevatten de veranderingen zoals die

Tabel 1-2 Hydraulische modellen MER Grensmaas 2003

Alternatief	Ontwerp-optie	Omschrijving	Hoofdstuk	Afkorting
Referentiesituaties 1993/1995	-	Weergave van de situatie in 1993 / 1995 (na aanleg DGR-kaden)	4	V93/R95
Autonome ontwikkeling	-	Geen uitvoering van Eindplan Grensmaas, wel autonome ontwikkelingen	5	AO
Voorkeursalternatief	-	Eindplan Grensmaas inclusief proefproject Meers, ingrepen op twaalf locaties	6	VKA
Voorkeursalternatief	Verhoging ontgravingsdiepte	Voorkeursalternatief met op zeven ingreeplocaties de ontgravingsdiepte met 0,5 m verhoogd	7	VKA_P
Voorkeursalternatief	Verlaging ontgravingsdiepte	Voorkeursalternatief met op negen ingreeplocaties de ontgravingsdiepte met 0,5 m verlaagd	8	VKA_M
Meest Milieuvriendelijk Alternatief	-	Aanpassing van Voorkeursalternatief, meer rivierverruiming en natuurontwikkeling	9	MMA
Voorkeursalternatief	Vlaamse locaties	Voorkeursalternatief met hieraan toegevoegd de drie Vlaamse Boertienlocaties Hochter Bampd, Herbricht en Kotem	10	VKA_VL

ook in de AO zaten, proefproject Meers, de twaalf ingrepen van het Voorkeursalternatief 2003 en (waar nodig) aanpassingen van de kadehoogtes. Het beoogde beschermingsniveau in deze varianten is tenminste 1/250 per jaar. Volledige beschrijvingen van het VKA, VKA\_P en VKA\_M en de berekeningsresultaten staan in Hoofdstukken 6, 7 en 8.

Het MMA-model is een combinatie van ingrepen uit het Voorkeursalternatief 2003 en ingrepen uit het Voorlopig Ontwerp (VO). Het VO is een verdere uitwerking van het VKA uit 1998 en is in 2000 door De Maaswerken vastgesteld (Maaswerken, 2000a). De belangrijkste verschillen tussen het VKA en het VO zitten in de breedte van de ingrepen die in het VKA kleiner is dan in het VO. Het betreft hier de ingrepen Aan de Maas, Urmond, Nattenhoven, Grevenbicht en Koeweide. Verder maken de ingrepen van de Vlaamse Boertienlocaties Hochter Bampd, Herbricht en Kotem deel uit van het MMA. Het beoogde beschermingsniveau in deze variant is tenminste 1/250 per jaar. Een volledige beschrijving van het MMA en de berekeningsresultaten staat in Hoofdstuk 9.

Het model VKA\_VL is een variant van het Voorkeursalternatief 2003 waaraan de ingrepen van de Vlaamse Boertienlocaties Hochter Bampd, Herbricht en Kotem zijn toegevoegd. Andere Vlaamse ingrepen zitten niet in dit model. Het beoogde beschermingsniveau in deze variant is 1/250 per jaar. Een volledige beschrijving van het VKA\_VL en de berekeningsresultaten staat in Hoofdstuk 10.

## 1.6 Relaties met andere deelonderzoeken

Het Rivierkundig Onderzoek vormt een belangrijk deel van de MER Grensmaas. Andere onderzoeken als Grondwater, Ecologie en Waterkwaliteit zijn (deels) afhankelijk van de resultaten van het rivierkundig onderzoek. Zo maakt het deelonderzoek Grondwater gebruik van WAQUA-resultaten voor situaties waarbij de afvoer varieert van laag (40 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen) tot gematigd (975 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen). De met WAQUA berekende waterstanden in de rivier dienen als randvoorwaarden voor de verschillende grondwatermodellen. Ecologie en Waterkwaliteit bestrijkt een groter bereik van afvoeren, variërend van 10 m<sup>3</sup>/s tot 3800 m<sup>3</sup>/s. Belangrijke aspecten betreffen verblijftijden van het water in de Maas (met name in situaties met lage afvoeren), overstromingsduren en het overstroomde gebied tijdens een hoogwater.

## 1.7 Leeswijzer

De opbouw van dit rapport is als volgt. In Hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de gevolgde methode waarmee de hydraulische effecten van de verschillende MER-alternatieven en ontwerpen worden onderzocht. In Hoofdstuk 3 wordt kort ingegaan op het toetsingskader en de criteria waarop de MER-alternatieven onderling worden vergeleken. Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de Referentiesituatie van de Maas, zowel 'in het veld' als de manier waarop de Referentiesituatie in WAQUA-model is gemodelleerd. Vervolgens worden de verschillende MER-alternatieven en ontwerpen beschreven. De autonome ontwikkeling wordt beschreven in Hoofdstuk 5, waarna in Hoofdstukken 6 tot en met 10 het Voorkeursalternatief 2003 en de verschillende alternatieven en ontwerpen van het Voorkeursalternatief 2003 worden beschreven. Hoofdstuk 11 geeft tenslotte een samenvatting van de belangrijkste conclusies.

Dit rapport bevat enkel de resultaten die voor de MER 2003 van belang zijn. In (Agtersloot, 2003) wordt meer in detail ingegaan op alle uitgevoerde berekeningen en de resultaten daarvan en worden kleurfiguren gepresenteerd en besproken.





*Foto 2-1 Wateroverlast langs de Maas*



*Foto 2-2 Natuur langs de Maas*

## 2 Methodiek en gegevensbronnen

### 2.1 Algemeen

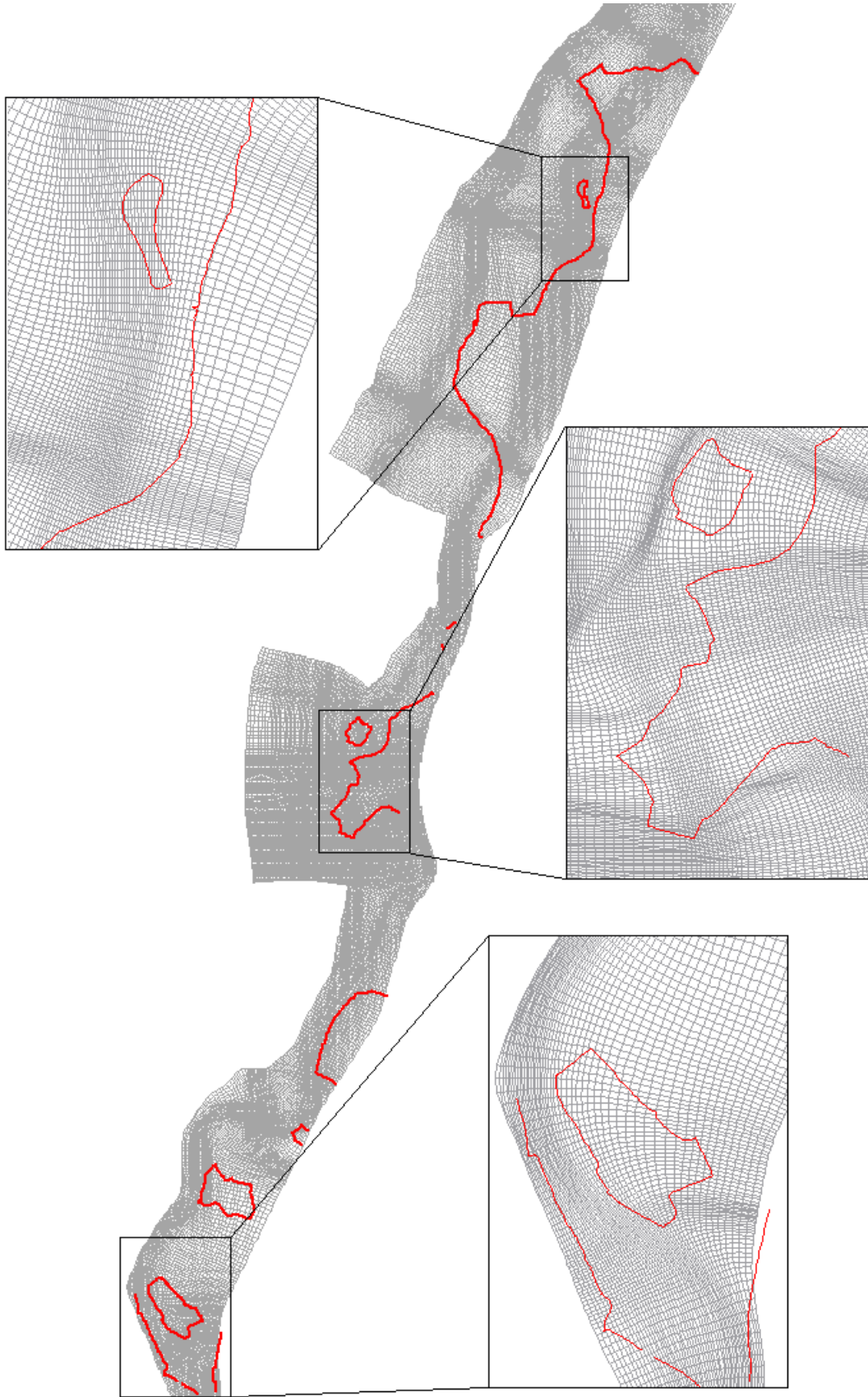
Het beantwoorden van de vragen zoals gesteld in Tabel 1-1 vereist een combinatie van hydraulisch en morfologisch onderzoek. In overleg met de opdrachtgever is besloten om te kiezen voor een aanpak in drie fasen.

De eerste fase betreft het uitvoeren van hydraulische berekeningen. Deze berekeningen zijn niet alleen van belang bij het bepalen van de effecten van de ingrepen, maar worden ook gebruikt voor het vaststellen van het bereikte beschermingsniveau, de mate van noodzakelijke kade-aanpassingen en de boven- en benedenstroomse effecten. De hoofdpunten van het hydraulisch onderzoek worden beschreven in het voorliggende rapport, de volledige resultaten inclusief alle figuren zijn beschikbaar in (Agtersloot, 2003).

De tweede fase is een morfologische bureaustudie waarin, op basis van de resultaten van de hydraulische berekeningen, een analyse wordt gemaakt van de te verwachten morfologische effecten. Er wordt onder andere onderzoek verricht naar de gebieden die gevoelig zijn voor erosie of voor sedimentatie, het risico van erosie van de monding van beken en de risico's op verplaatsing van de Thalweg. De hydraulische resultaten, waarvan in de bureaustudie gebruik is gemaakt, betreffen die bij een constante afvoer van 2710 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen. Dit onderzoek staat beschreven in (Akkerman, 2003).

In de derde fase worden morfologische berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen zijn ondersteunend en aanvullend aan de resultaten die zijn bepaald in de morfologische bureaustudie. Dit onderzoek wordt uitgevoerd met SOBEK-Graded, een door RIZA en WL | Delft Hydraulics ontwikkeld model voor het uitvoeren van studies naar het morfologisch gedrag van rivieren met gegradeerd bodemmateriaal. De resultaten van deze studie moeten een beter inzicht geven in bijvoorbeeld de risico's van sedimentatie van de nevengeulen en de weerdverlagingen en ongewenste erosie, met name in de flessenhalzen. Ook het morfologisch model is afhankelijk van de hydraulische resultaten. Zo dienen de WAQUA-resultaten van een 1/50 hoogwatergolf als basis voor de morfologische modellen. Verder is de hydraulische kalibratie van de morfologische modellen gebaseerd op WAQUA-resultaten. Tenslotte worden de resultaten van de morfologische ontwikkeling in het Voorkeursalternatief 2003 na 100 jaar gebruikt om een WAQUA-model te maken waarmee de hydraulische consequenties van de morfologische ontwikkelingen inzichtelijk worden gemaakt. Het morfologisch onderzoek staat beschreven in (Meijer, 2003).

De volgende paragrafen van dit hoofdstuk geven achtergrond informatie over het uitgevoerde hydraulisch onderzoek. In Paragraaf 2.2 worden ingegaan op het gebruikte rekenmodel, het rekenplatform waarop de berekeningen zijn uitgevoerd, de gebruikte randvoorwaarden en de nauwkeurigheden van de berekeningen. Paragraaf 2.3 geeft een overzicht van alle berekeningen die in het kader van het hydraulisch onderzoek zijn uitgevoerd.



*Figuur 2-1 Het WAQUA-rekenrooster van de Grensmaas*

## 2.2 Hydraulisch onderzoek

### 2.2.1 Rekenmodel

Het hydraulisch onderzoek wordt uitgevoerd met WAQUA, een door Rijkswaterstaat ontwikkeld numeriek model voor 2-dimensionale (dieptegemiddelde) waterbewegingsvraagstukken. De dynamische WAQUA-berekeningen voor hoogwatergolven geven, naast waterstanden en snelheden, ook inzicht in de (veranderingen van) looptijden van hoogwatergolven. De nauwkeurigheid van de WAQUA-resultaten is voor de absolute waterstanden in de orde van twee decimeter. De effecten van de ingrepen worden met een grotere nauwkeurigheid beschreven in de orde van enkele centimeters. Op de nauwkeurigheid van WAQUA wordt nader ingegaan in Paragraaf 0. Voor een volledige beschrijving van WAQUA wordt verwezen naar (MX.Systems, 2002),.

De te gebruiken WAQUA-modellen V93\_3 en Ref95\_3 zijn beschikbaar gesteld door RIZA (RIZA, 2002). De modellen beschrijven de Maas tussen Eijsden (rkm 2,56) en Keizersveer (rkm 247). Kalibratie van deze modellen is gedaan op het hoogwater van 1995 en daarna gevalideerd op het hoogwater van 1993. Het rekenrooster, waarmee de berekeningen worden uitgevoerd, wordt getoond in Figuur 2-1 voor de Grensmaas.

Het WAQUA-model moet van de juiste gegevens (bodempligging, landgebruik, overlaten etc.) worden voorzien om tot zinvolle resultaten te kunnen komen. De meeste gegevens zijn tegenwoordig beschikbaar in Geografische Informatiesystemen (GIS) en voor de conversie van GIS-gegevens naar WAQUA is door RIZA een applicatie ontwikkeld. Deze applicatie heet BASELINE en is ook gebruikt om de SOBEK-modellen met dezelfde gegevens te kunnen vullen. De in dit project gebruikte versie van Baseline was 3.0 en staat beschreven in het Protocol Basisbestanden (Van der Meulen, 1998).

Met alle WAQUA-modellen zijn voor vijftien constante afvoeren (variërend van 5 tot 3800 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen) berekeningen uitgevoerd. Voor de bepaling van de benedenstroomse effecten van de verschillen de MER-varianten zijn ook vier dynamische berekeningen uitgevoerd. Het betrof hier hoogwatergolven met een kans van voorkomen van respectievelijk 1/50, 1/115, 1/250 en 1/1250 per jaar. De bijbehorende maximale afvoeren bij Borgharen zijn respectievelijk 2710, 3000, 3275 en 3800 m<sup>3</sup>/s. Voor een volledig overzicht van de gebruikte randvoorwaarden wordt verwezen naar Paragraaf 2.2.3 en Bijlage 1. De randvoorwaarden voor de hoogwatergolven zijn toegeleverd door RIZA en zijn afkomstig uit het Randvoorwaardenboek 2001 (Rijkswaterstaat, 2001).

De resultaten worden in dit rapport gepresenteerd per rivierkilometer. Dit geeft een goede globale indruk van de resultaten maar maakt het ook mogelijk dat er lokale effecten zijn die niet worden weergegeven. Een voorbeeld zijn de grafieken met de maximale snelheden. Deze snelheden komen in deze grafieken bijna nergens boven de 4,5 m/s, terwijl er in de rivier kleine gebieden zijn waar snelheden tot ongeveer 5,0 m/s optreden. Dit betekent niet dat de grafieken onjuiste informatie bevatten maar dat er slechts een deel van de informatie gepresenteerd wordt. In (Agtersloot, 2003) zijn de 2D-figuren met de volledige informatie wel aanwezig.



Figuur 2-2 Een ecotopenkaart van de Grensmaas

## 2.2.2 Validatie rekenplatform

Het rekenplatform waarop alle berekeningen zijn uitgevoerd is het Linux-cluster van Royal Haskoning. In overleg met De Maaswerken is een referentieberekening vastgesteld, waarna moest worden aangetoond dat de resultaten van het Linux-cluster met een acceptabele nauwkeurigheid die van de referentieberekening konden reproduceren. Dit bleek inderdaad het geval te zijn. Het memo waarin deze validatie wordt beschreven is in Bijlage 2 bijgevoegd.

## 2.2.3 Gebruikte gegevens

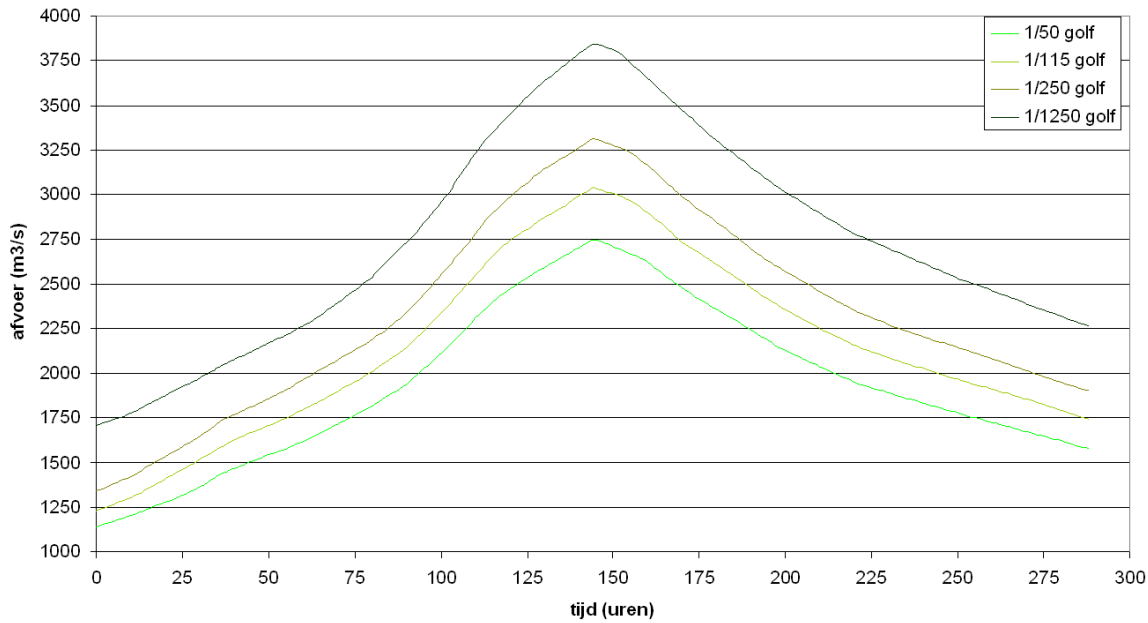
### Ruwheden

In een WAQUA-model nemen de ruwheden een belangrijke rol in. Ruwheden zijn een (wiskundige) benadering van het verschijnsel dat verschillende soorten ecotopen (bijvoorbeeld gras en bomen) bij verschillende waterstanden verschillende effecten op het stroombeeld hebben. Zo neemt de ruwheid van gras af bij toenemende waterstanden, terwijl de ruwheid van een boom met bladeren juist toeneemt zodra de waterstand de kruin bereikt. Ook is de stroming over gras anders dan de stroming door ruigte en struweel. Dit geeft aan dat een goede modellering van ruwheid (zowel in ecotopenbeschrijving als in formulering) noodzakelijk is om tot een goede weergave van het stroombeeld te komen.

Vanwege het belang van de ruwheden voor het stroombeeld is het noodzakelijk dat met name de ecotopen goed in het model zitten. Omdat het gaat om een toekomstige situatie kan niet worden volstaan met de huidige ecotopen maar moet een aanname worden gedaan over het natuurbeeld dat uiteindelijk zal ontstaan na uitvoering van De Maaswerken. Hiervoor is een applicatie ontwikkeld (Lanen e.a., 1999) die, op basis van stroombeeld en waterdiepte bij verschillende afvoeren, een kaart genereert (zie Figuur 2-2) met daarop een mogelijk natuurbeeld. Deze ecotopenkaart wordt vervolgens met BASELINE vertaald naar WAQUA-ruwheden. In Paragraaf 6.5 wordt verder ingegaan op de rol van de ecotopenkaarten en hun invloed op de resultaten.

Een andere belangrijke rol van de ruwheid ligt bij de kalibratie en validatie van het WAQUA-model (zie ook Paragraaf 0). Vervolgens wordt de volgende procedure doorlopen (n.b. Het zomerbed in het WAQUA-model is verdeeld in 27 trajecten):

- 1) ga uit van een initiële ruwheid;
- 2) voer de kalibratie berekening voor het hoogwater van januari 1995 uit;
- 3) vergelijk de gemeten waterstanden met de berekende waterstanden in de controle punten;
- 4) als de berekende waterstanden voldoen aan het kalibratie criterium ga naar 6);
- 5) pas waar nodig per traject de zomerbedruwheden aan en zonodig ook de ruwheid van de ecotopen grasland, ruigte en bos, ga terug naar 2);
- 6) voer de validatie berekening voor het hoogwater van december 1993 uit;
- 7) vergelijk de gemeten waterstanden met de berekende waterstanden in de controle punten;
- 8) als de berekende waterstanden voldoen aan het validatie criterium ga naar 10);
- 9) pas waar nodig per traject de zomerbedruwheden aan en zonodig ook de ruwheid van de ecotopen grasland, ruigte en bos, ga terug naar 2);
- 10) de kalibratie en validatie zijn succesvol beëindigd, bewaar de gevonden ruwheden.



Figuur 2-3 Standaardgolven bij Eijsden

Tabel 2-1 Qh-relatie bij Keizersveer

Afvoer (m <sup>3</sup> /s)	50	100	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	4000
Waterstand (m+NAP)	0,37	0,43	0,58	0,59	0,71	0,89	1,11	1,30	1,51	1,70	1,91	2,11	2,33	2,54	2,75	3,15

Tabel 2-2 Piekafvoer laterale toestromingen in de Grensmaas bij hoogwatergolven

Laterale toestroming	Rivier-kilometer	Max. debiet bij 1/50 golf (m <sup>3</sup> /s)	Max. debiet bij 1/115 golf (m <sup>3</sup> /s)	Max. debiet bij 1/250 golf (m <sup>3</sup> /s)	Max. debiet bij 1/1250 golf (m <sup>3</sup> /s)
Ternaaien	9,50	10,00	10,00	10,00	10,00
Jeker	10,70	6,55	6,55	6,55	6,55
Z-Willemsvaart	14,60	-15,00	-15,00	-15,00	-15,00
Julianakanaal	15,25	-16,00	-16,00	-16,00	-16,00
Geul	22,70	16,60	17,36	18,07	19,49
DSM	37,20	1,00	1,00	1,00	1,00
Diverse	40,00	5,10	5,10	5,10	5,10

Tabel 2-3 Grondwatergedrag Grensmaas bij hoogwatergolven ('-' betekent onttrekking)

Traject (rkm)	Locatie onttrekking (rkm)	Max. onttrekking bij 1/50 golf (m <sup>3</sup> /s)	Max. onttrekking bij 1/115 golf (m <sup>3</sup> /s)	Max. onttrekking bij 1/250 golf (m <sup>3</sup> /s)	Max. onttrekking bij 1/1250 golf (m <sup>3</sup> /s)
2,56-15,00	9,0	-5,64	-5,84	-5,36	-6,16
15,00-29,00	23,0	-10,18	-11,15	-9,90	-8,96
29,00-44,00	37,0	-9,68	-10,36	-7,77	-8,60
44,00-61,00	49,5	-11,14	-12,01	-10,44	-9,69

## Randvoorwaarden

Het gebruikte WAQUA-model kent vier typen randen waarop randvoorwaarden moeten worden voorgeschreven. Het betreft hier een *instroomrand*, een *uitstroomrand*, *laterale debieten* en *grondwater*.

De instroomrand ligt bij Eijsden waar een afvoer wordt opgelegd. Hierbij kan de afvoer constant zijn (bijvoorbeeld voor de laagwater berekeningen) of variëren in de tijd (bijvoorbeeld voor de hoogwatergolven). Een voorbeeld van de vier gebruikte afvoergolven staat in Figuur 2-3. Ten gevolge van piekvervlakking op het traject Eijsden – Borgharen en een netto onttrekking van 15 m<sup>3</sup>/s op dit traject (zie Tabel 2-2) ligt de piekafvoer bij Eijsden ongeveer 30 m<sup>3</sup>/s hoger dan de piekafvoer bij Borgharen.

De uitstroomrand ligt bij Keizersveer en hier geldt een Qh-relatie, waarbij bij iedere afvoer (gemeten door de uitstroomrand) een waterstand hoort. De in dit onderzoek gebruikte Qh-relatie staat in Tabel 2-1 en is eveneens afkomstig uit het Randvoorwaardenboek 2001 (Rijkswaterstaat, 2001).

In de Grensmaas worden zeven verschillende laterale toestromingen relevant verondersteld. Zes hiervan zijn onafhankelijk van de afvoer bij Borgharen verondersteld (Sluis Ternaaien, Jeker, Zuid-Willemsvaart, Juliana-kanaal, DSM en een combinatie van verschillende lateralen ter hoogte van rkm 46) terwijl de laatste laterale afvoer (Geul) wel varieert met de afvoer bij Borgharen. In Tabel 2-2 staat een overzicht van de laterale toestromingen zoals deze in het Grensmaasdeel van het WAQUA-model voorkomen en (voor de vier gebruikte hoogwatergolven) de maximale afvoer. Een positief getal betekent een lozing, een negatief getal een onttrekking. Voor de permanenties staan deze gegevens in Bijlage 2.

De laatste randvoorwaarden die opgelegd moeten worden betreffen het grondwater. Tijdens het passeren van een hoogwatergolf wordt in eerste instantie Maaswater geborgen in het grondwater door de hogere waterstanden van de Maas en de porositeit van de bedding. Zodra deze waterstanden afnemen zal het grondwater weer af gaan stromen in de Maas. Dit dynamisch gedrag wordt niet berekend door WAQUA. Daarom is gekozen voor een benadering waarbij met behulp van SOBEK (waar wel een grondwatermodule inzit) twee berekeningen uit te voeren; één met grondwater en één zonder grondwater. Vervolgens wordt de Maas verdeeld in trajecten en wordt per traject bepaald wat het verschil in afvoeren is. Dit verschil moet worden veroorzaakt door het grondwater. Dit effect wordt vervolgens als een laterale toestroming/onttrekking in WAQUA gemodelleerd. De verschillende grondwatertrajecten zoals gebruikt in dit WAQUA-model staan in Tabel 2-3 tezamen met de optredende maximale toestroming/onttrekking.

### 2.2.4 Methodiek per MER-alternatief/ontwerp

Hier wordt slechts de algemene aanpak beschreven. Bij de beschrijving van de te bestuderen situaties (Hoofdstukken 4, 5, 6, 7, 8) worden specifieke details gegeven.

Voor ieder MER-alternatief/ontwerp is in ArcInfo een modelschematisatie gemaakt van de geometrie, de ecotopen etc. Met behulp van BASELINE (zie Paragraaf 2.2.1) is vervolgens het WAQUA-model met deze gegevens gevuld. Met dit WAQUA-model zijn de berekeningen uitgevoerd die gebruikt worden om de ecotopenkaarten te maken. Nadat de ecotopenkaarten zijn gemaakt zijn deze met behulp van BASELINE omgezet naar WAQUA-ruwheden. Hiermee is de WAQUA-schematisatie geschikt om de verschillende berekeningen mee uit te voeren.



Tabel 2-4 Overzicht uitgevoerde WAQUA-berekeningen

Perm. (m <sup>3</sup> /s)	Doel van de simulatie	WAQUA-model							
		V93_3	Ref95_3	AO	VKA	VKA_P	VKA_M	MMA	VKA_VL
5	Ecologie		X	X	X	X	X	X	X
10	Tractaat België		X	X	X	X	X	X	X
40	Grondwater		X	X	X	X	X	X	X
60	Ecotopen		X	X	X	X	X	X	X
100	Grondwater		X	X	X	X	X	X	X
140	Ecotopen		X	X	X	X	X	X	X
200	Grondwater/ecologie		X	X	X	X	X	X	X
300	Grondwater		X	X	X	X	X	X	X
500	Grondwater		X	X	X	X	X	X	X
975	Ecotopen/ecologie		X	X	X	X	X		
1250	Initiële condities	X	X	X	X	X	X	X	X
1700	Initiële condities	X	X	X	X	X	X	X	X
1920	Ecotopen		X	X	X	X	X		
2710	Morfologie/ecologie		X	X	X	X	X		
3800	Morfologie/ecologie		X	X	X	X	X		

Golf (1/jaar)	Doel van de simulatie	V93_3	Ref95_3	AO	VKA	VKA_P	VKA_M	MMA	VKA_VL
50	Bovenstroomse effecten	X	X	X	X	X	X	X	X
115	Waterstand Belgische kaden	X	X	X	X	X	X	X	X
250	Veiligheidsniveau	X	X	X	X	X	X	X	X
1250	Wbr, benedenstroomse effecten	X	X	X	X	X	X	X	X

Diverse (1/jaar)	Doel van de simulatie	V93_3	Ref95_3	AO	VKA	VKA_P	VKA_M	MMA	VKA_VL
250	Effect natuurontwikkeling				X				
1250	Effect natuurontwikkeling				X				
250	Effect ringdijk Itteren			X					
1250	Effect ringdijk Itteren			X					

De resultaten (maximale waterstanden en snelheden, overstroomde gebieden, aan te passen kades etc.) zijn vervolgens gebruikt om de verschillende alternatieven/ontwerpen met elkaar te kunnen vergelijken.

### 2.2.5 Evaluatie van de nauwkeurigheid van de voorspelling

Bij het vaststellen van de nauwkeurigheid van de berekeningen die met een WAQUA-model worden gedaan moet onderscheid worden gemaakt in verschillende types onnauwkeurigheid. In Bijlage 3 staat een overzicht van de stappen die moeten worden gezet om een fysisch proces (bijvoorbeeld waterbeweging) eerst wiskundig te beschrijven (middels differentiaal vergelijkingen) en hoe deze vergelijkingen vervolgens moeten worden opgelost (middels numerieke modellen). Elk van deze stappen kent zijn eigen aannames en vereenvoudigingen en zal dus kunnen leiden tot een verminderde nauwkeurigheid. In deze paragraaf wordt enkel gekeken naar de nauwkeurigheid van de laatste stap, het numerieke model.

Als wordt gekeken naar de nauwkeurigheid van het WAQUA-model moet onderscheid worden gemaakt tussen de berekende absolute waterstanden (hoe hoog komt het water maximaal bij de stuw Borgharen tijdens een 1/250 hoogwatergolf?) en de relatieve waterstanden (wat is het effect op de waterstanden van de verbreding in de Koeweide?).

De nauwkeurigheid van de absolute voorspellingen die met het WAQUA-model worden gedaan worden grotendeels bepaald door de uitgevoerde kalibratie en validatie van het referentiemodel. Deze kalibratie staat beschreven in (RIZA, 2002) en leidt tot de volgende conclusies. Met het model 'C95' is het WAQUA-model gekalibreerd op het hoogwater van januari 1995. Door aanpassingen van de zomerbedruwheden konden de gemeten waterstanden in de MSW-stations met een nauwkeurigheid van 0,10 m worden gereproduceerd met uitzondering van de MSW-stations bij Heel en Stevensweert. Hier was de nauwkeurigheid 0,20 m. Met dezelfde numerieke instellingen en een iets gewijzigd model 'V93' is vervolgens het hoogwater van december 1993 gebruikt als validatie. De gemeten waterstanden van dit hoogwater bleken binnen een nauwkeurigheid van 0,20 m te kunnen worden gereproduceerd.

De mate waarin de effecten van de ingrepen goed worden weergegeven wordt grotendeels bepaald door de wijze waarop een ingreep gemodelleerd kan worden in het WAQUA-model. Een ingreep die qua afmetingen te klein is om in het WAQUA-model zichtbaar te worden zal nooit tot een meetbaar effect kunnen leiden. Een vuistregel is dat een ingreep minstens drie rooster-cellen in beide richtingen moet bevatten om met voldoende nauwkeurigheid de ingreep (en dus ook de effecten van de ingreep) te kunnen weergeven. De dichtheid van het WAQUA-reken-rooster is dusdanig hoog dat (met uitzondering van de Elba nevengeul) alle ingrepen aan deze vuistregel voldoen. Voor de effecten van deze ingrepen geldt vervolgens dat ze met een nauwkeurigheid van enkele centimeters door WAQUA worden berekend.

## 2.3 Overzicht gemaakte berekeningen

In Tabel 2-4 staat een overzicht van alle uitgevoerde WAQUA-berekeningen en het doel van de betreffende berekening. De gebruikte codes staan uitgelegd in Paragraaf 1.5.



*Foto 2-3 De stuw bij Borgharen*

## 3 Toetsingskader

### 3.1 Inleiding

Het Grensmaasproject is erop gericht om, naast grindwinning en waterstandsdeling, meer natuurontwikkeling en dynamiek in het gebied te realiseren: rijkere flora en fauna, meer variatie in het landschap, zand- en grindbanken in de rivier, nevengeulen, afwisselende bossages etc. De toetsen voor de rivierkundige effecten moeten hierop betrekking hebben.

De beoordeling van de rivierkundige effecten is hierna geconcretiseerd volgens de volgende rubrieken:

- veiligheid en bescherming bij hoogwater;
- stroombeeld.

### 3.2 Toetsingscriteria

#### Veiligheid en bescherming bij hoogwater

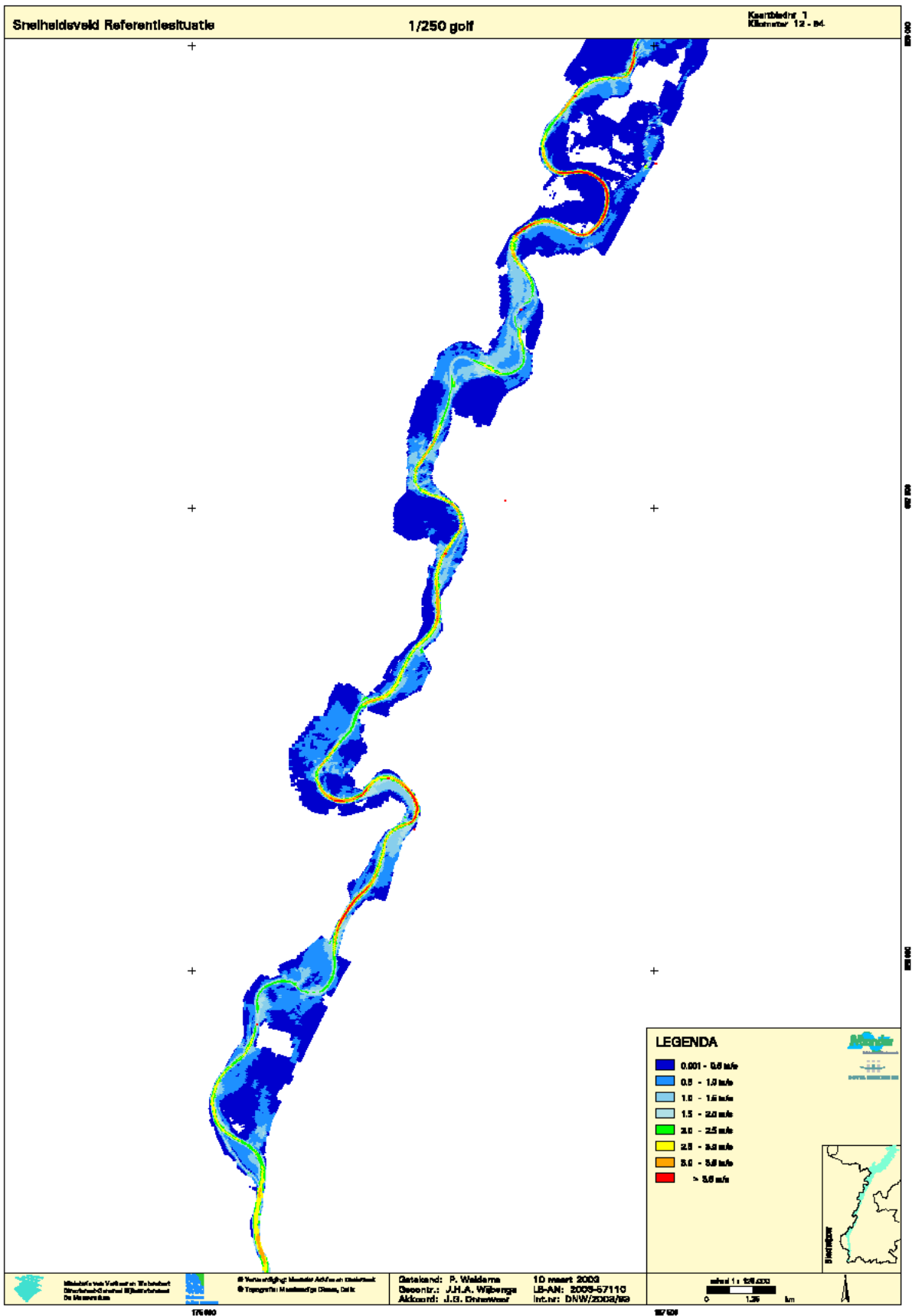
Relevante toetsingen betreffen de bescherming van have en goed, zowel direct na uitvoering van het Voorkeursalternatief 2003 als na 100 jaar morfologische ontwikkelingen.

Voor de bescherming van have en goed zijn vanuit rivierkundig oogmerk relevante toetsingen:

- de waterstanden bij de 1/250 hoogwatergolf in de verschillende alternatieven en ontwerpen moeten onder die van de situatie in 1995 ná aanleg van de DGR-kaden liggen;
- de waterstanden bij de 1/1250 hoogwatergolf in de verschillende alternatieven en ontwerpen moeten onder die van de situatie in 1993 (dus vóór aanleg van de DGR-kaden) liggen;
- de lengtes waarover de kaden moeten worden aangepast om een 1/250 beschermingsniveau te verkrijgen;
- veranderingen in de looptijd van de hoogwatergolf, met name van belang voor het gebied benedenstrooms van de Grensmaas;
- de verschillende ontwerpen en alternatieven mogen noch bovenstrooms van de Grensmaas, noch in de Grensmaas zelf, noch benedenstrooms van de Grensmaas leiden tot een ontoelaatbaar hogere snelheden of waterstanden.

#### Stroombeeld

- de mate van verandering van de stroomsnelheid en de waterdiepte bij lage afvoeren;
- de verandering in overstroomd oppervlakte en overstromingsduren, zowel bij hoge als lage afvoeren.



Figuur 3-1 Snelheidsveld Referentiesituatie, 1/250 hoogwatergolf

## 4 Huidige toestand van het riviersysteem

### 4.1 De geometrie

Het Grensmaasgebied begint bovenstrooms van de stuw Borgharen (circa rkm 14,6) en eindigt bij Roosteren (circa rkm 56). De bestaande toestand betreft een rivier zoals die reeds vele jaren aanwezig is: een vrij smal, diepliggend en nagenoeg enkelvoudig zomerbed die door het winterbed meandert, zie Figuur 1-1. De thalweg vertoont slechts minimale verplaatsingen en heeft in het overgrote deel van het gebied al vele jaren een stabiele ligging.

De Maas werd in de periode 1850-1880 vernauwd door middel van het verdedigen van oevers en het bouwen van kribben (De Maaswerken, 1998b). Sindsdien heeft een sterke aanslibbing van het winterbed plaatsgevonden en is het zomerbed een aantal meters dieper ingesneden. Dit laatste is vooral ook een gevolg van grindwinning dit tot de jaren '60 in het zomerbed heeft plaatsgevonden. Van een rivier met een geleidelijk verloop van het zomerbed naar het hoger gelegen winterbed is geen sprake meer: er zijn hoogteverschillen in de orde van grootte van 8 tot 10 meter tussen het zomerbed en het winterbed ontstaan.

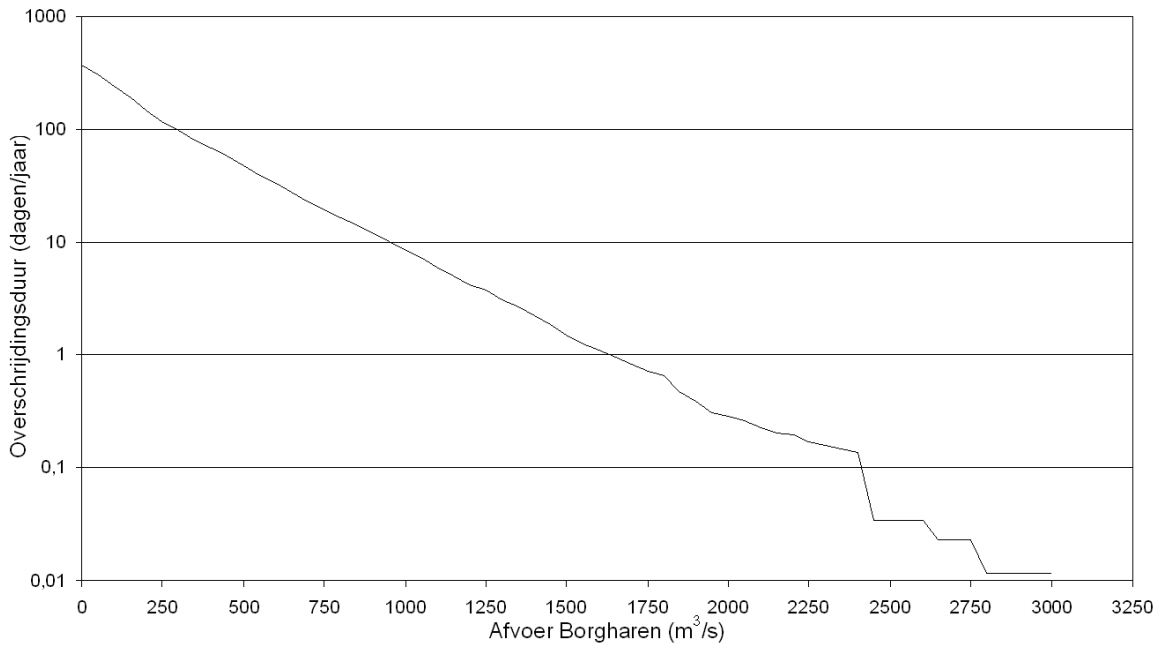
De bedding van de rivier bevat breed gegradeerd materiaal, waarvan de gemiddelde diameter ( $D_{50}$ ) 15 mm is; het bereik beloopt het fijnste materiaal (ca 10  $\mu\text{m}$ ) tot aan zeer grof grind of zelfs stenen (> 100 mm). Het zomerbed is over een groot deel afgedekt met een pleisterlaag en voorts hier en daar bezaaid met grover materiaal dat tijdens het baggeren weer teruggestort werd, meegevoerd werd met ijs uit de Ardennen of dat resteert van al of niet geheel geërodeerde verdedigingen en kribben etc.

Oevererosie langs de Grensmaas wordt tot op heden op veel plaatsen met maatregelen tegengegaan en de oevers zijn dan ook merendeels bekleed, met name de Vlaamse oever. Op een aantal plaatsen treden bij hoge afvoeren hoge stroomsnelheden op in het over de oever stromende water; de oevers werken daarbij als overlagen waarbij erosie van de oever gemakkelijk mogelijk is. Deze situatie komt vooral aan Vlaamse zijde voor; zie bijvoorbeeld Foto 3.1 waarin de erosiegeul in de Kerkeweerd zichtbaar is die is ontstaan na de hoogwaters van 2001 en 2002.

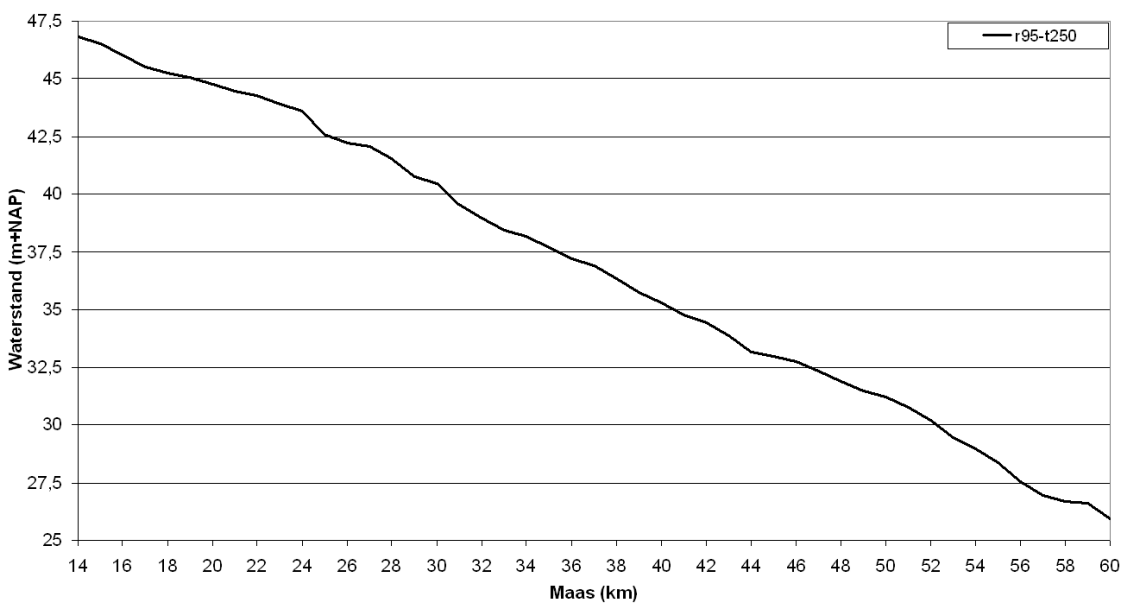
Alhoewel de oevers op bepaalde trajecten ook vrij gelaten worden (met name aan Nederlands zijde), wordt het ontstaan van bochtafsnijdingen in het algemeen niet toegestaan. Het bodemverhang in de Grensmaas is circa 20 m; de hoogte van de thalweg verloopt van NAP+35 m bij Borgharen (rkm 16) tot NAP+17 m bij Roosteren (rkm 56). Het verhang van het winterbed toont eenzelfde verloop (van NAP+45 m tot NAP+27 m).

Het winterbed (de 'weerden') bestaat over het algemeen uit akkers en weilanden met slechts beperkte boombegroeiing. Een tiental dorpen ligt op Nederlands grondgebied in het winterbed. Behalve de oude dorpskernen (die veelal wat hoger liggen) zijn er vaak ook woonwijken op de lager gelegen delen van het winterbed. Na het hoogwater van 1995 zijn kades aangebracht rond deze dorpen. De aan Vlaamse zijde gelegen dorpen worden al veel langer door dijken beschermd.

De rechter begrenzing van het winterbed wordt gevormd door de dijken van het Julianakanaal. De linker begrenzing van het winterbed wordt voornamelijk gevormd door winterdijken die de aan Vlaamse zijde gelegen laagliggende gebieden voor overstroming moeten behoeden.



Figuur 4-1 Gemeten afvoeren bij Borgharen in de periode 1911 - 1998



Figuur 4-2 Waterstanden Referentiesituatie Ref95\_3 bij 1/250 hoogwatergolf

## 4.2 De hydrologie

De Grensmaas is als onderdeel van de Maas een regenrivier met sterke variaties in de afvoeren; circa negen dagen per jaar is de afvoer minder dan  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  terwijl in de winter en het voorjaar piekafvoeren van ongeveer  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  gemeten zijn (hoogwater 1993). De sinds 1911 gemeten afvoeren bij Borgharen staan in Figuur 4-1 en geven een idee van de spreiding in afvoeren (n.b. de verticale as heeft een logaritmische schaalverdeling.). Een afvoer van  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  bij Borgharen wordt altijd overschreden, dus 365 dagen per jaar. De afvoer die 10 dagen per jaar wordt overschreden is circa  $900 \text{ m}^3/\text{s}$ , terwijl een afvoer van circa  $1600 \text{ m}^3/\text{s}$  ongeveer eens per jaar wordt overschreden. De stuw bij Borgharen wordt geopend bij afvoeren groter dan  $1250 \text{ m}^3/\text{s}$  en is gemiddeld vier dagen per jaar volledig geopend.

Een hoogwatergolf duurt gemiddeld één tot enkele dagen en treedt in het algemeen op in de periode 1 november – 1 mei. Het laatste hoogwater van januari 2003 (HW03) was zo'n hoogwatergolf met een gemiddelde duur. Het hoogwater duurde circa vier dagen en had op 4 januari een piekafvoer bij Borgharen van  $2740 \text{ m}^3/\text{s}$ . Deze gemeten piekafvoer komt vrijwel overeen met de statistisch bepaalde piekafvoer van de 1/50 hoogwatergolf (zie Paragraaf 2.2.3). De ontwerp hoogwatergolven duren echter twaalf dagen, terwijl het HW03 slechts vier dagen duurde. Ten opzichte van de 1/50 hoogwatergolf dempte de piekafvoer van het HW03 dus snel uit (het hoogwater 'zakke in'). Hierdoor kwam de piekafvoer bij Venlo overeen met die van een 1/15 hoogwatergolf. Dit geeft aan dat niet alleen de piekafvoer een rol speelt, maar ook de duur van een hoogwatergolf.

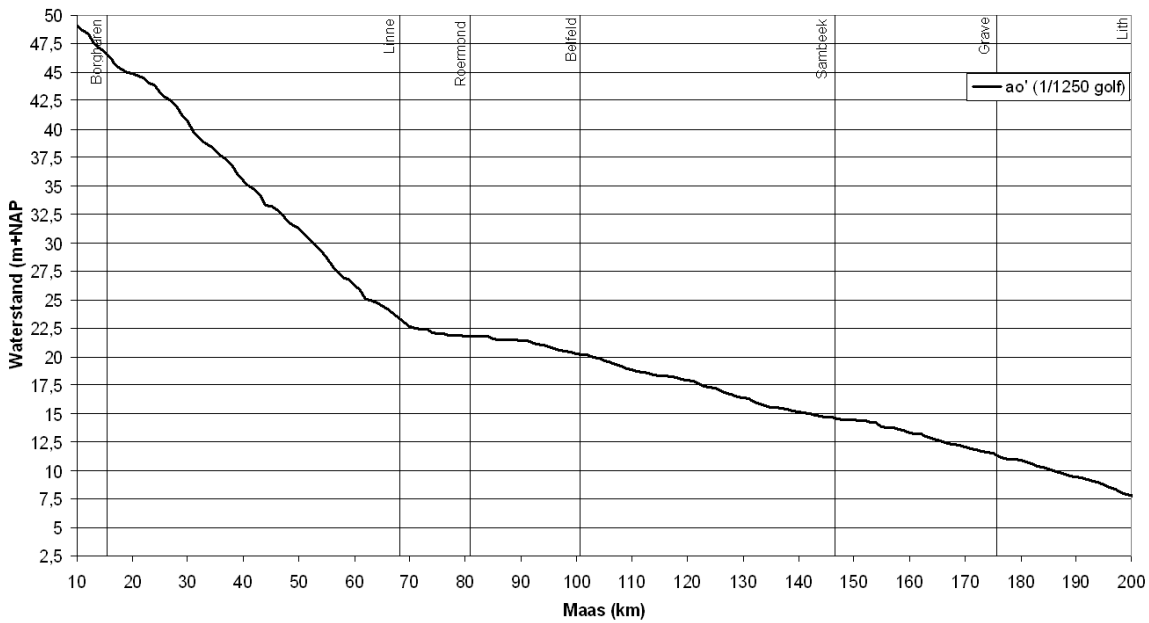
De belangrijkste beek die in de Grensmaas afstroomt is de Geul. Deze geeft een piekafvoer die circa  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  bedraagt, overeenkomend met ongeveer 0,6% van de piekafvoer van de Grensmaas. Het verband tussen de afvoer in de Grensmaas en de verschillende laterale debieten staat beschreven in een notitie van RIZA (Van der Veen, 2000). De beken zijn in hydrologisch opzicht slechts van beperkt en lokaal belang voor de Grensmaas. De voor het rivierkundig onderzoek belangrijkste piekafvoeren staan in Tabel 2-2 gepresenteerd.

In de huidige toestand begint de rivier bij een afvoer boven circa  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  over delen van het winterbed te stromen. Voor aanleg van de DGR-kaden in 1995 trad bij hoogwatergolven met een kans van voorkomen van 1/10 per jaar schade op aan de in het winterbed aanwezige bebouwing. Na aanleg van de DGR-kaden gebeurt dit pas bij hoogwatergolven met een kans van voorkomen kleiner dan 1/50 per jaar.

## 4.3 Modelling Referentiesituaties

De verschillende toetsingscriteria (zie Paragraaf 3.2) zorgen ervoor dat er niet kan worden volstaan met slechts één Referentiesituatie. De ingrepen van het Voorkeursalternatief 2003 (en de andere alternatieven en ontwerpen) moeten voldoen aan de Wbr. Toetsing vindt hierbij plaats op de situatie in 1995 ná aanleg van de DGR-kaden en de hierbij horende compenserende maatregelen (R95). De nadruk zal in het algemeen liggen op de effecten bij de 1/250 hoogwatergolf, omdat bij deze hoogwatergolf de kades het beoogde beschermingsniveau moeten bieden.

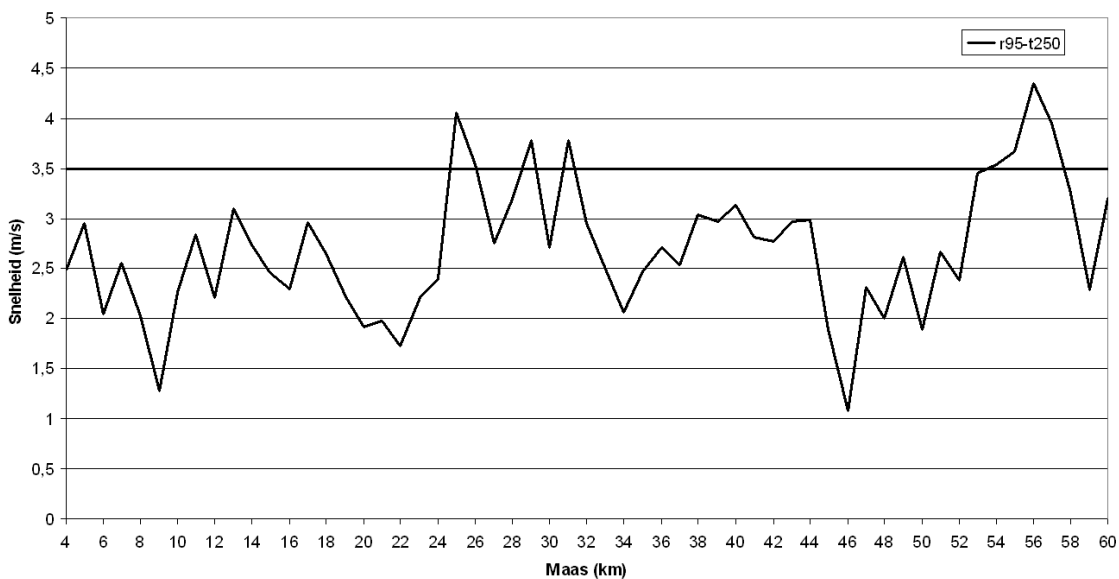




Figuur 4-3 Waterstanden gecorrigeerde autonome-ontwikkeling bij een 1/1250 hoogwatergolf

Tabel 4-1 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in de Referentiesituaties bij verschillende hoogwatergolven op verschillende locaties

Rkm	Plaats	Ref95_3				AO'
		1/50	1/115	1/250	1/1250	1/1250
9	Maastricht	146	146	146	147	146
16	Borgharen	147	147	147	147	147
61	Stevensweert	157	157	158	157	158
81	Roermond	172	171	173	173	177
100	Venlo	176	177	177	177	184
155	Gennep	194	209	203	211	208
230	Den Bosch	222	230	226	230	229



Figuur 4-4 Stroomsnelheden Referentiesituatie bij een 1/250 hoogwatergolf

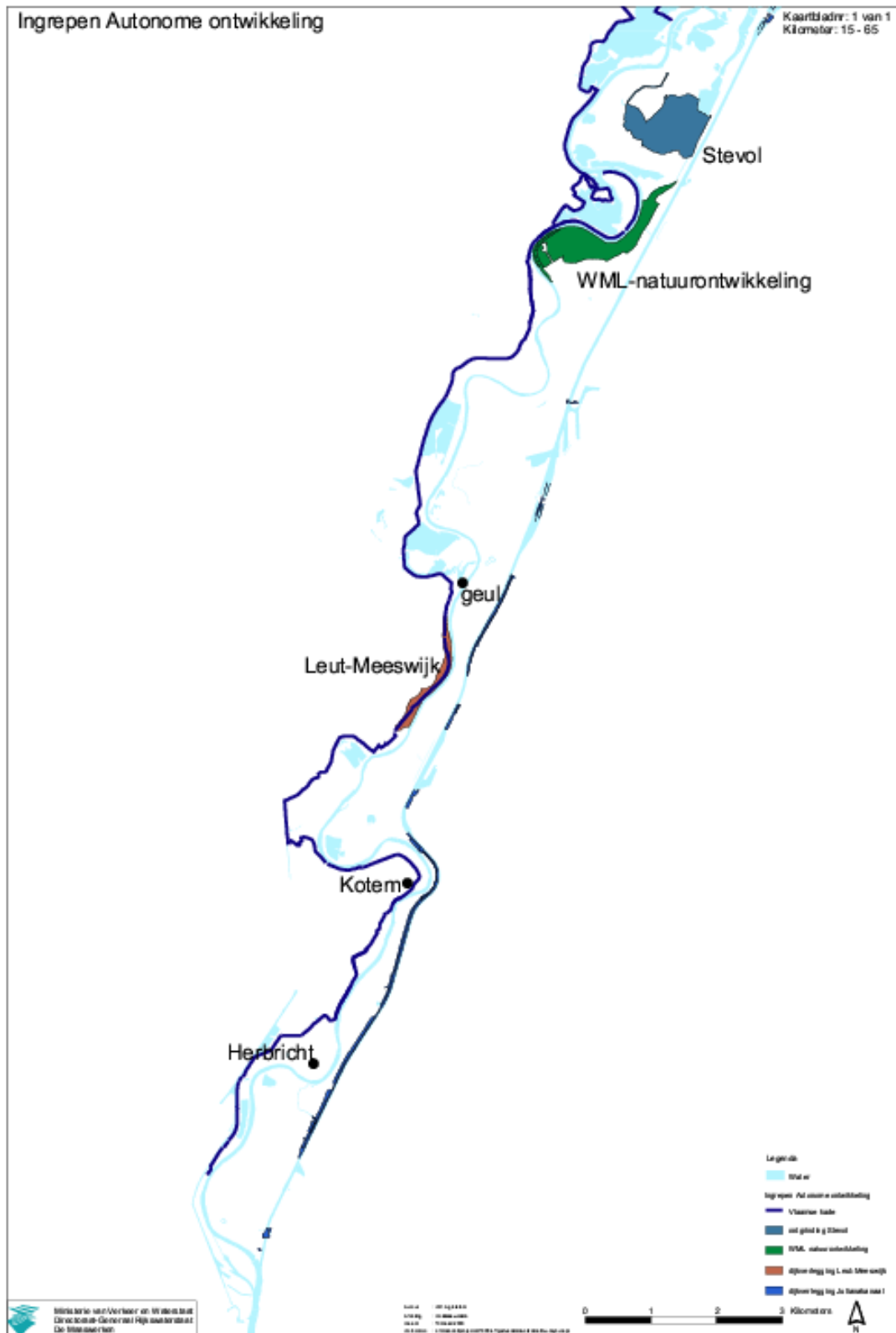
Verder geldt dat mogelijke benedenstroomse effecten van de Zandmaas-ingrepen niet zichtbaar mogen zijn. De vergelijking wordt dus gemaakt met de autonome ontwikkeling (zodat de benedenstroomse effecten van de Zandmaas wegvallen) en vervolgens gecorrigeerd voor het verschil tussen R95 en V93 (de mogelijke effecten ten gevolge van de aanleg van de DGR-kaden). Zoals al in Paragraaf 2.2.1 is aangegeven heeft RIZA voor beide Referentiesituaties gekalibreerde en gevalideerde WAQUA-modellen beschikbaar gesteld.

Figuur 4-2 en Figuur 4-3 laten voor beide beschreven Referentiesituaties de waterstanden zien langs de as van de rivier. Merk op dat Figuur 4-2 enkel waterstanden in de Grensmaas laat zien, terwijl Figuur 4-3 ook waterstanden benedenstrooms van het Grensmaasgebied laat zien. Hierdoor worden de mogelijke benedenstroomse effecten in beeld gebracht. De waterstanden in Figuur 4-2 horen bij een 1/250 hoogwatergolf en dienen als referentie voor de berekeningen van het Voorkeursalternatief 2003 (en de andere alternatieven en ontwerpen) bij een 1/250 hoogwatergolf. De waterstanden uit Figuur 4-2 zullen worden gebruikt om na te gaan of de waterstanden van de alternatieven niet boven die van de Referentiesituatie uitkomen.

De waterstanden in Figuur 4-3 horen bij een 1/1250 hoogwatergolf en worden met name gebruikt om na te gaan of het Voorkeursalternatief 2003 (en de andere alternatieven en ontwerpen) niet leiden tot benedenstroomse effecten. Hierbij is gebruik gemaakt van de berekende waterstanden zoals die volgen uit de autonome ontwikkeling, waarna gecorrigeerd is voor het effect van de aangelegde DGR-kaden. Het vergelijken met de autonome ontwikkeling zorgt ervoor dat de effecten van de ingrepen uit de Zandmaas geen invloed hebben op de resultaten van de alternatieven en ontwerpen. De invloed van de Zandmaas-ingrepen reikt niet tot het Grensmaasgebied; de meest bovenstroomse maatregel is de aanleg van het retentiegebied Lateraalkanaal-West (rkm 68) en het effect van deze maatregel is op rkm 60 uitgewerkt.

Naast waterstanden spelen ook looptijden van golven een belangrijke rol bij benedenstroomse effecten. In het algemeen is het ongewenst dat hoogwatergolven versnellen ten gevolge van ingrepen in een rivier, bijvoorbeeld omdat er in het benedenstroomse deel dan minder tijd is om maatregelen te nemen (denk hierbij aan de demontabele kaden van Roermond en Venlo). Daarom staan in Tabel 4-1 de momenten waarop de maximale waterstand optreedt tijdens de verschillende hoogwatergolven in de Referentiesituatie. Voor de 1/50, 1/115 en 1/250 hoogwatergolven is R95 (1995 ná aanleg van de DGR-kaden) de Referentiesituatie, voor de 1/1250 hoogwatergolf is dat de autonome ontwikkeling inclusief de correctie voor het effect van de DGR-kaden.

Het snelheidsveld behorende bij een 1/250 hoogwatergolf staat in Figuur 3-1. De rivier is hierin zichtbaar als een lint met relatief hoge snelheden, variërend tussen 1,5 en 4,5 m/s. In Figuur 4-4 is hetzelfde zichtbaar maar dan per rivierkilometer. De stroomsnelheden zoals die worden berekend in de verschillende alternatieven en ontwerpen zullen worden vergeleken met die van Figuur 4-4. Er komt duidelijk naar voren dat bij de 1/250 hoogwatergolf in de Referentiesituatie al trajecten aanwezig zijn (rkm 25 – 32, rkm 52 – 55) waar de stroomsnelheden boven de 3,5 m/s komen. Deze snelheid wordt in het algemeen aangehouden als kritische waarde bij het beschermen van de bodem tegen ongewenste erosie.



Figuur 4-5 Veranderingen autonome ontwikkeling in de Grensmaas

## 5 Autonome ontwikkeling van het riviersysteem

### 5.1 Inleiding

De autonome ontwikkeling (AO) is de verwachte situatie van de Grensmaas in het jaar 2017 als het Nederlandse Grensmaasplan (inclusief proefproject Meers) **niet** wordt uitgevoerd. Dit betekent:

- situatie 1995 met DGR-kaden en compenserende maatregelen;
- relevante wijzigingen in de rivier die tussen 1995 en 2017 zijn uitgevoerd/natuurlijk zijn ontstaan/zullen worden uitgevoerd en rivierkundig relevant zijn.

In Paragraaf 5.2 wordt een opsomming gegeven van de wijzigingen die in het model van de Referentiesituatie (Ref95\_3) zijn aangebracht om de situatie in 2017 te kunnen weergeven. De resultaten van de berekeningen met de autonome ontwikkeling worden besproken in Paragraaf 5.3. Ten aanzien van de WML-natuurontwikkeling bij Roosteren wordt in Paragraaf 5.4 stilgestaan bij de mogelijke consequenties. Tenslotte wordt in Paragraaf 5.5 ingegaan op de mogelijke veranderingen in het veiligheidsniveau tijdens de uitvoering.

### 5.2 De autonome ontwikkeling

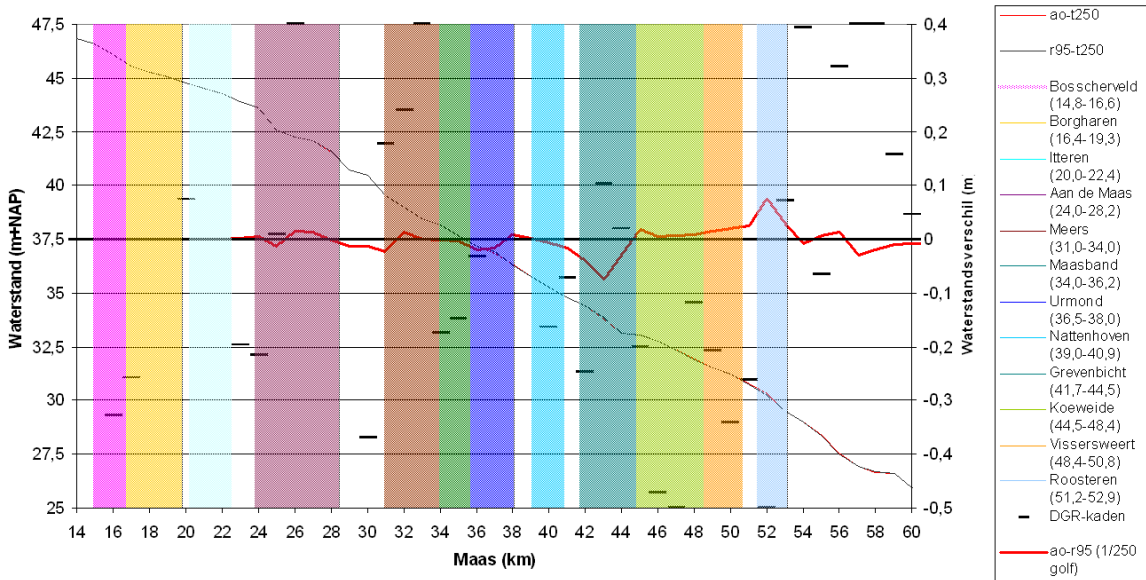
De autonome ontwikkeling betreft de Referentiesituatie aangevuld met natuurontwikkeling en ontgraving. Voor een beschrijving van het gebied wordt derhalve ook verwezen naar Hoofdstuk 4. Voor de WML-natuurontwikkeling geldt dat deze zich **niet** ongestoord mag ontwikkelen. Er wordt slechts een beperkte mate van verruwing in het model aangebracht, zie (Van den Braak et al, 2002).

De hier beschouwde relevante wijzigingen zijn:

- verbreding van het Julianakanaal in westelijke richting, waardoor het rechter hoogwaterbed van de Grensmaas iets versmald is, rkm 15 – 65;
- bebouwing verwijderd bij Herbricht, rkm 23;
- bebouwing verwijderd bij Kotem, rkm 28;
- verlegging Vlaamse kade en rivierverruiming op het traject rkm 34 – 38;
- erosiegeul in de Kerkeweerd, rkm 40;
- verkleining plas Bichterweert, rkm 44 - 45;
- dijkverhoging Heppeneert, rkm 50 - 51;
- gedeeltelijke natuurontwikkeling bij Roosteren (WML), rkm 53 - 55;
- ontgraving Stevol (tussen Ohé en Laak en Julianakanaal), rkm 59 - 60;
- uitvoering van het Tracébesluit in de Zandmaas (Scope 2001: Meijer, 2002), rkm 68 - 180.

Een overzicht van de wijzigingen staat in Figuur 4-5. Voor een volledige beschrijving van de autonome ontwikkeling wordt verwezen naar (Van den Braak et al, 2002). Voor de autonome ontwikkeling is aangenomen dat de Grensmaas morfologisch niet verandert.

In de Zandmaas is sprake van de maatregelen zoals vastgelegd in het Tracébesluit Zandmaas, ofwel Scope 2001 (Meijer, 2002). In tegenstelling tot de Grensmaas zijn hier wel grootschalige aanvullende kadeverhogingen nodig om tot het beoogde beschermingsniveau te komen. De kades langs de Zandmaas hebben na verhoging een waakhoogte van 0,50 m ten opzichte van de waterstand behorende bij de 1/250 hoogwatergolf.



Figuur 5-1 Effect van autonome ontwikkeling: waterstanden t.o.v. de Referentiesituatie bij een 1/250 hoogwatergolf

Tabel 5-1 Overzicht inundatie van omkaad gebieden en kade-aanpassingen (autonome ontwikkeling)

Omkaad gebied	Hoogwatergolf, uitgedrukt in kans op voorkomen (1 / jaar)		Noodzakelijke kade-aanpassing voor 1/250 bescherming	
	50	250	lengte (km)	gemiddelde verhoging (m)
Borgharen	Droog*	Nat	3,4	0,50
Itteren	Droog	Droog*	2,3	0,25
Voulwames	Droog	Nat	0,7	0,20
Aan de Maas	Droog	Nat	1,4	0,20
Meers	Droog	Nat	2,1	0,20
Maasband	Droog	Droog*	0,7	0,25
Berg	Droog	Droog*	0,5	0,15
Obbicht	Droog	Droog*	1,4	0,15
Grevenbicht	Droog	Droog*	1,2	0,20
Schipperskerk	Droog	Droog*	1,7	0,20
Illikhoven	Droog	Droog*	0,6	0,25
Visserweert	Droog	Droog*	1,1	0,25
Roosteren	Droog	Droog*	3,5	0,30

\* minder dan 0,5 m waakhoogte

De hiervoor beschreven wijzigingen in de autonome ontwikkeling zijn aangebracht in het WAQUA-model van de Referentiesituatie (Ref95\_3). Met dit aangepaste WAQUA-model (AO) zijn dezelfde afvoergolven doorgerekend als voor de Referentiesituatie. De berekeningsresultaten zijn vergeleken met die van de Referentiesituatie voor de waterstanden en lokale snelheidsvelden in het hele gebied van de Grensmaas. Verder is gekeken naar het droog blijven van de omkade gebieden bij de verschillende hoogwatergolven.

## 5.3 Hydraulica

### 5.3.1 Veiligheid

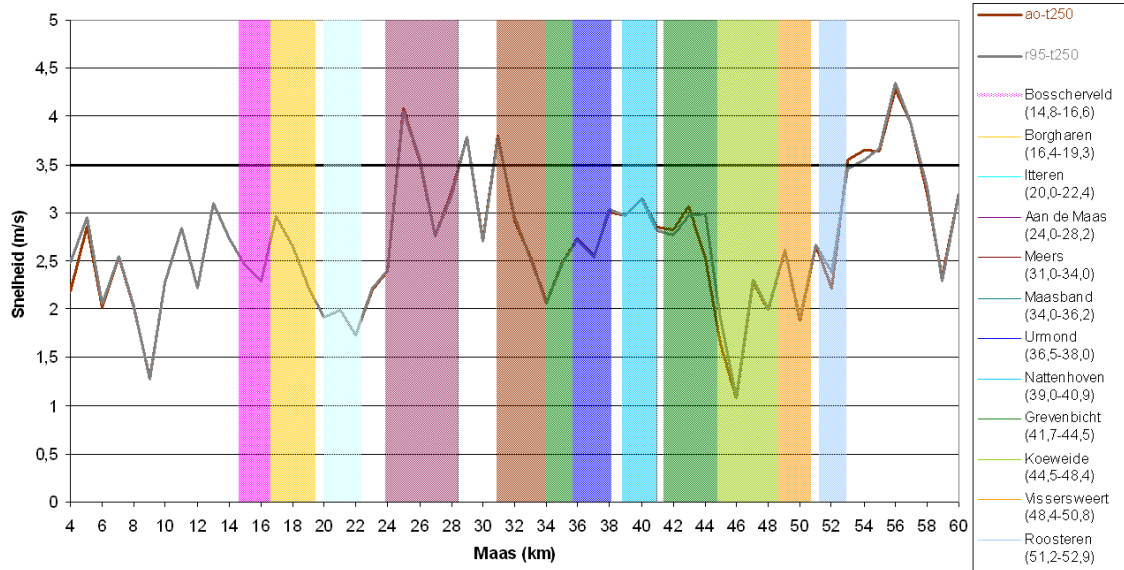
Figuur 5-1 laat (voor controlepunten in de as van de rivier) de absolute waterstanden zien van de autonome ontwikkeling en de Referentiesituatie (de linker-as in de grafiek) en het verschil tussen de autonome ontwikkeling en de Referentiesituatie (de rechter-as in de grafiek). Het betreft hier resultaten bij een 1/250 hoogwatergolf. De in Paragraaf 5.2 beschreven wijzigingen in de autonome ontwikkeling ten opzichte van de Referentiesituatie veroorzaken de verschillen. Opvallend is de stijging van de waterstand op het traject rkm 50 – 54 van maximaal 0,08 m. Dit wordt veroorzaakt door de WML-natuurontwikkeling bij Roosteren.

Naast de verschillen in waterstanden wordt ook gekeken hoe de waterstanden zich verhouden tot de kadehoogte zoals deze aanwezig is langs de omkade gebieden. Hoewel deze getallen slechts indicatief zijn maken ze wel de locaties zichtbaar waar de kades te laag zijn. Bij het vergelijken van de kadehoogte met de waterstanden is rekening gehouden met een waakhoogte van 0,5 m. Dit betekent dat kades boven de rode lijn minstens 0,5 m waakhoogte hebben, kades die tussen de 0,0 en 0,5 m onder de rode lijn liggen niet de vereiste waakhoogte halen maar nog niet overstroomt raken, en kades die meer dan 0,5 m onder de rode lijn liggen overstroomd worden. Om het beoogde beschermingsniveau van 1/250 te bereiken dienen de kades over een lengte van bijna 21 kilometer verhoogd te worden (zie Tabel 5-1).

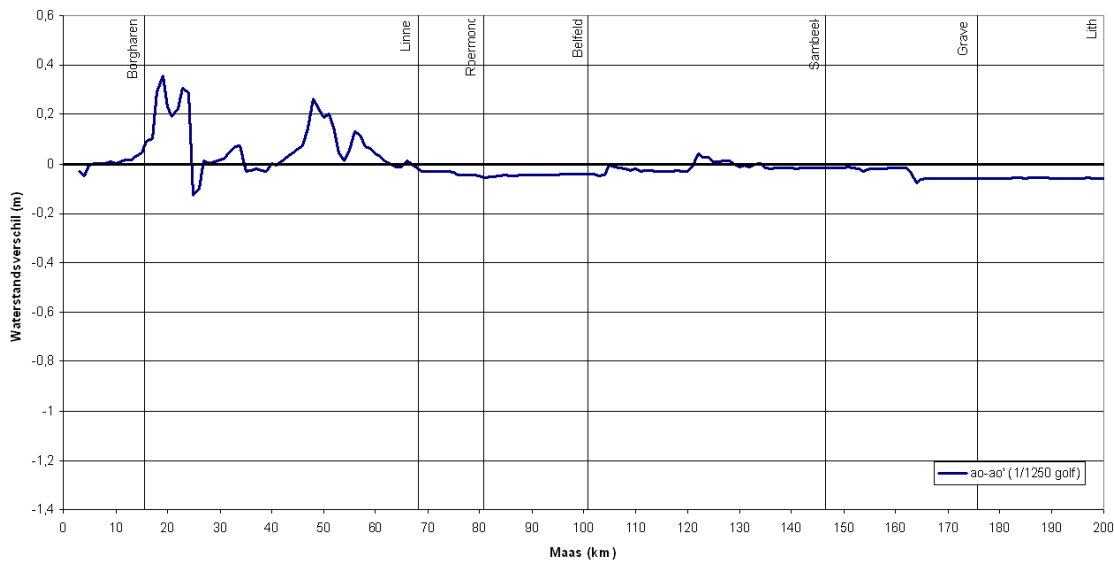
Aan Vlaamse zijde dienen ook dijken te worden verhoogd om het beoogde 1/115 beschermingsniveau te bereiken. Het betreft hier dijkvakken bij Aldeneik, Heppeneert, Leut, Molenveld en Stokkem over in totaal een lengte van 1,7 km. De gemiddelde verhoging bedraagt 0,40 m.

De lokale dalingen worden veroorzaakt door ingrepen aan Vlaamse zijde, zoals de kadeverlegging op het traject Leut – Meeswijk (rkm 34 – 38), en de erosiegeul in de Kerkeweerd (rkm 41). Ook zichtbaar zijn de piek bij Roosteren (rkm 52) ten gevolge van de WML-natuurontwikkeling en de daling bij rkm 58 ten gevolge van de ontgraving bij Stevol. Conform de verwachting blijven de omkade gebieden droog bij een hoogwatergolf met een frequentie van 1/50 per jaar. Bij hogere afvoergolven komen meer en meer gebieden onder water te staan. In Tabel 5-1 is een overzicht gegeven van de verschillende omkade gebieden langs de Maas en hun status (droog/nat) bij de verschillende hoogwatergolven. Met uitzondering van Urmond worden bij een MHW-golf (1/1250 per jaar) alle bewoonde gebieden nat.

Figuur 5-2 toont de hoge stroomsnelheden in de as van de rivier tot circa 4 m/s, bijvoorbeeld bij Aan de Maas (rkm 25), tussen Aan de Maas en Meers (rkm 28 – 32) en ter hoogte van Roosteren (rkm 52 - 55). Ten opzichte van de Referentiesituatie zijn er geen significante wijzigingen in de stroomsnelheden. In Bijlage 5 wordt in Figuur 2 een bovenaanzicht van het snelheidsveld getoond.



Figuur 5-2 Snelheden in de autonome ontwikkeling t.o.v. de Referentiesituatie (1/250 hoogwatergolf)



Figuur 5-3 Invloed aanleg DGR-kaden (in autonome ontwikkeling)

Tabel 5-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in de autonome ontwikkeling bij verschillende hoogwaters op verschillende locaties t.o.v. de Referentiesituaties

Rkm	Plaats	Hoogwatergolf				Verschil t.o.v. Referentiesituatie				t.o.v. AO'
		1/50	1/115	1/250	1/1250	1/50	1/115	1/250	1/1250	1/1250
9	Maastricht	146	146	146	146	0	0	0	-1	0
16	Borgharen	147	147	147	147	0	0	0	1	0
61	Stevensweert	156	157	156	158	-1	0	-2	1	1
81	Roermond	171	172	171	174	-1	1	-2	0	-3
100	Venlo	174	175	174	182	-2	-3	-3	5	-2
155	Gennep	190	192	190	203	-4	-17	-13	-8	-5
230	Den Bosch	224	217	214	224	-8	-13	-12	-6	-5

### 5.3.2 Benedenstroomse effecten

Zoals al is uitgelegd in Paragraaf 4.3 worden de benedenstroomse effecten bepaald bij een 1/1250 hoogwatergolf. De Referentiesituatie is dan de autonome ontwikkeling gecorrigeerd voor het effect van de aangelegde DGR-kaden. Omdat nu de vergelijking met de autonome ontwikkeling zelf wordt getoond laat Figuur 5-3 feitelijk het effect van de in 1995 aangelegde DGR-kaden zien. Deze kaden leiden in het algemeen tot lokaal verhoogde waterstanden (rkm 20, 35, 50 en 125). Voorbij rkm 160 zijn geen kaden aangelegd en zal dus ook geen verhoging optreden. Omdat de omkade gebieden wel inunderen bij deze hoogwatergolf (uitgestelde berging) treedt benedenstrooms van rkm 160 een waterstandsverlaging op.

De tijdseffecten van de autonome ontwikkeling worden zichtbaar gemaakt in Tabel 5-2. De getallen in de kolommen drie tot en met zes geven het moment aan waarop in de berekening de maximale waterstand werd berekend. In kolommen zeven tot en met tien wordt dit moment vergeleken met het moment waarop in de Referentiesituatie de maximale waterstand optrad. Een positief getal betekent dat de maximale waterstand later optreedt, een negatief getal betekent dat de maximale waterstand eerder optreedt. Tot bij Roermond (rkm 81) zijn de tijdseffecten zeer beperkt. In vergelijking met de Referentiesituatie blijkt de hoogwatergolf op vrijwel hetzelfde moment aan te komen. Pas benedenstrooms van de Zandmaas blijken er effecten op te treden; dan komen de verschillende hoogwatergolven eerder aan. De grootste verschillen treden op tij de 1/115 en 1/250 hoogwatergolven; deze komen circa een halve dag versneld aan Gennep en Den Bosch.

### 5.3.3 Bovenstroomse effecten

De in Paragraaf 5.2 genoemde wijzigingen van de autonome ontwikkeling ten opzichte van de Referentiesituatie zijn zeer beperkt en hebben geen effect bovenstrooms van rkm 14. In Figuur 5-2 is zichtbaar dat de maximale snelheden nauwelijks veranderen. Ook de waterstanden zijn bij alle vier de hoogwatergolven identiek aan die in de Referentiesituatie.

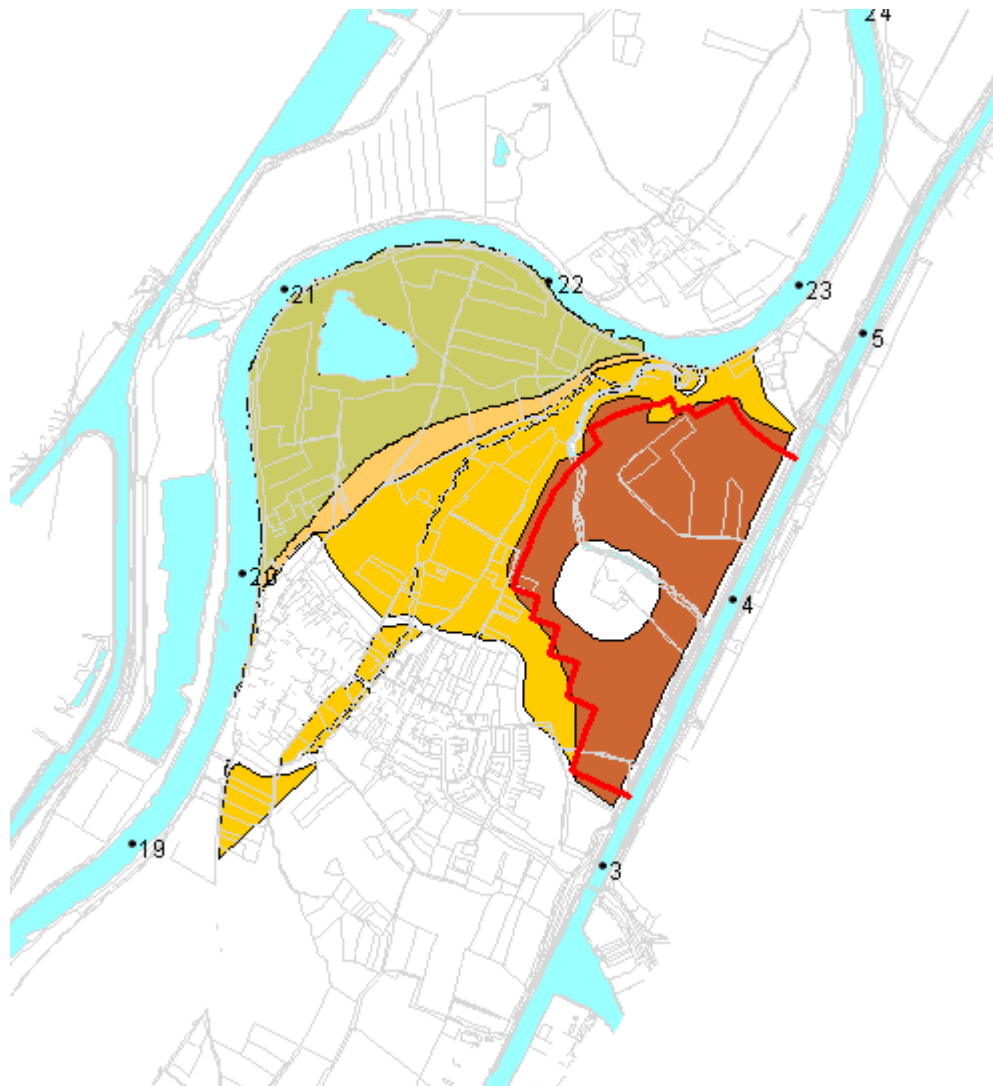
### 5.3.4 Laagwater effecten

De genoemde wijzigingen van de autonome ontwikkeling ten opzichte van de Referentiesituatie zijn zeer beperkt en hebben geen effect bovenstrooms van rkm 14. De rivierverruiming op het traject rkm 34 – 38 (Leut – Meeswijk, Vlaamse zijde) ligt op een dusdanig hoog niveau dat deze pas mee gaat stromen bij afvoeren hoger dan 500 m<sup>3</sup>/s. Bij lagere afvoeren treden er geen substantiële verschillen op in waterstanden met de Referentiesituatie.

## 5.4 De WML-natuurontwikkeling bij Roosteren (deel 1)

Een bijzonder punt van aandacht verdient de natuurontwikkeling bij Roosteren. Ten opzichte van de situatie in 1995 wordt een beperkte natuurontwikkeling aangenomen, gebaseerd op een inventarisatie uit 1999. In vergelijking met de situatie in 1995 betekent dit een verruiming van het oppervlak en hierdoor een grotere weerstand voor het water. Dit komt duidelijk in uitdrukking bij het vergelijken van de waterstanden tussen de autonome ontwikkeling en de situatie in 1995 ná aanleg van de DGR-kaden. De waterstandstoename is circa 0,06 m bij de vier hoogwatergolven. Omdat de locatie van de natuurontwikkeling benedenstrooms van het ingreepgebied ligt zal deze stijging niet door de ingrepen uit het Voorkeursalternatief 2003 (of één van de varianten) gecompenseerd worden. In Paragraaf 6.4 zal hier nader op worden ingegaan.





Figuur 5-4 De ringdijk bij Hartelstein

Tabel 5-3 Waterstandseffect ringdijk Hartelstein op de rivier

Afvoer bij Borgharen (m <sup>3</sup> /s)	Waterstandsverschil (m) per rivierkilometer			
	rkm 16	rkm 19	rkm 21	rkm 25
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2200	0.00	0.00	0.01	0.00
2500	0.00	0.01	0.02	0.00
2750	0.00	0.02	0.03	0.00
3000	0.01	0.03	0.04	0.00
3250	0.01	0.04	0.04	0.00
3500	0.01	0.04	0.05	-0.01
3750	0.01	0.04	0.06	0.00

## 5.5 Tussentijdse effecten, testcase 'Ringdijk bij Hartelstein'

Veel vragen over de MER Grensmaas en de effecten van de ingrepen betreffen de fasering van de uitvoering. Het gaat hierbij onder andere om:

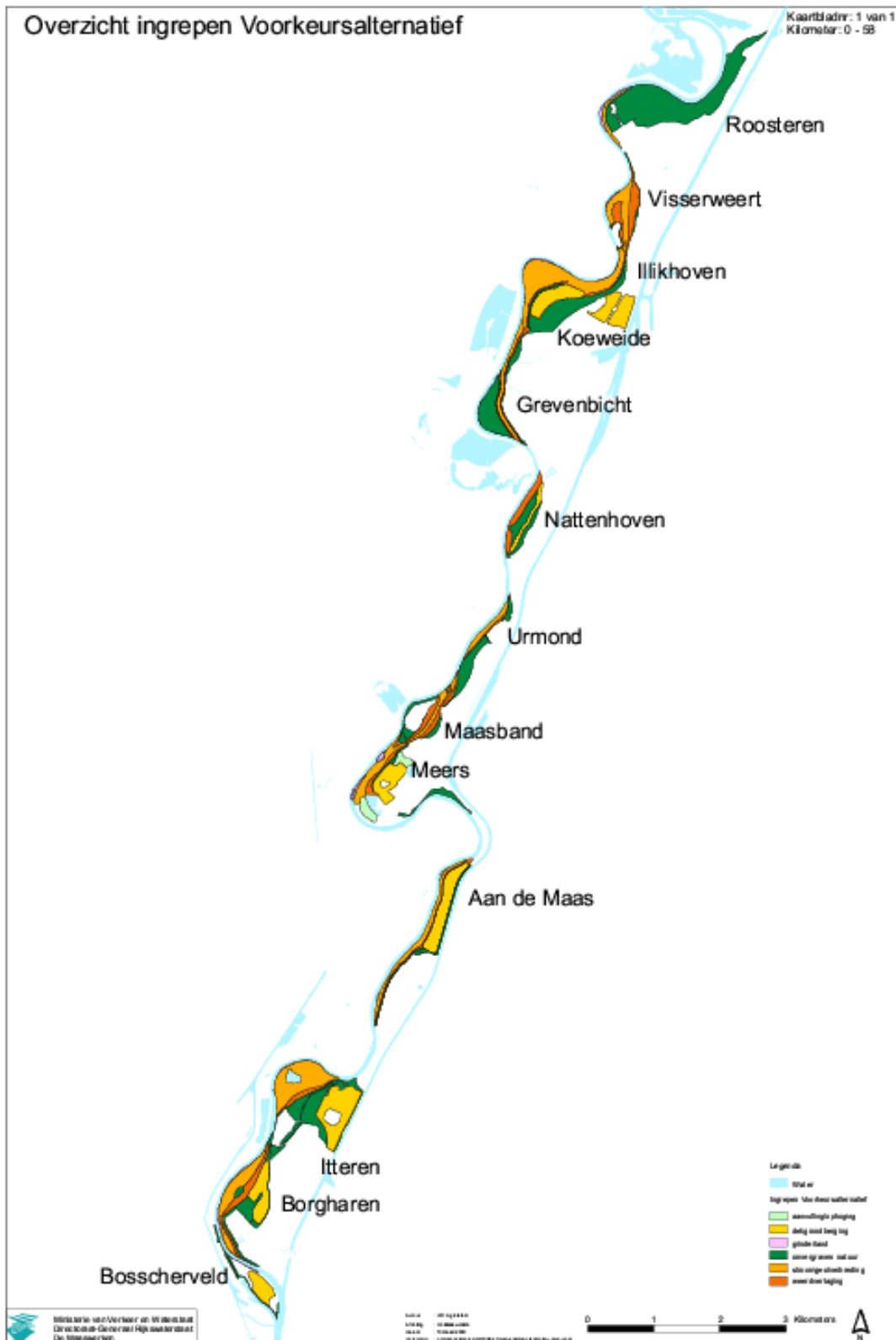
- Is de volgorde van uitvoering van de ingrepen van belang?
- Verandert tussentijds het veiligheidsniveau ten gevolge van (tijdelijke) maatregelen als ringdijken en kleibergingen?

Hoewel de beantwoording van deze vragen pas tijdens de gunningsfase aan de orde zal komen wil De Maaswerken niet volledig aan dit aspect voorbij gaan. Er is gezocht naar een situatie die de problematiek inzichtelijk maakt en die ook relatief eenvoudig te modelleren is. De keus viel op de aan te leggen ringdijk bij Hartelstein (zie Figuur 5-4). Deze ringdijk is noodzakelijk om een kunstmatig meer (met een waterstand gelijk aan die in het Julianakanaal) te creëren zodat baggermolens kunnen worden ingezet. De ligging van de ringdijk blokkeert deels de stroming over het winterbed tussen Itteren en het Julianakanaal en zal leiden tot hogere waterstanden. Omdat de ringdijk al aanwezig moet zijn voordat kan worden begonnen met het vergraven bij Itteren kan compensatie van de verhoging enkel verder benedenstrooms (locatie Aan de Maas) gevonden worden.

Om na te gaan of de ingreep bij Aan de Maas zou kunnen compenseren moet eerst bekend zijn wat het waterstandsverhogend effect van de ringdijk is. Hiertoe is de ringdijk in het WAQUA-model voor de autonome ontwikkeling gemodelleerd (zie de getrapte rode lijn in Figuur 5-4). Met deze aangepaste schematisatie zijn vervolgens twee WAQUA-berekeningen uitgevoerd, de eerste met een 1/250 en de tweede met een 1/1250 hoogwatergolf.

Tabel 5-3 laat zien wat het effect is van de aanleg van de ringdijk op drie locaties in de rivier. De verschillen in waterstanden zijn bepaald uit de verschillen (op gelijke momenten) tijdens verschillende afvoeren van de 1/250 en 1/1250 hoogwatergolven voor de autonome ontwikkeling met en zonder de ringdijk bij Hartelstein. Bij afvoeren lager dan 2200 m<sup>3</sup>/s stroomt dit deel van het winterbed niet mee en is dus ook geen effect zichtbaar. Vervolgens neemt het effect langzaam toe en bereikt zijn maximum bij een afvoer van 3750 m<sup>3</sup>/s. Op dat moment is de waterstandstoename 0,06 m op rkm 21. Ter plaatse van Itteren is het effect groter. De maximale verhoging bedraagt ongeveer 0,25 m en treedt op aan de noord-oostzijde van Itteren waar de doorstroomopening het meest vernauwd is.

In het kader van de Wbr zal deze verhoging gecompenseerd moeten worden. Een mogelijkheid is het eerst uitvoeren van de rivierverruiming bij Aan de Maas. Deze ingreep leidt tot een waterstandsverlaging van circa 0,90 m bij rkm 24. Een vuistregel op dit traject van de Maas is dat elke twee kilometer het effect halveert. Dat betekent dat op rkm 19 nog circa 0,16 m waterstandsverlaging over is. Een aanvullend hydraulisch onderzoek in het kader van de inrichtings-MER voor deze ingreep zal moeten uitwijzen of de rivierverruiming bij Aan de Maas inderdaad voor voldoende compensatie kan zorgen.



Figuur 5-5 Ingrepen van het Voorkeursalternatief 2003

## 6 Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas

### 6.1 Inleiding

Het Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas (VKA) is het alternatief dat door de Provincie Limburg begin 2002 is vastgesteld en waarvan de verwachting is dat het in uitvoering zal worden genomen. De ingrepen in de rivier moeten, naast grindwinning en natuurontwikkeling leiden tot een verhoging van het beschermingsniveau. Waar de ingrepen niet tot voldoende beschermingsniveau leiden zullen kaden verhoogd worden zodat het beoogde beschermingsniveau wel wordt bereikt.

De ingrepen van het Voorkeursalternatief 2003 worden gemodelleerd in het WAQUA-model van de autonome ontwikkeling omdat de autonome ontwikkelingen (die nergens samenvallen met de ingrepen van het Voorkeursalternatief 2003) altijd zullen worden uitgevoerd. In Paragraaf 6.2 wordt een opsomming gegeven van de wijzigingen die in het model van de autonome ontwikkeling zijn aangebracht om de situatie na uitvoering van het Voorkeursalternatief 2003 te kunnen weergeven. De resultaten van de berekeningen met het Voorkeursalternatief 2003 worden besproken Paragraaf 6.3. In Paragraaf 6.4 wordt apart aandacht geschonken aan de effecten van de WML-natuurontwikkeling bij Roosteren. Tenslotte wordt in Paragraaf 6.5 ingegaan op de effecten van natuurontwikkeling en de invloed van natuurontwikkeling op de resultaten van de berekeningen.

### 6.2 Het Voorkeursalternatief 2003

Het Voorkeursalternatief 2003 voor de Grensmaas bestaat uit twaalf ingrepen. Een beknopt overzicht staat in Figuur 5-5. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar (De Maaswerken, 2003).

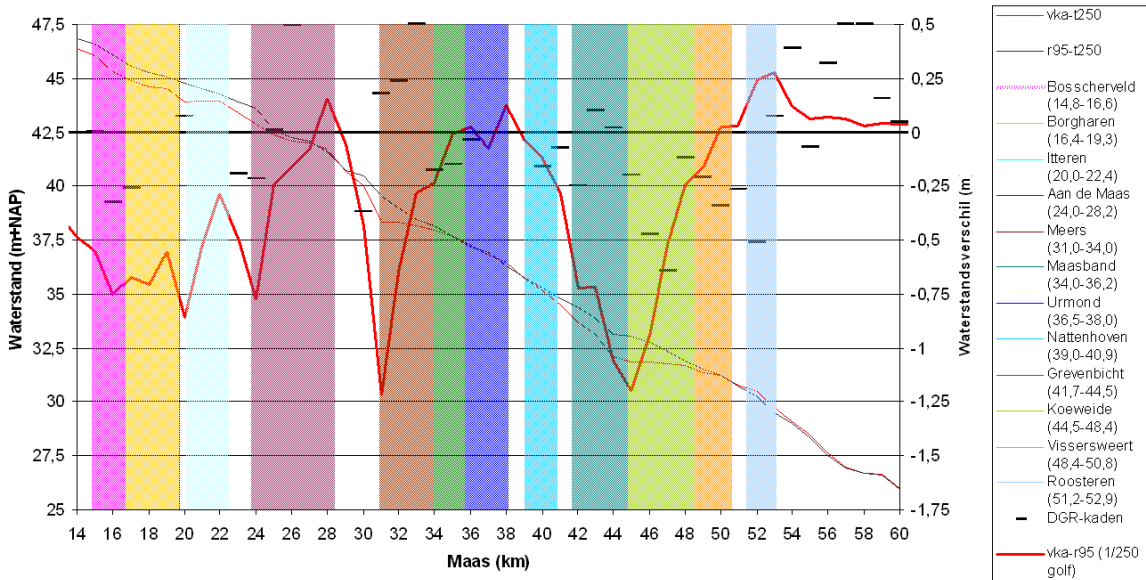
De ontgravingsdieptes voor de zomerbedverbredingen en weerdverlagingen moesten voldoen aan de volgende criteria (eisen uit het Programma van Eisen):

- er diende minstens twee meter grind onder de ontgravingsdiepte aanwezig te zijn;
- de ontgravingsdiepte moest onder het niveau van de waterstand bij 125 m<sup>3</sup>/s te Borgharen in de Referentiesituatie liggen;
- de ontgravingsdiepte moest de gemiddelde bodemligging van de 60 m brede geul liggen.

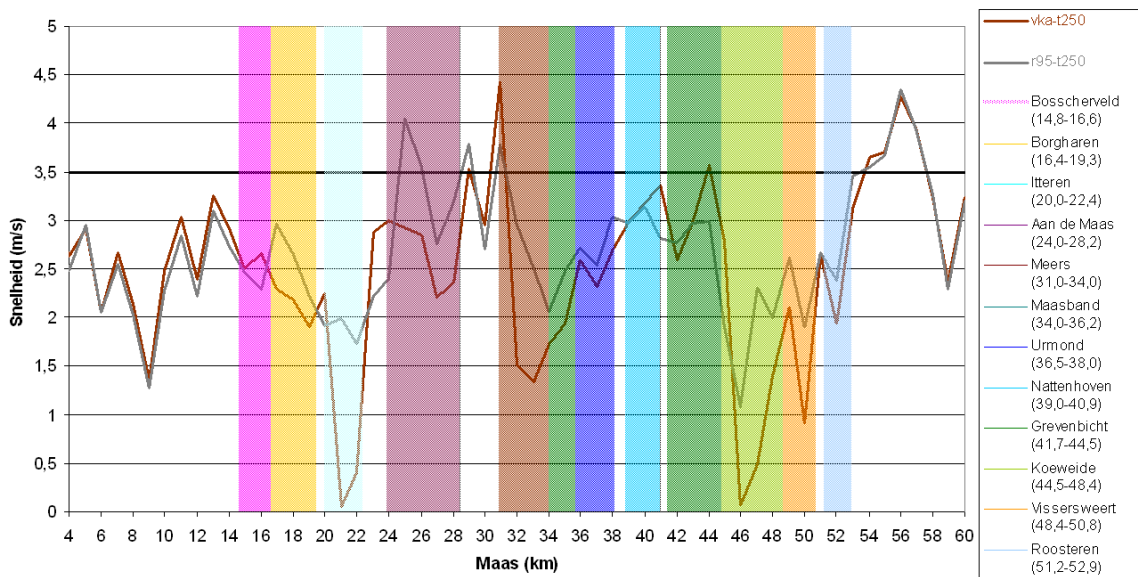
Naast de genoemde twaalf ingrepen is er (ten gevolge van de verhoogde stroomsnelheden) bodembescherming voorzien op de trajecten 28 – 31,5 , 38 – 39 en 40,9 – 42. In overleg met de opdrachtgever is verondersteld dat de bodembescherming van het type steenbestorting is, waarbij gedacht wordt aan basaltblokken met een doorsnede van ongeveer 0,5 m. In het WAQUA-model wordt deze steenbestorting gemodelleerd als een verhoogde bodemruwheid. Hierdoor worden de snelheden verlaagd maar de waterstanden verhoogd.

De WML-natuurontwikkeling bij Roosteren wordt nu wel volledig vrijgelaten en zorgt dus (ook ten opzichte van de autonome ontwikkeling) voor een verdere verruwing. Hierop wordt nader ingegaan in Paragraaf 6.4.

Tenslotte zijn lokaal kadeverhogingen noodzakelijk om overal het gewenste veiligheidsniveau van 1/250 jaar te kunnen bereiken. De locatie, mate en lengte van de verhogingen wordt besproken in Paragraaf 6.3.1, Tabel 6-1.



Figuur 6-1 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003: waterstanden t.o.v. Referentiesituatie bij een 1/250 hoogwatergolf



Figuur 6-2 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003: stroomsnelheden t.o.v. Referentiesituatie bij een 1/250 hoogwatergolf

Tabel 6-1 Noodzakelijke kade-aanpassingen Voorkeursalternatief 2003 (uitgaande van cyclische verjonging)

Omkaad gebied	Mate van kade-aanpassingen		
	Traject (rkm)	Lengte (km)	Gemiddelde verhoging (m)
Maasband	34 - 35	0,7	0,20
Meers	34 - 36	0,5	1,00
Obbicht	40 - 41	0,1	0,05
Roosteren	50 - 54	3,1	0,15

De ingrepen zijn gemodelleerd in het model voor de autonome ontwikkeling, dus naast de genoemde twaalf ingrepen bevat het Voorkeursalternatief 2003 ook de autonome ontwikkeling. Een volledige beschrijving van het WAQUA-model voor het Voorkeursalternatief 2003 staat in (Van den Braak et al, 2002).

## 6.3 Hydraulica

### 6.3.1 Veiligheid

Duidelijk zichtbaar in Figuur 6-1 is dat bovenstrooms van ingrepen de verhanglijn reeds binnen enkele kilometers weer die van Referentiesituatie bereikt, ofwel: dat de waterstandsdalingen in bovenstroomse richting snel uitdempen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de verschillende ingrepen veelal van elkaar gescheiden worden door versmallingen waar het hydraulisch effect relatief snel gedempt wordt (de zogenaamde flessenhalzen). In een rivier als de Grensmaas met een steil verhang is de aanpassingslengte voor de stuwkromme kort.

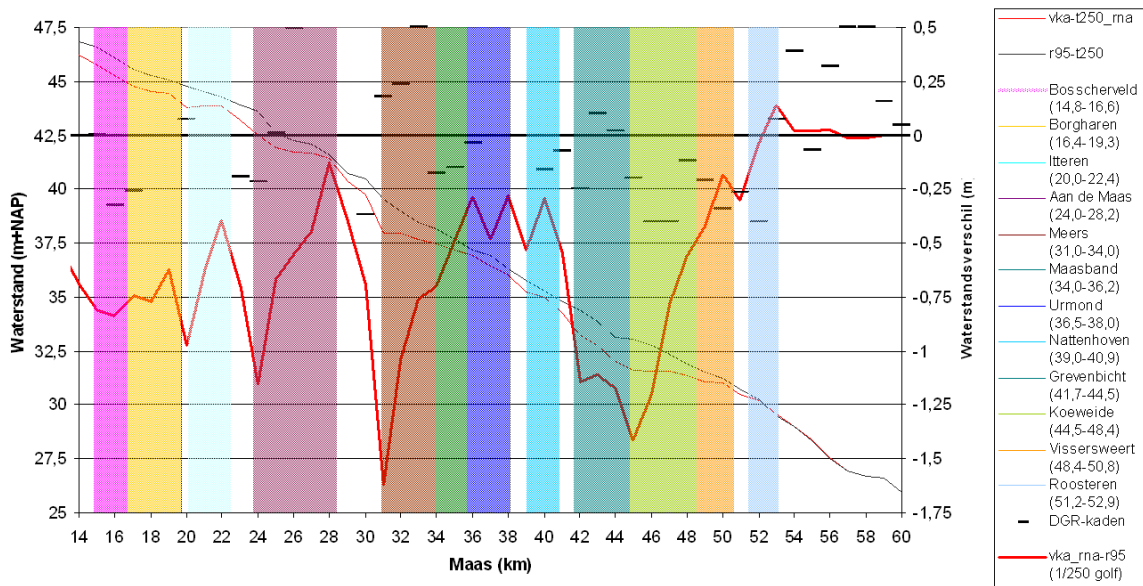
In Figuur 6-1 is zichtbaar wat het effect is van de maatregelen uit het Voorkeursalternatief 2003 ten opzichte van de Referentiesituatie. Te zien is dat de maatregelen leiden tot (grote) waterstandsdalingen. Gemiddeld bedraagt de daling 0,31 m; de maximale daling bedraagt circa 1,2 m en treedt op bij zowel Meers als in de Koeweide.

Lokaal treedt ten opzichte van de Referentiesituatie een verhoging van de waterstand op, met name bij rkm 28 en tussen rkm 35 – 38 (beiden circa 0,15 m). Ter hoogte van rkm 53 bedraagt de verhoging zelfs 0,27 m. Deze verhoging wordt in Paragraaf 6.4 nader besproken. Figuur 6-1 laat zien dat de ingrepen er grotendeels voor zorgen dat de huidige kades het beoogde beschermingsniveau van 1/250 per jaar geven. Enkel bij Maasband, Meers, Obbicht, Visserweert en Roosteren zijn kade-aanpassingen noodzakelijk om dit beschermingsniveau te bereiken. Voor dit alternatief is in totaal circa 9,5 kilometer kade-aanpassing noodzakelijk. Bij een 1/1250 hoogwatergolf raken Borgharen, Aan de Maas, Maasband, Kokkelert en Roosteren geïnundeerd.

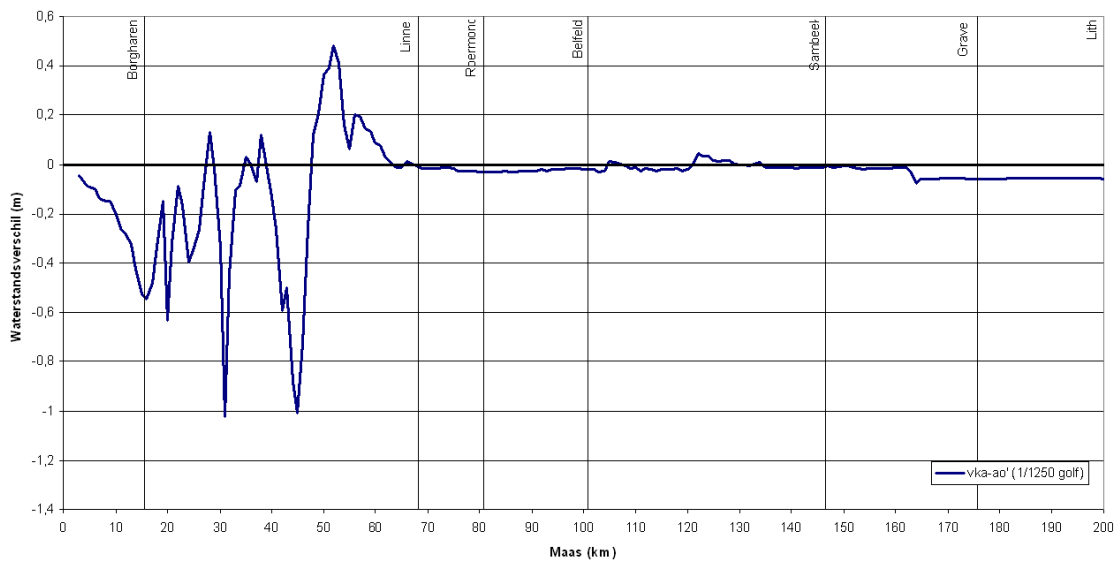
De combinatie van rivierverruiming met bodembescherming zorgen ervoor dat de stroomsnelheden in het Voorkeursalternatief 2003 in het algemeen onder die van de Referentiesituatie liggen, zie Figuur 6-2. Er zijn nog twee trajecten waar de stroomsnelheden boven de 3,5 m/s komen. Ter hoogte van rkm 31 (Meers) wordt de snelheid bijna 4,5 m/s en is daar ook hoger dan in de Referentiesituatie. Ook bij Roosteren (rkm 52 – 55) liggen de snelheden boven de 3,5 m/s maar dat waren de snelheden in de referentiesituatie ook al. Op het traject rkm 40 – 44 worden de snelheden hoger dan in de Referentiesituatie maar niet hoger dan 3,5 m/s. In Bijlage 5 wordt in Figuur 3 een bovenaanzicht van het snelheidsveld getoond.

In Tabel 6-1 is zichtbaar op welke kade-aanpassingen noodzakelijk zijn om het beoogde beschermingsniveau te bereiken. Opgemerkt wordt dat hierbij wordt uitgegaan van cyclische verjonging, waarbij lokale verhogingen van de waterstand (zie Figuur 6-1) worden voorkomen. Voor het Voorkeursalternatief is in totaal 4,4 kilometer aan kadeverhoging noodzakelijk. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de verlegging van de kade bij Grevenbicht (circa 1,3 km lengte) ten gevolge van de nevengeul. Indien geen cyclische verjonging zou worden toegepast is in totaal circa 9 kilometer kadeaanpassing noodzakelijk.

Ook aan Vlaamse zijde is een positief effect merkbaar. Enkel bij Aldeneik, Heppeneert en Leut zijn nog, over een totale lengte van 1,1 km, kade-aanpassingen noodzakelijk.



Figuur 6-3 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003 zonder natuurontwikkeling: waterstanden t.o.v. Referentiesituatie bij een ontwerphoogwater (1/250 jaar)



Figuur 6-4 Benedenstroomse effecten Voorkeursalternatief 2003, 1/1250 hoogwatergolf

### 6.3.2 Vergunbaarheid

Uitgangspunt van de Wbr is dat (lokale) verhogingen in de waterstand ten gevolge van een ingreep in het winterbed van de rivier niet zijn toegestaan. Zoals in Paragraaf 6.3.1 als is opgemerkt leidt het ontwerp van het Voorkeursalternatief 2003 wel tot lokale waterstandsverhogingen ten opzichte van de Referentiesituatie. Deze verhogingen kunnen door twee verschillende oorzaken ontstaan. De eerste oorzaak is een verhoging van de ruwheid, zowel door de bodembescherming als door natuurontwikkeling. Een tweede oorzaak van een lokale verhoging van de waterstand ontstaat vlak benedenstrooms van een grote verwijding. In de verruiming nemen de snelheden in het algemeen af. Wanneer het verruiming eindigt moet dezelfde hoeveelheid water maar met een lagere snelheid door de oorspronkelijke bedding. Dit kan alleen wanneer de waterstand toeneemt. Dit treedt op bij rkm 28 vlak na de verbreding bij Aan de Maas of ter hoogte van rkm 52 (de brug naar Maaseik bij Roosteren).

Om een onderscheid te maken tussen deze twee verschillende oorzaken is een berekening uitgevoerd waarin wel de maatregelen van het Voorkeursalternatief 2003 zijn meegenomen maar niet de aangepaste ruwheid ten gevolge van de ecotopenontwikkeling en de bodembescherming. Het niet aanpassen van de ruwheid blijkt een groot effect op de resultaten te hebben, zie Figuur 6-3. De waterstandsval bij een 1/250 hoogwatergolf is gemiddeld 0,25 m groter dan die in het Voorkeursalternatief 2003 en de waterstand komt nergens meer boven die van de Referentiesituatie. Dit betekent dat natuurontwikkeling het effect van de ingrepen bijna halveert. Enkel ter hoogte van Roosteren ontstaat nog een verhoging. De snelheden nemen in de flessenhalzen iets toe ten opzichte van die uit het Voorkeursalternatief 2003 met natuurontwikkeling en bodembescherming. Waar in het oorspronkelijke Voorkeursalternatief 2003 de snelheid op twee locaties boven de 3,5 m/s kwam, is daar nu een derde locatie bijgekomen. Ter hoogte van rkm 41 nemen de snelheden (ten opzichte van het Voorkeursalternatief 2003) toe van 3,3 naar 3,7 m/s.

De hier beschouwde variant is een extreme versie (geen natuurontwikkeling) maar toont wel aan dat het mogelijk is om de lokale waterstandsverhogingen ten opzichte van de Referentiesituatie vrijwel volledig teniet te doen. Natuurontwikkeling is zeer wel mogelijk langs de Grensmaas maar lokaal (met name bij Meers, Urmond, Nattenhoven en Visserweert) zal cyclische verjonging toegepast moeten worden om niet tot ongewenste waterstandsverhogingen te leiden. Bij Roosteren (rkm 53) blijft een verhoging van 0,11 m over.

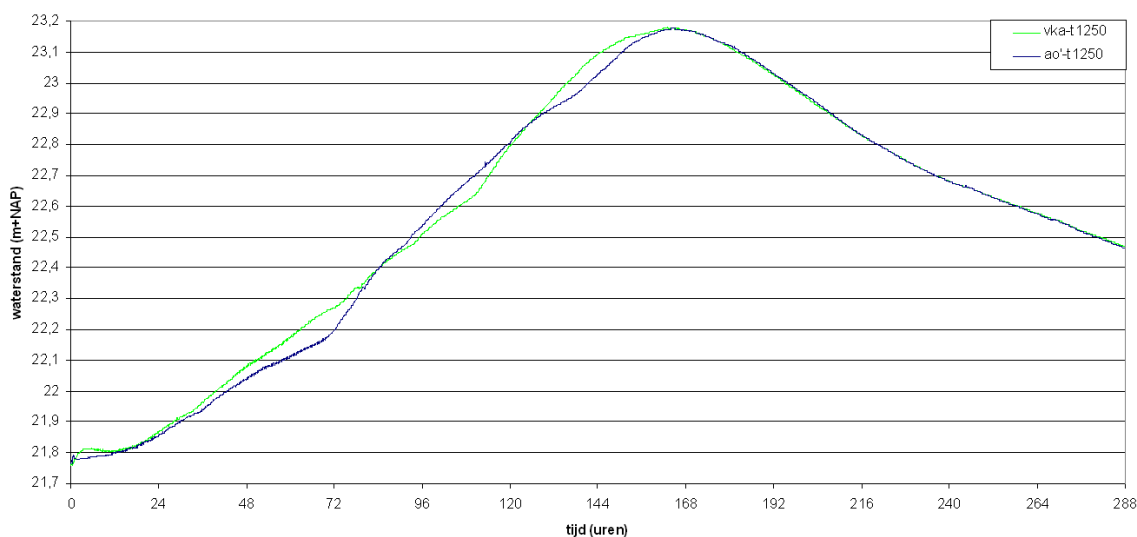
### 6.3.3 Benedenstroomse effecten

Voor benedenstroomse effecten worden de waterstanden vergeleken met die van de autonome ontwikkeling inclusief de correctie vanwege de aangelegde DGR-kaden, zie Paragraaf 4.3. Een voordeel van deze aanpak is dat mogelijke benedenstroomse effecten van het Zandmaasproject wegvallen in de vergelijking en dat de effecten van de aanleg van de DGR-kaden zichtbaar worden. Zoals zichtbaar is in Figuur 6-4 heeft het Voorkeursalternatief 2003 voorbij rkm 69 (Heel) geen benedenstroomse effecten. De kleine verhogingen bij rkm 105 en rkm 125 worden veroorzaakt door de in 1995 aangelegde DGR-kaden. Wat opvalt is de zeer grote verhoging van circa 0,40 m bij rkm 52-53. Dit wordt veroorzaakt door een combinatie van de aangelegde DGR-kaden en de vrije natuurontwikkeling in het gebied van de WML, zoals voorspeld met de ecotopengenerator.



Tabel 6-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in het Voorkeursalternatief 2003 bij verschillende hoogwaters op verschillende locaties t.o.v. de Referentiesituatie

Rkm	Plaats	Hoogwatergolf				Verschil t.o.v. Referentiesituatie				t.o.v. AO'
		1/50	1/115	1/250	1/1250	1/50	1/115	1/250	1/1250	1/1250
9	Maastricht	146	147	147	146	0	1	1	-1	-1
16	Borgharen	148	147	148	147	1	0	1	0	1
61	Stevensweert	158	158	158	155	1	1	0	-2	-2
81	Roermond	171	173	172	173	-1	3	-1	-1	-4
100	Venlo	174	177	175	178	-1	-1	-2	1	-6
155	Gennep	192	195	192	202	-2	-15	-11	-10	-6
230	Den Bosch	215	218	215	223	-7	-12	-11	-7	-5



Figuur 6-5 Tijdreeksen bij Heel (rkm 69), 1/1250 hoogwatergolf

Tabel 6-3 Bovenstroomse effecten (in m) Voorkeursalternatief 2003, alle hoogwatergolven

Rivierkilometer	Hoogwatergolf (1/jaar)				Rivierkilometer	Hoogwatergolf (1/jaar)			
	50	115	250	1250		50	115	250	1250
3	-0,08	-0,07	-0,05	-0,02	10	-0,30	-0,27	-0,23	-0,20
4	-0,10	-0,09	-0,08	-0,03	11	-0,34	-0,31	-0,28	-0,25
5	-0,11	-0,11	-0,08	-0,09	12	-0,38	-0,34	-0,30	-0,28
6	-0,12	-0,11	-0,10	-0,10	13	-0,48	-0,44	-0,38	-0,35
7	-0,16	-0,16	-0,14	-0,14	14	-0,60	-0,55	-0,49	-0,47
8	-0,20	-0,18	-0,16	-0,15	15	-0,67	-0,63	-0,55	-0,58
9	-0,22	-0,19	-0,16	-0,15					

Wanneer gekeken wordt naar de tijdseffecten van het Voorkeursalternatief 2003 (zie Tabel 6-2) geldt dat tot aan Stevensweert de maximale waterstanden bij alle hoogwatergolven op vrijwel hetzelfde moment optreden als in de Referentiesituatie. Benedenstrooms van Stevensweert versnellen de golven iets, en bij Venlo (rkm 100) is de versnelling circa 1 uur. Verder benedenstrooms komen de golven 6 tot 12 uur eerder aan, veroorzaakt door de ingrepen in de Zandmaas.

Bij de 1/1250 hoogwatergolf komt de piek circa twee uur eerder aan bij Heel. Figuur 6-5 laat dat aan de hand van de tijdreeksen bij Heel zien. Zichtbaar is dat in de aanloop van de hoogwatergolf de golf is versneld ten opzichte van de autonome ontwikkeling maar dat dit effect afneemt bij hogere afvoeren. Vlak voor de piek (na ongeveer 164 uur) is het verschil circa 8 uur.

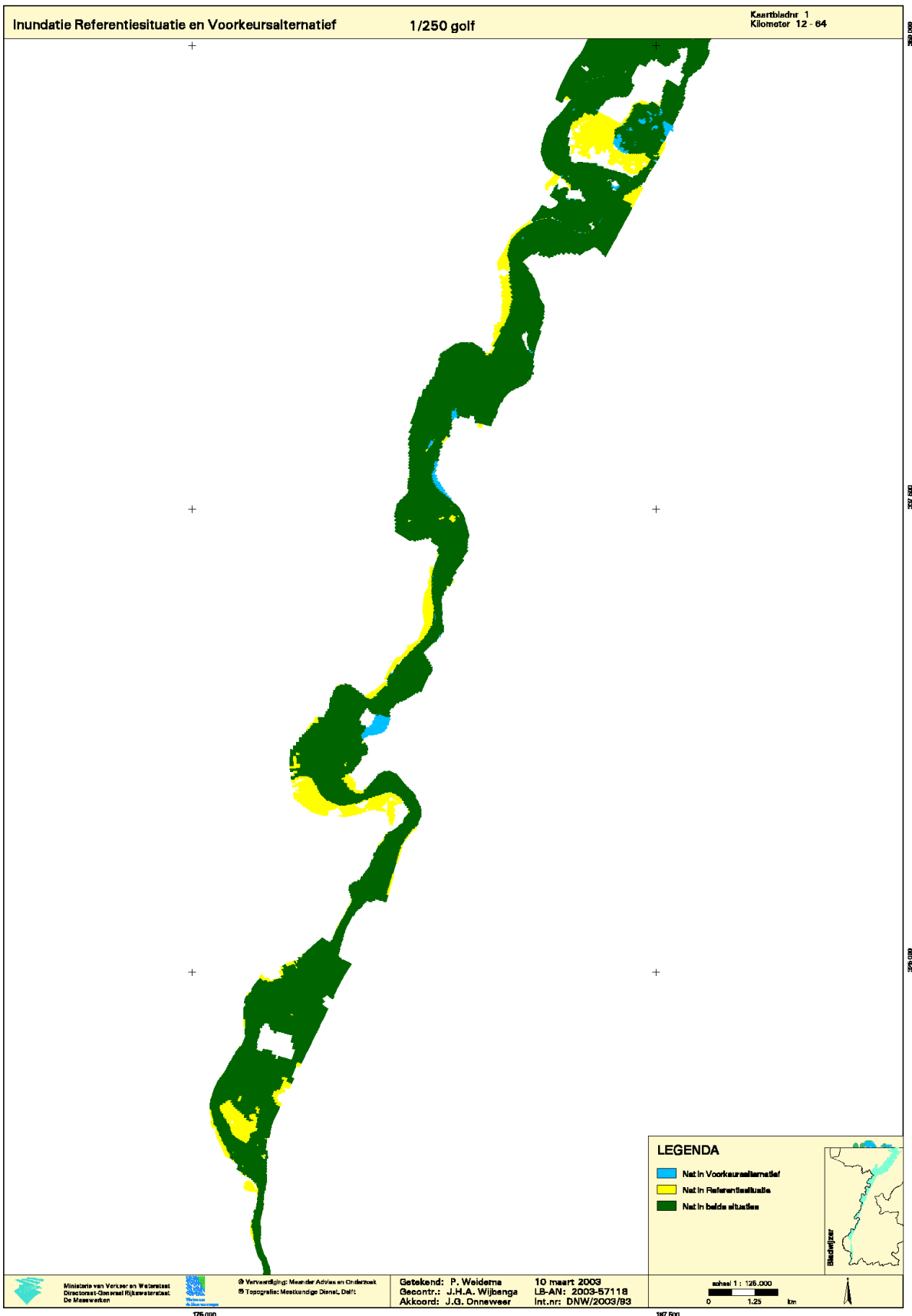
### 6.3.4 Bovenstroomse effecten

Voor de bovenstroomse effecten worden de waterstanden vergeleken met die van de autonome ontwikkeling voor alle vier de hoogwatergolven. In Tabel 6-3 staat per rivierkilometer een overzicht van het bovenstroomse effect van het Voorkeursalternatief 2003. Zichtbaar is dat de waterstandsverlagende effecten van het Voorkeursalternatief 2003 tot bij Eijsden merkbaar zijn en toenemen bij lagere hoogwaters. Zoals zichtbaar is in Figuur 6-2 nemen de snelheden op het traject rkm 4 – 14 nauwelijks toe ten opzichte van de Referentiesituatie. Dit komt doordat de waterstandsvaling maximaal 0,60 m is (de 1/50 hoogwatergolf), overeenkomend met ongeveer 7,5% van de waterdiepte van ongeveer 8,0 m. De snelheden zullen dus ruwweg met 7,5% toenemen bij deze golf. Omdat de snelheden nergens boven de 3,0 m/s komen leidt dit niet tot problemen.

### 6.3.5 Laagwater effecten

De ingrepen uit het Voorkeursalternatief 2003 zijn aangelegd op een hoogte waarbij de waterstanden bij lage afvoeren (minder dan 40 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen) niet worden beïnvloed door de rivierverruiming. De aangebrachte bodembeschermingen beïnvloeden de waterstanden bij lage afvoeren echter wel en zorgen op de trajecten rkm 28 – 29 en rkm 38 – 41 voor een verhoging van circa 0,10 m.

De afvoer waarbij de ingrepen mee gaan stromen varieert sterk. Bij een afvoer van 40 m<sup>3</sup>/s raken de ingrepen Itteren, Aan de Maas en Meers overstromd. Bij 60 m<sup>3</sup>/s worden Borgharen, Grevenbicht (met uitzondering van de Elba nevengeul) en de lagere delen van de Koeweide, Visserweert (met uitzondering van de nevengeul) en Roosteren stromend. Bij 100 m<sup>3</sup>/s staat het verlaagde deel van de Koeweide volledig onder water en komen de lagere delen van Bosscherveld onder water te staan. Bij 200 m<sup>3</sup>/s worden de ingrepen bij Urmond en Nattenhoven en de drie nevengeulen (Maasband, Grevenbicht en Visserweert) overstromd.



Figuur 6-6 Inundatiegebied 1/250 hoogwatergolf; Referentiesituatie en Voorkeursalternatief

### 6.3.6 Inundatiegebied

De verandering in inundatiegebied ten gevolge van de ingrepen uit het Voorkeursalternatief 2003 (zowel de rivierverruiming als de kade-aanpassingen) leiden tot een verandering van het gebied dat overstroomd raakt bij een 1/1250 hoogwatergolf. Dit wordt zichtbaar gemaakt in Figuur 6-6, waar voor zowel de autonome ontwikkeling als het Voorkeursalternatief 2003 het inundatiegebied bij een 1/1250 hoogwatergolf wordt gepresenteerd.

Duidelijk zichtbaar is dat vrijwel alle omkade gebieden in de autonome ontwikkeling bij een 1/1250 hoogwatergolf inunderen. Slechts delen van Urmond, Nattenhoven, Grevenbicht en Ohé en Laak blijven droog. In het Voorkeursalternatief 2003 inunderen bij deze 1/1250 hoogwatergolf beduidend minder gebieden. Enkel Maasband en delen van Meers, Kokkelert en Roosteren komen nog onder water te staan.

Het hier aangegeven inundatiegebied heeft géén relatie met het juridische winterbed maar is enkel het resultaat van een WAQUA-berekening en dient ter illustratie van de verandering in het geïnundeerde gebied tengevolge van de rivierverruiming en de kade-aanpassingen.

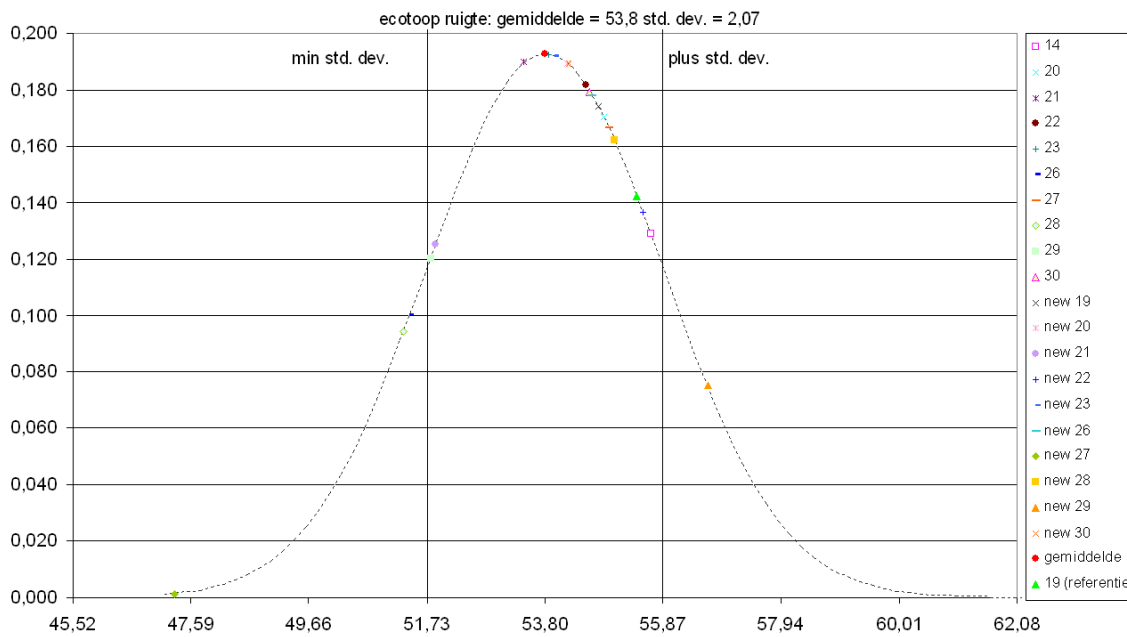
### 6.4 De WML-natuurontwikkeling bij Roosteren (deel 2)

In Paragraaf 5.4 is aangegeven dat de beperkte WML-natuurontwikkeling bij Roosteren in de autonome ontwikkeling bij de verschillende hoogwatergolven zorgt voor een waterstandstijging van circa 0,06 m. In het Voorkeursalternatief 2003 wordt de natuurontwikkeling bij Roosteren wel vrijgelaten en conform de verwachting is de stijging van de waterstanden groter dan in de autonome ontwikkeling. Bij rkm 52 is bij de 1/250 hoogwatergolf de stijging 0,28 m; bij de 1/1250 hoogwatergolf stijgen de waterstanden zelfs met 0,40 m.

In Paragraaf 6.3.2 is al aangegeven dat een deel van de stijging bij rkm 53 wordt veroorzaakt door de ingreep bij Roosteren. De verhoging die hierdoor wordt veroorzaakt bedraagt 0,11 m. De resterende verhoging wordt dus veroorzaakt door de WML-natuurontwikkeling en die bedraagt dan 0,17 m respectievelijk 0,29 m. Het is duidelijk dat de Grensmaasingrepen deze verhoging niet kunnen compenseren. Dit betekent dat de natuurontwikkeling bij Roosteren niet ongecontroleerd mag ontwikkelen

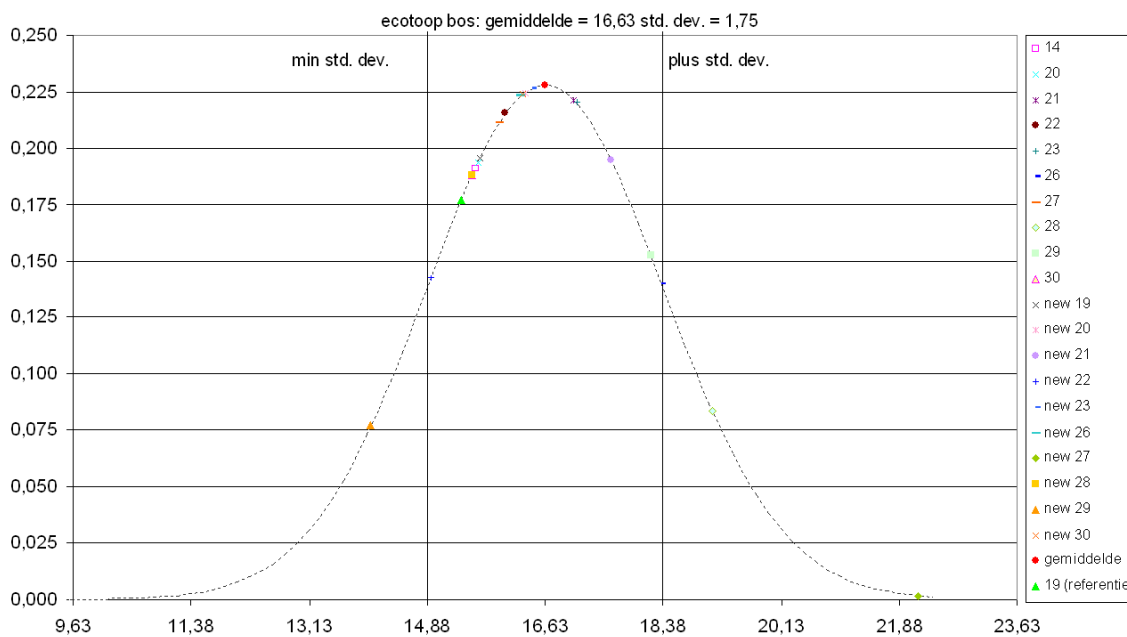
Tabel 6-4 Statistische verdeling ecotopengroepen

ecotopen-groep	ecotopen verdeling (%)		
	instelling	gemiddelde	std. afwijk.
ruigte	49,00	53,87	2,10
Bos	20,00	16,56	1,79
grasland	21,00	19,64	0,42
Grind	10,00	9,93	0,29



Figuur 6-7 Verdelingen ecotopenkaarten, ecotoopgroep ruigte

Figuur 6-8 Verdelingen ecotopenkaarten, ecotoopgroep bos



## 6.5 Gevoeligheidsanalyse ecotopenkaarten

Zoals al is beschreven in Paragraaf 2.2.3 worden de ruwheden in het WAQUA-model bepaald op basis van ecotopenkaarten. Deze ecotopenkaarten worden door een applicatie gemaakt waarbij gebruik wordt gemaakt van stroombeelden en waterdiepten bij verschillende afvoeren, een initiële verdeling van de ecotopen en een procentuele verdeling van het uiteindelijke natuurbeeld (bijvoorbeeld 49% ruigte, 20% bos, 21% grasland en 10% grindeilanden). Met deze gegevens kan vervolgens de gewenste ecotopenkaart worden gemaakt.

De aldus gemaakte ecotopenkaart is slechts één van de vele mogelijke natuurbeelden. Omdat natuurontwikkeling altijd met een bepaalde mate van onzekerheid omgeven is zit er in de applicatie een randomcomponent. Door (op basis van dezelfde gegevens) de applicatie meerdere keren te draaien kunnen verschillende ecotopenkaarten worden gegenereerd. Wanneer nu met iedere ecotopenkaart een WAQUA-berekening wordt gemaakt kan een indruk worden verkregen van de gevoeligheid van het WAQUA-model voor variaties in natuurontwikkeling.

Voordat echter kan worden begonnen met de analyse van de WAQUA-resultaten zal er een selectie van ecotopenkaarten gemaakt moeten worden. De methode die is gevolgd om de selectie van beschikbare ecotopenkaarten te maken staat beschreven in Paragraaf 6.5.1. In Paragraaf 6.5.2 worden de resultaten van de berekeningen beschreven. Een uitgebreidere beschrijving van de gevolgde werkzaamheden staat beschreven in Bijlage 3.

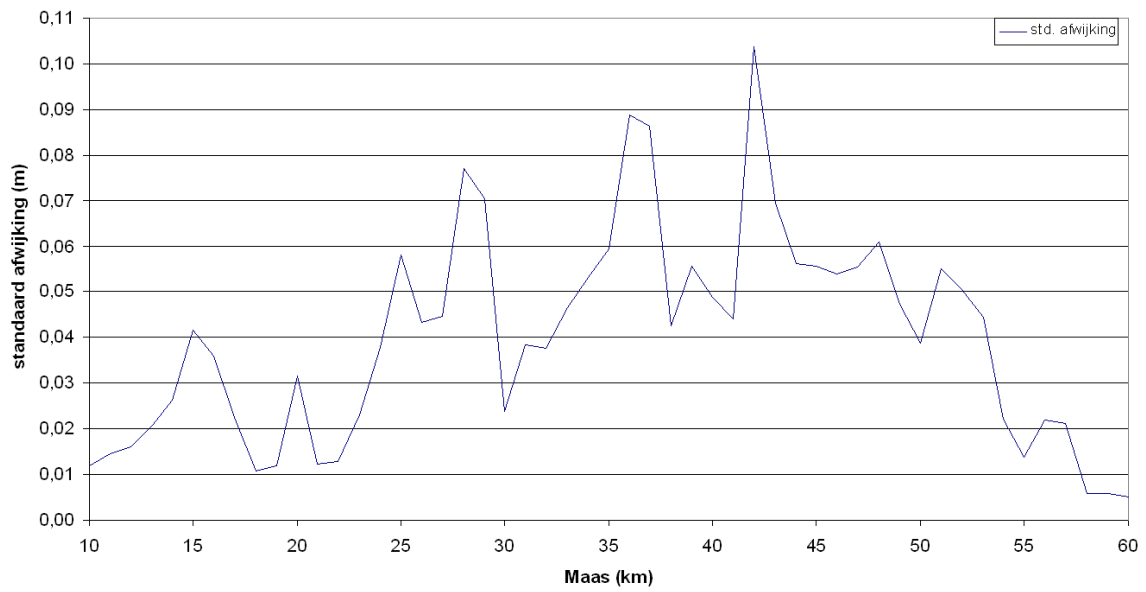
### 6.5.1 Selectie ecotopenkaarten

Ten behoeve van deze gevoeligheidsanalyse zijn (naast de referentie ecotopenkaart) negentien andere ecotopenkaarten gemaakt. De ecotopengenerator heeft, voor het genereren van de ecotopenkaarten, de keus uit een ongeveer twintig verschillende ecotopen. De ecotopen kunnen worden geclusterd in vier groepen: ruigte, bos, grasland en grind.

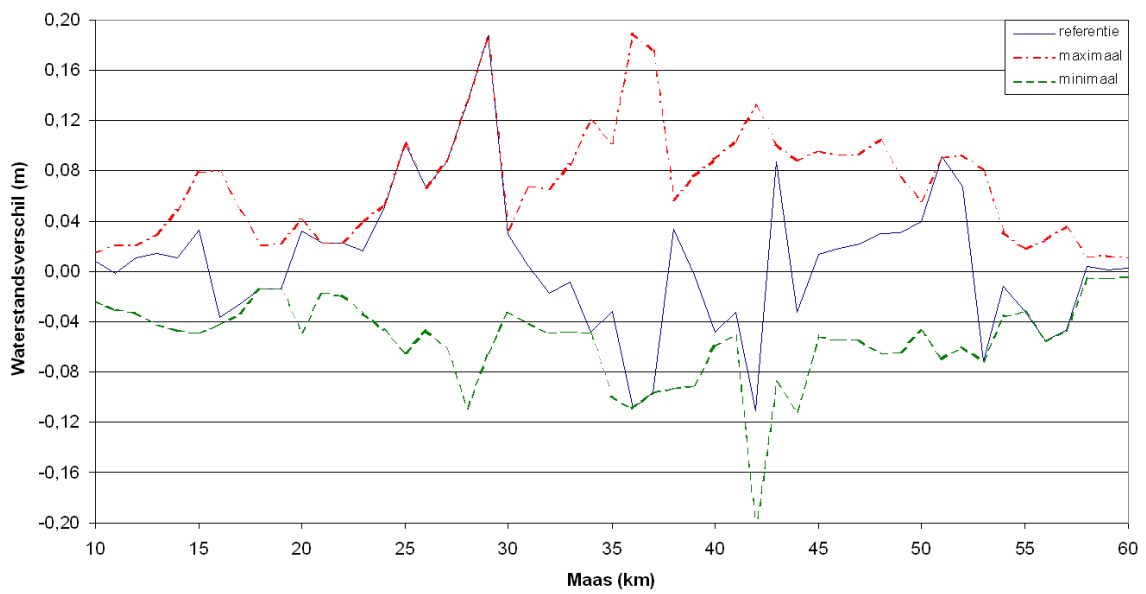
De eerste stap in de analyse is het bepalen van de verdelingen van de vier ecotopengroepen uit de verschillende ecotopenkaarten. Het resultaat van deze verdeling staat in *Tabel 6-4*. De berekende waarden wijken (met name voor bos) soms fors af van de ingestelde waarden.

Hoe zijn de verschillende ecotopen nu precies verdeeld? Daartoe zijn voor de vier ecotopen grafieken van de verdelingen gemaakt op basis van de hierboven gevonden gemiddeldes en varianties. Voor de ecotopengroepen ruigte en bos laten Figuur 6-7 en Figuur 6-8 de kansverdelingen zien.

Vervolgens zijn negen ecotopenkaarten geselecteerd op basis van hun afwijking tot het gemiddelde. Gekozen is voor die ecotopenkaarten die het dichtst bij de gemiddelde ecotopen zitten. De tiende ecotopenkaart is de kaart die hoort bij de referentieberekening voor het Voorkeursalternatief. Met de negen geselecteerde ecotopenkaarten zijn WAQUA-ruwheidsbestanden gemaakt en hiermee zijn vervolgens negen berekeningen uitgevoerd in het model van het Voorkeursalternatief 2003 met een 1/250 hoogwatergolf. De resultaten van deze negen berekeningen worden in Paragraaf 6.5.2 vergeleken met die van het WAQUA-model dat is gebaseerd op de referentie ecotopenkaart.



Figuur 6-9 Standaard afwijking in maximale waterstanden t.g.v. ecotopen ontwikkelingen



Figuur 6-10 Verschil referentie berekening en gemiddelde, maximale en minimale waterstanden

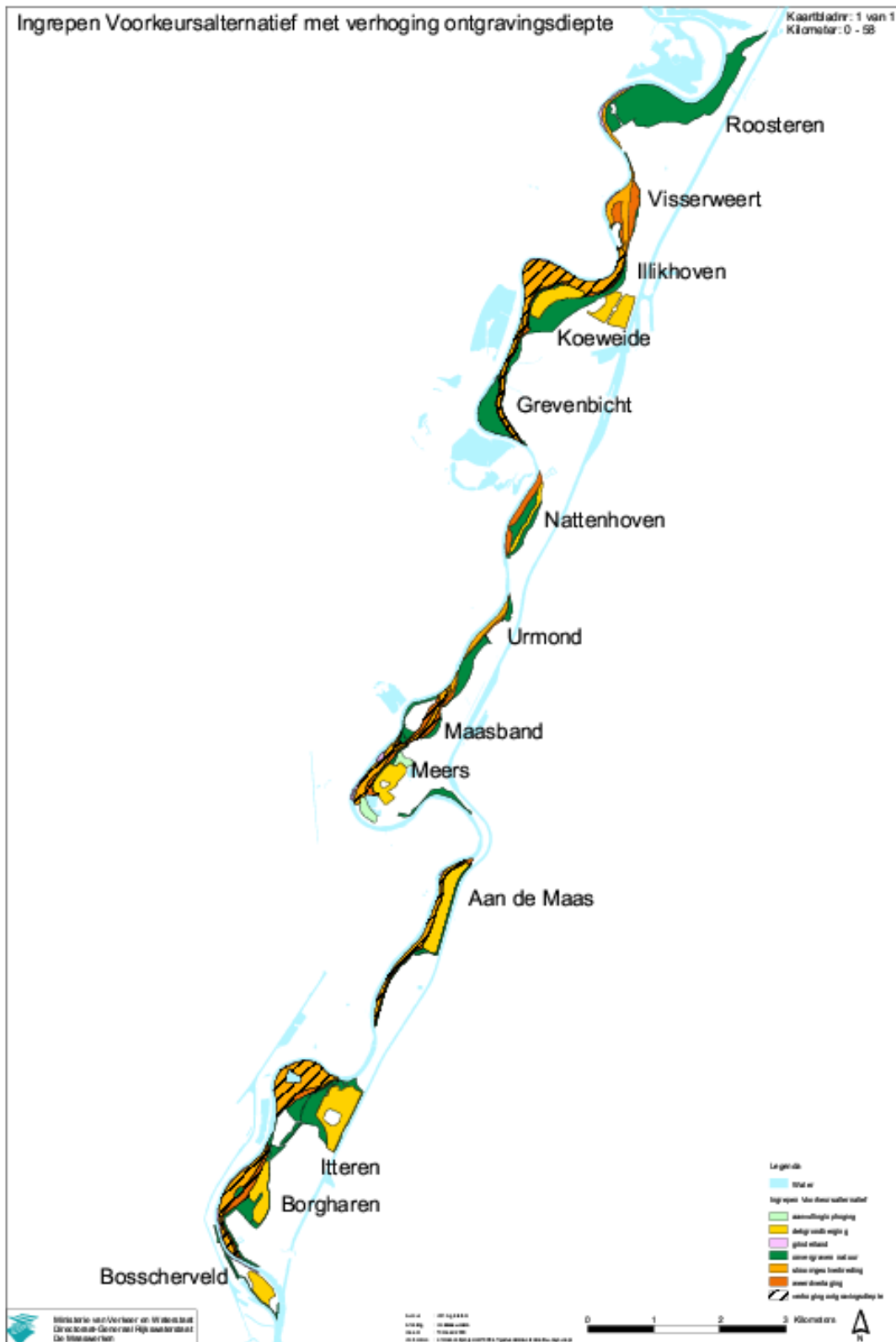
### 6.5.2 Resultaten gevoeligheidsanalyse

In Bijlage 4 is een tabel opgenomen met daarin de maximale waterstanden zoals die zijn berekend met gebruikmaking van de tien geselecteerde ecotopenkaarten. Vervolgens is per rivierkilometer de standaard afwijking bepaald. Deze standaard afwijking wordt gepresenteerd in Figuur 6-9. Een hoge waarde in de grafiek betekent dat de resultaten zeer veranderlijk zijn en dus gevoelig voor veranderingen in de ecotopen.

De resultaten tonen drie trajecten die gevoelig zijn voor veranderingen in de ecotopen (een standaard afwijking van 0,05 m of meer). Het gaat hier om rkm 24 – 29 (Aan de Maas), rkm 33 – 37 (Meers - Urmond) en rkm 39 – 53 (Nattenhoven – Roosteren). Binnen deze trajecten zijn drie locaties aan te wijzen die zeer gevoelig zijn voor veranderingen (een standaard afwijking van meer dan 0,07 m). Dit zijn rkm 28 – 29 (de flessenhals bij Aan de Maas), rkm 35 – 37 (de flessenhals bij Urmond) en rkm 42 – 43 (de flessenhals bij Grevenbicht).

Het is verder interessant om na te gaan hoe de berekende waterstanden uit Paragraaf 6.3 (de referentieberekening *vka-t250*, gebaseerd op ecotopenkaart 19) zich verhouden tot het gemiddelde, maximum en minimum van de hier berekende waterstanden. Deze vergelijking wordt gemaakt in Figuur 6-10. Zichtbaar is dat waterstanden uit de referentieberekening op het traject rkm 24 – 30 meer dan 0,04 m boven de gemiddelde waterstand liggen, en op de trajecten rkm 34 – 37 en rkm 53 – 57 ongeveer 0,04 m onder de gemiddelde waterstand. Verder laat Figuur 6-10 het waterstandsverschil zien met de maximale en minimale waterstanden (zoals berekend op basis van de verschillende ecotopenkaarten).





Figuur 6-11 Ingrepen Voorkeursalternatief 2003 met verhoging ontgravingsdiepte

## 7 Voorkeursalternatief 2003 met verhoging ontgravingsdiepte

### 7.1 Inleiding

Het Voorkeursalternatief 2003 met een verhoogde ontgravingsdiepte (VKA\_P) is een aangepast ontwerp van het Voorkeursalternatief 2003. Zoals al in Paragraaf 1.5 is aangegeven wordt in dit ontwerp rekening gehouden met een zekere mate van onzekerheid bij het ontgraven van het winterbed. De verwachting is dat de bandbreedte +/- 0,5 m zal zijn. Het voorliggende ontwerp gaat uit van de situatie dat de ontgravingsdiepte over het geheel aan de bovenkant uitkomt van de bandbreedte. Het ontwerp waarbij de ontgravingsdiepte aan de onderkant van de bandbreedte uitkomt wordt beschreven in Hoofdstuk 8.

De ingrepen van het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m worden gemodelleerd in het WAQUA-model van het standaard Voorkeursalternatief 2003. In Paragraaf 7.2 wordt een opsomming gegeven van de wijzigingen die in het model van het Voorkeursalternatief 2003 zijn aangebracht om de situatie met een verhoogde ontgravingsdiepte te kunnen weergeven. De resultaten van de berekeningen met dit ontwerp worden besproken Paragraaf 7.3.

### 7.2 Algemeen

Het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m voor de Grensmaas bestaat uit dezelfde twaalf ingrepen als van het Voorkeursalternatief 2003 maar met een aangepaste ontgravingsdiepte bij zeven ingreeplocaties. Een overzicht staat in Figuur 6-11. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar (De Maaswerken, 2003).

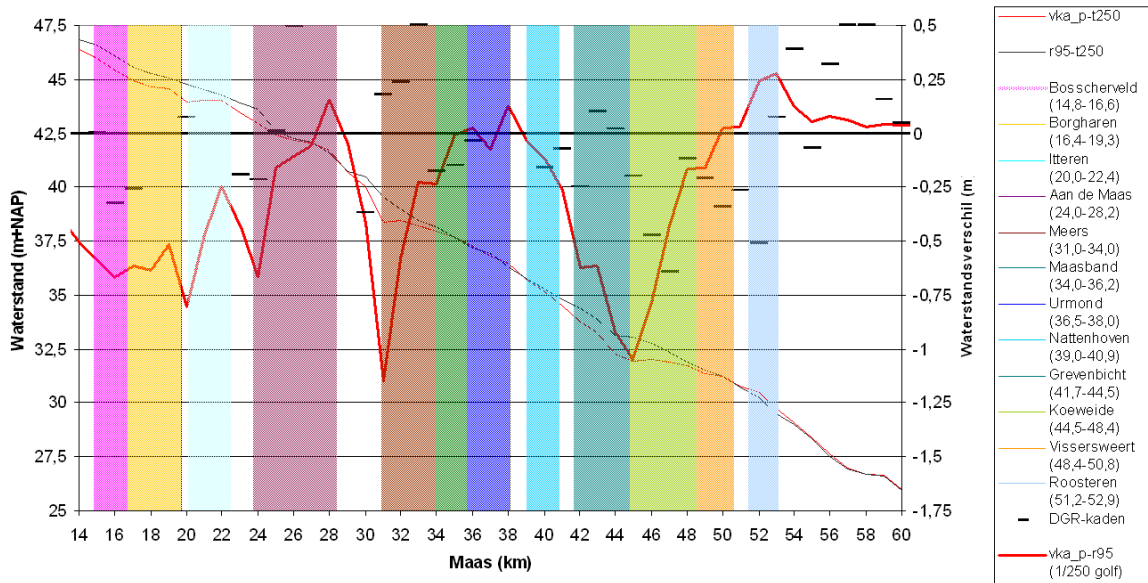
De criteria bij het vaststellen van de ontgravingsdiepte waren hetzelfde als bij het Voorkeursalternatief 2003, zie Paragraaf 6.2. De locaties Roosteren en Proefproject Meers zijn onveranderd gelaten omdat ze geen deel uitmaken van het Voorkeursalternatief 2003. De ontgravingsdiepte bij Visserweert is gelijk gebleven omdat het beschermingsniveau in het Voorkeursalternatief 2003 al niet gehaald kan worden zonder kade-aanpassingen. Wanneer hier de ontgravingsdiepte ook zou worden verhoogd zou de kade-aanpassing nog hoger worden. Voor Urmond en Nattenhoven geldt dat verhoging van de ontgravingsdiepte zou leiden tot een bodemhoogte boven die van de waterstand behorende bij een afvoer van 125 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen.

Een consequentie van het verhogen van de ontgravingsdiepte is dat ook de ecotopenontwikkeling anders zal worden. Door het hogere bodemniveau kan struweel overgaan in zacht hout ooibos, en zacht hout ooibos kan veranderen in hardhout ooibos. Om wel een goede vergelijking met het Voorkeursalternatief 2003 mogelijk te maken is besloten dat het vlekkenpatroon van de ecotopenkaart niet mag veranderen van ligging, alleen van type. Een volledige beschrijving van het WAQUA-model voor dit ontwerp staat in (Van den Braak, 2002).

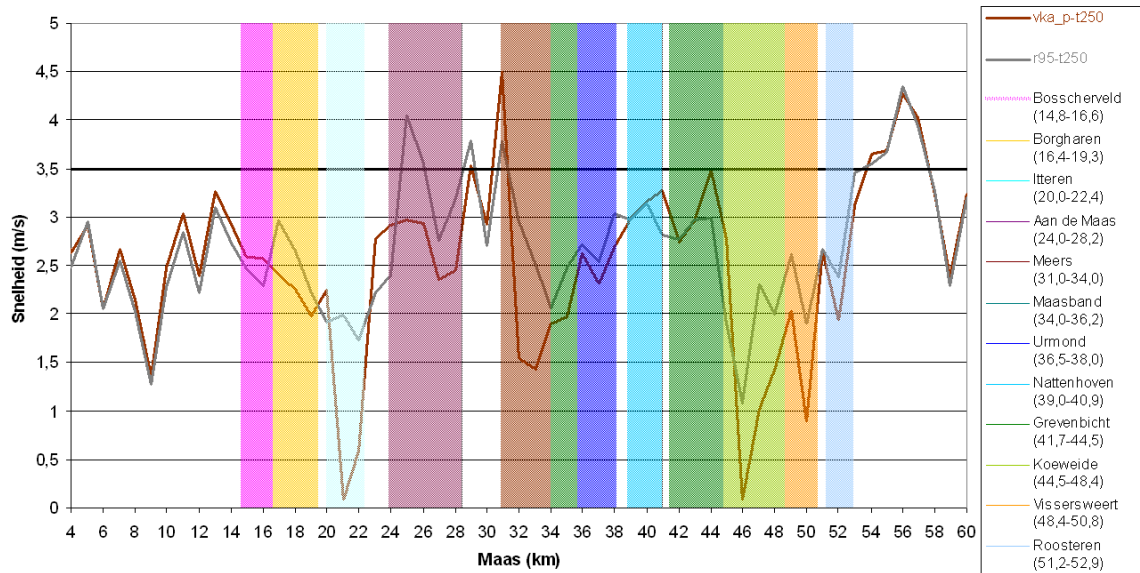
### 7.3 Hydraulica

#### 7.3.1 Veiligheid

In Figuur 7-1 is zichtbaar wat het effect is van de maatregelen uit het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m ten opzichte van de Referentiesituatie. De waterstandsdalingen zijn minder groot dan de dalingen uit het Voorkeursalternatief 2003. De maximale daling bedraagt circa 1,1 m en treedt op bij Meers. Gemiddeld is de daling circa 0,27 m, ongeveer 10% minder groot dan in het Voorkeursalternatief 2003.



Figuur 7-1 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m: waterstanden bij een 1/250 hoogwatergolf



Figuur 7-2 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m: stroomsnelheden bij een 1/250 hoogwatergolf

Tabel 7-1 Noodzakelijke kade-aanpassingen Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m (uitgaande van cyclische verjonging)

Omkaad gebied	Mate van kade-aanpassingen		
	Traject (rkm)	Lengte (km)	Gemiddelde verhoging (m)
Maasband	34 – 35	0,7	0,20
Meers	34 - 36	0,5	0,95
Obbicht	40 – 41	0,2	0,50
Roosteren	50 - 54	3,1	0,15

Lokaal treedt ten opzichte van de Referentiesituatie een verhoging van de waterstand op van circa 0,15 m, met name bij rkm 28 en tussen rkm 35 – 38. Benedenstrooms van rkm 51 bedraagt de verhoging zelfs 0,28 m. Verder laat Figuur 7-1 zien dat de ingrepen niet overal ervoor zorgen dat de huidige kades het beoogde beschermingsniveau van 1/250 per jaar geven. Met name bij Visserweert en Roosteren zijn kade-aanpassingen noodzakelijk om dit beschermingsniveau te bereiken. Bij een 1/1250 hoogwatergolf raken Borgharen, Voulwames, Aan de Maas, Maasband, Visserweert, Kokkelert en Roosteren geïnundeerd.

De combinatie van rivierverruiming met bodembescherming zorgen ervoor dat de stroomsnelheden in het Voorkeursalternatief 2003 in het algemeen onder die van de Referentiesituatie liggen, zie Figuur 7-2. Enkel ter hoogte van rkm 31 (Meers) en bij Roosteren (rkm 52 – 55) liggen de snelheden boven de 3,5 m/s. Op het traject rkm 40 – 44 worden de snelheden hoger dan in de Referentiesituatie maar niet hoger dan 3,5 m/s. Dit is ook zichtbaar in Bijlage 5 waar in Figuur 4 een bovenaanzicht van het snelheidsveld wordt getoond.

In de grote verbredingen bij Itteren en Grevenbicht (de Koeweide) worden de snelheden in het oorspronkelijke zomerbed ongeveer 0,10 m/s. Dit komt doordat de stroming hier 'de bocht afsnijdt'. Op deze twee locaties treedt de maximale stroomsnelheid op in de verbredingen, niet meer in het zomerbed.

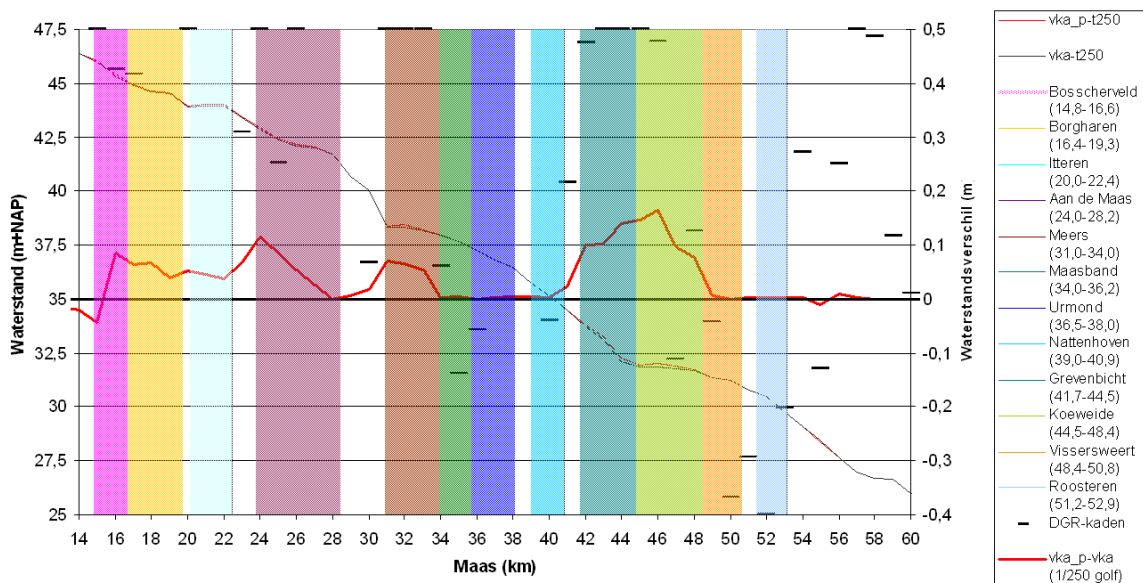
In Tabel 7-1 is zichtbaar op welke kade-aanpassingen noodzakelijk zijn om het beoogde beschermingsniveau te bereiken. Opgemerkt wordt dat hierbij wordt uitgegaan van cyclische verjonging, waarbij lokale verhogingen van de waterstand (zie Figuur 7-1) worden voorkomen. Voor het Voorkeursalternatief + 0,5 m is in totaal 4,5 kilometer aan kadeverhoging noodzakelijk. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de verlegging van de kade bij Grevenbicht (circa 1,3 km lengte) ten gevolge van de nevengeul. Indien geen cyclische verjonging zou worden toegepast is circa 10 kilometer kadeaanpassing noodzakelijk.

Ook aan Vlaamse zijde zijn minder kade-aanpassingen nodig (in vergelijking met de autonome ontwikkeling). Enkel bij Aldeneik, Heppeneert en Leut zijn nog, over een totale lengte van 1,1 km, kade-aanpassingen noodzakelijk. De gemiddelde verhoging bedraagt 0,60 m.

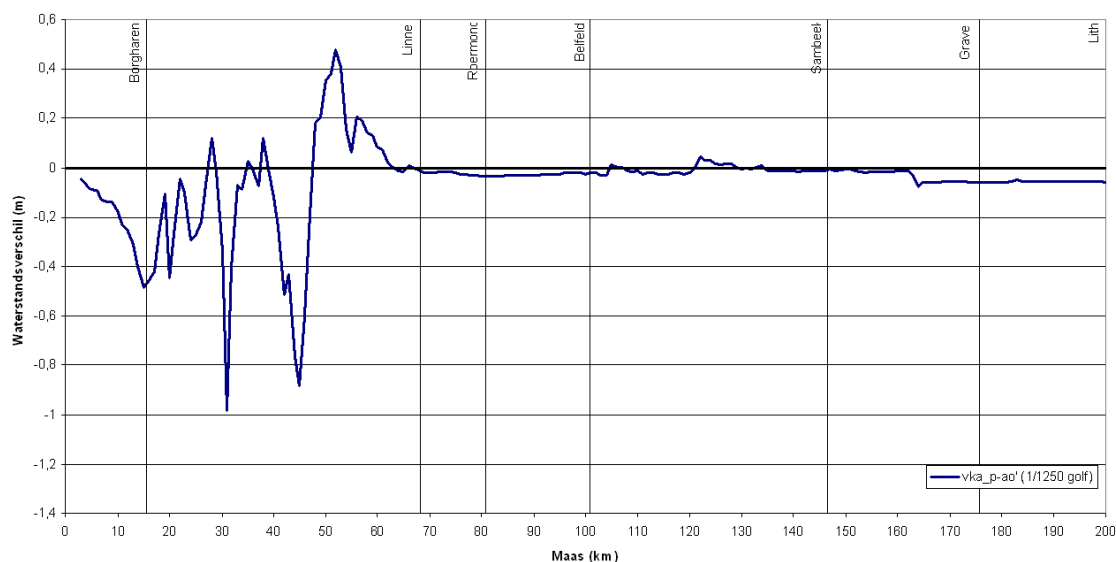
Bij het vergelijken van de waterstanden van het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m met die van het Voorkeursalternatief 2003 komt de verhoging van de ontgravingsdiepte duidelijk naar voren. In Figuur 7-3 is zichtbaar dat de waterstanden ter plaatse van de veranderingen hoger liggen dan in het Voorkeursalternatief 2003. Gemiddeld is de stijging 0,04 m met een uitschieter van 0,16 m in de Koeweide.

### **7.3.2 Vergunbaarheid**

Zoals al is opgemerkt in Paragraaf 7.3.1 ontstaan lokaal verhogingen ten opzichte van de Referentiesituatie. De hydraulische oorzaken van deze verhogingen zijn al beschreven in Paragraaf 6.3.1 en zijn ook hier van toepassing. Het is mogelijk om de waterstanden van dit ontwerp onder die van het Referentieniveau te krijgen door cyclische verjonging toe te passen. Enkel benedenstrooms van Roosteren blijft een kleine lokale verhoging aanwezig welke inherent is aan de rivierverruimende maatregelen.



Figuur 7-3 Waterstandseffect Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m t.o.v. Voorkeursalternatief 2003



Figuur 7-4 Benedenstroomse effecten Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m , 1/1250 hoogwatergolf

Tabel 7-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m bij verschillende hoogwaters op verschillende locaties t.o.v. de Referentiesituatie

Rkm	Plaats	Hoogwatergolf				Verschil t.o.v. Referentiesituatie				t.o.v. AO'
		1/50	1/115	1/250	1/1250	1/50	1/115	1/250	1/1250	1/1250
9	Maastricht	146	146	146	148	0	0	0	1	1
16	Borgharen	148	148	147	149	0	1	1	2	2
61	Stevensweert	164	157	157	155	7	0	-1	-2	-2
81	Roermond	177	172	171	169	5	2	-2	-4	-7
100	Venlo	180	176	174	178	5	-1	-3	1	-6
155	Gennep	197	194	191	203	3	-15	-12	-9	-5
230	Den Bosch	223	218	215	223	2	-12	-11	-7	-6

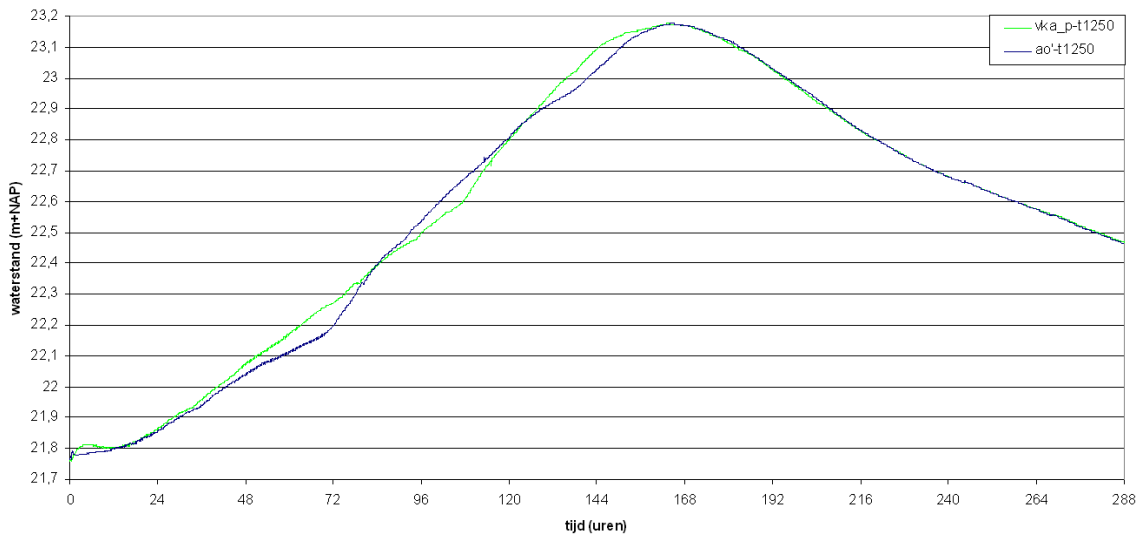
### 7.3.3 Benedenstroomse effecten

Voor benedenstroomse effecten worden de waterstanden vergeleken met die van de autonome ontwikkeling inclusief de correctie voor de aangelegde DGR-kaden (zie Paragraaf 4.3).

Zoals zichtbaar is in Figuur 7-4 heeft het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m voorbij rkm 69 (Heel) geen benedenstroomse effecten. De kleine verhogingen bij rkm 105 en rkm 125 worden veroorzaakt door de in 1995 aangelegde DGR-kaden. Wat opvalt is de zeer grote verhoging van circa 0,40 m bij rkm 52-53. Dit wordt veroorzaakt door een combinatie van de aangelegde DGR-kaden en een vrije natuurontwikkeling in het gebied van de WML en benedenstrooms daarvan.

Wanneer gekeken wordt naar de tijdseffecten van het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m (zie Tabel 7-2) geldt dat tot Stevensweert de maximale waterstanden bij alle hoogwatergolven op vrijwel hetzelfde moment optreden als in de Referentiesituatie. Voor de 1/50 hoogwatergolf geldt dat deze nu vertraagd ten opzichte van de Referentiesituatie (en ook het oorspronkelijke Voorkeursalternatief 2003). Benedenstrooms van Stevensweert versnellen de golven iets, en bij Venlo (rkm 100) is de versnelling circa 2 uur. Verder benedenstrooms komen de golven 6 tot 12 uur eerder aan, veroorzaakt door de ingrepen in de Zandmaas.

Bij de 1/1250 hoogwatergolf komt de piek circa twee uur eerder aan bij Heel. Wanneer gekeken wordt naar de tijdseffecten van het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m geldt dat deze gelijk zijn aan die van Voorkeursalternatief 2003. De maximale waterstanden bij de 1/1250 hoogwatergolf treden circa twee uur eerder op benedenstrooms van Heel. Verhoging van de ontgravingsdiepte leidt dus niet tot een aanpassing van de looptijd. Dit is ook zichtbaar in de tijdreeksen van de waterstanden bij Heel. Figuur 7-5 laat de tijdreeksen bij Heel zien voor de autonome ontwikkeling en het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m. Er is geen noemenswaardig verschil zichtbaar tussen de tijdreeks van het Voorkeursalternatief 2003 en die van het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m, zie ook Figuur 6-5.



Figuur 7-5 Tijdreeksen bij Heel (rkm 69), 1/1250 hoogwatergolf

Tabel 7-3 Bovenstroomse effecten (in m) Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m, alle hoogwatergolven

Rivierkilometer	Hoogwatergolf (1/jaar)				Rivierkilometer	Hoogwatergolf (1/jaar)			
	50	115	250	1250		50	115	250	1250
3	-0,08	-0,07	-0,05	-0,01	10	-0,31	-0,27	-0,24	-0,18
4	-0,10	-0,09	-0,08	-0,02	11	-0,34	-0,31	-0,29	-0,22
5	-0,11	-0,11	-0,09	-0,08	12	-0,38	-0,34	-0,31	-0,26
6	-0,12	-0,11	-0,10	-0,08	13	-0,48	-0,44	-0,40	-0,33
7	-0,17	-0,16	-0,15	-0,12	14	-0,60	-0,55	-0,51	-0,43
8	-0,21	-0,18	-0,16	-0,13	15	-0,69	-0,64	-0,59	-0,53
9	-0,22	-0,19	-0,17	-0,13					

### 7.3.4 Bovenstroomse effecten

Voor de bovenstroomse effecten worden de waterstanden vergeleken met die van de autonome ontwikkeling voor alle vier de hoogwatergolven. In Tabel 7-3 staat per rivierkilometer een overzicht van het bovenstroomse effect van het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m. Zichtbaar is dat de waterstandsverlagende effecten van het Voorkeursalternatief 2003 + 0,5 m tot bij Eijsden merkbaar zijn en afnemen bij hogere hoogwaters. De dalingen zijn minder groot dan in het Voorkeursalternatief 2003.

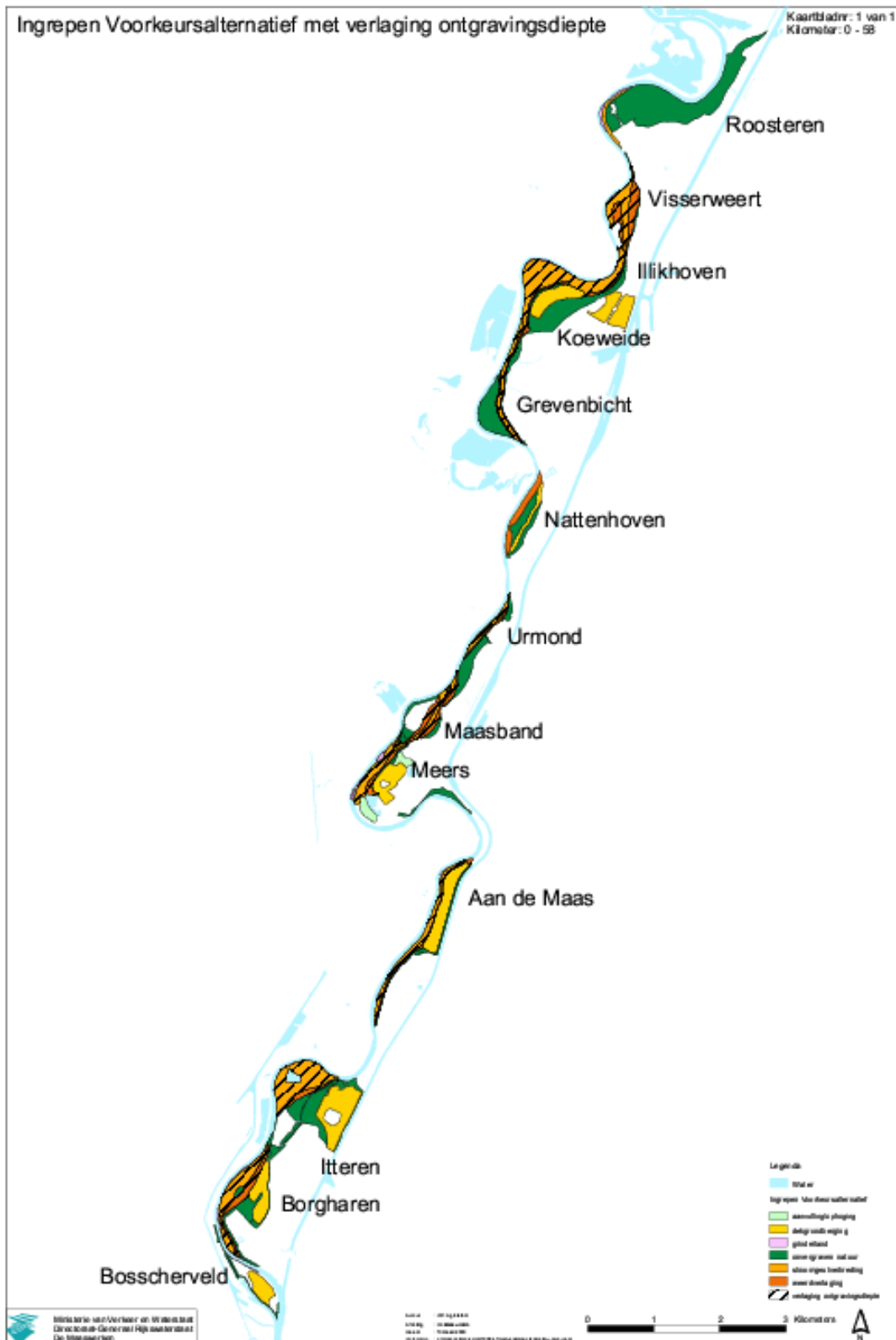
In Figuur 7-2 is zichtbaar dat het effect op de stroomsnelheid bovenstrooms van Borgharen zeer beperkt is.

### 7.3.5 Laagwater effecten

De verhoging van de ontgravingsdiepte van een aantal ingrepen maakt dat deze ingrepen later mee gaan stromen. Bij 40 m<sup>3</sup>/s komt de rivierverruiming bij Itteren onder water te staan. Bij 60 m<sup>3</sup>/s raken de lagere delen van de ingrepen bij Borgharen, Aan de Maas en Meers overstroomd. Bij 100 m<sup>3</sup>/s worden de lager gelegen delen van de Koeweide, Visserweert (met uitzondering van de hoogwatergeul) en Roosteren nat. De nevengeul bij Visserweert gaat meestromen bij een afvoer tussen de 200 en 300 m<sup>3</sup>/s, terwijl de twee andere nevengeulen bij Maasband en Grevenbicht overstroomd raken bij een afvoer tussen de 300 en 500 m<sup>3</sup>/s. Op dat moment is de Bosscherveld nog volledig droog.

De waterstanden bij afvoeren onder de 40 m<sup>3</sup>/s worden dus niet beïnvloed door de rivierverruimende ingrepen maar enkel door de aangebrachte bodembescherming. Net als in het Voorkeursalternatief 2003 kan deze bescherming lokaal voor een verhoging van de waterstand van circa 0,10 m zorgen.





Figuur 7-6 Ingrepen Voorkeursalternatief 2003 met verlaging ontgravingsdiepte

## 8 Voorkeursalternatief 2003 met verlaging ontgravingsdiepte

### 8.1 Inleiding

Het Voorkeursalternatief 2003 met een verlaagde ontgravingsdiepte (VKA\_M) is een aangepast ontwerp van het Voorkeursalternatief 2003. Zoals al in Paragraaf 1.5 is aangegeven wordt in dit ontwerp rekening gehouden met een zekere mate van onzekerheid bij het ontgraven van het winterbed. De verwachting is dat de bandbreedte +/- 0,5 m zal zijn. Het voorliggende ontwerp gaat uit van de situatie dat de ontgravingsdiepte over het geheel aan de onderkant uitkomt van de bandbreedte. Het ontwerp waarbij de ontgravingsdiepte aan de bovenkant van de bandbreedte uitkomt is beschreven in Hoofdstuk 7.

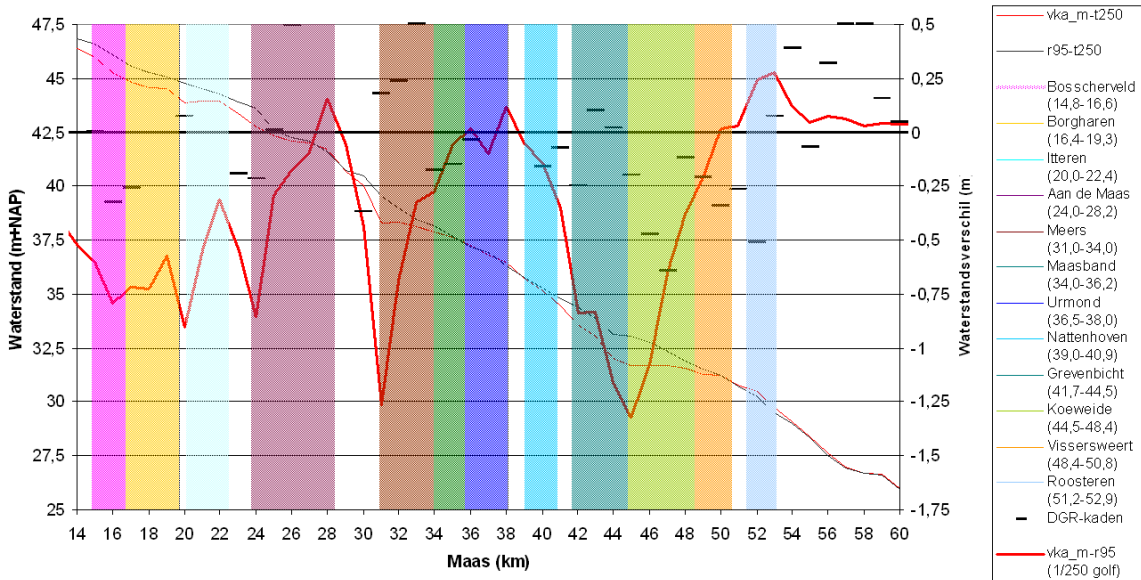
De ingrepen van het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m worden gemodelleerd in het WAQUA-model van het standaard Voorkeursalternatief 2003. In Paragraaf 8.2 wordt een opsomming gegeven van de wijzigingen die in het model van het Voorkeursalternatief 2003 zijn aangebracht om de situatie met een verlaagd ontgravingsdiepte te kunnen weergeven. De resultaten van de berekeningen met dit ontwerp worden besproken Paragraaf 8.3.

### 8.2 Algemeen

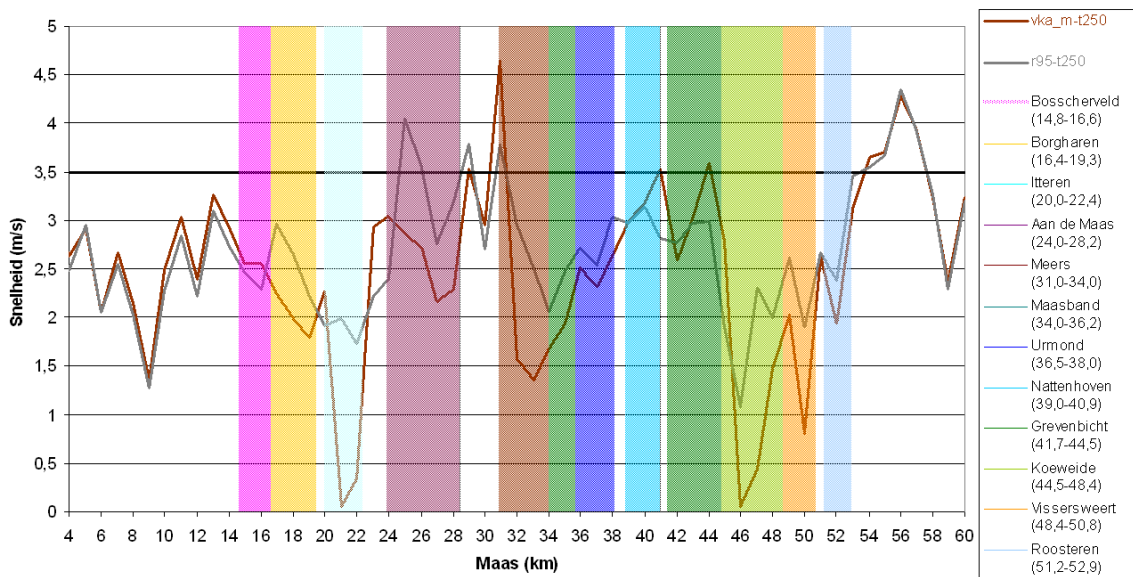
Het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m voor de Grensmaas bestaat uit dezelfde twaalf ingrepen als van het Voorkeursalternatief 2003 maar met een aangepast ontgravingsdiepte bij negen ingreeplocaties. Een overzicht staat in Figuur 7-6. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar (De Maaswerken, 2003).

De criteria bij het vaststellen van de ontgravingsdiepte waren hetzelfde als bij het Voorkeursalternatief 2003, zie Paragraaf 6.2. De locaties Roosteren en Proefproject Meers zijn onveranderd gelaten omdat ze geen deel uitmaken van het Voorkeursalternatief 2003. De locaties Borgharen, Aan de Maas, Meers/Maasband en Urmond voldoen bij een volledige verlaging met 0,5 m niet meer aan de eis 'twee meter grind onder de ontgravingsdiepte aanwezig'. Daarom zijn deze locaties zover als mogelijk verlaagd waarbij nog juist aan deze eis wordt voldaan.

Een consequentie van het verlagen van de ontgravingsdiepte is dat ook de ecotopenontwikkeling anders zal worden. Door het lagere bodemniveau kan zachthout oobos overgaan in struweel, en hardhout oobos kan veranderen in zachthout oobos. Om wel een goede vergelijking met het Voorkeursalternatief 2003 mogelijk te maken is besloten dat het vlekkenpatroon van de ecotopenkaart niet mag veranderen van ligging, alleen van type. Een volledige beschrijving van het WAQUA-model voor dit ontwerp staat in (Van den Braak, 2002).



Figuur 8-1 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m: waterstanden bij een 1/250 hoogwatergolf



Figuur 8-2 Effect van ingrepen Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m: stroomsnelheden bij een 1/250 hoogwatergolf

Tabel 8-1 Noodzakelijke kade-aanpassingen Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m (uitgaande van cyclische verjonging)

Omkaad gebied	Mate van kade-aanpassingen		
	Traject (rkm)	Lengte (km)	Gemiddelde verhoging (m)
Maasband	34 - 35	0,6	0,20
Meers	34 - 36	0,5	0,90
Roosteren	50 - 54	3,0	0,15

## 8.3 Hydraulica

### 8.3.1 Veiligheid

In Figuur 8-1 is zichtbaar wat het effect is van de maatregelen uit het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m ten opzichte van de Referentiesituatie. Te zien is dat de maatregelen leiden tot waterstandsdalingen die iets groter zijn dan de dalingen uit het Voorkeursalternatief 2003. De maximale daling bedraagt circa 1,25 m en treedt op bij Meers en de Koeweide. De gemiddelde waterstandsdaling bedraagt 0,35 m en is ruim 10% groter dan in het Voorkeursalternatief 2003.

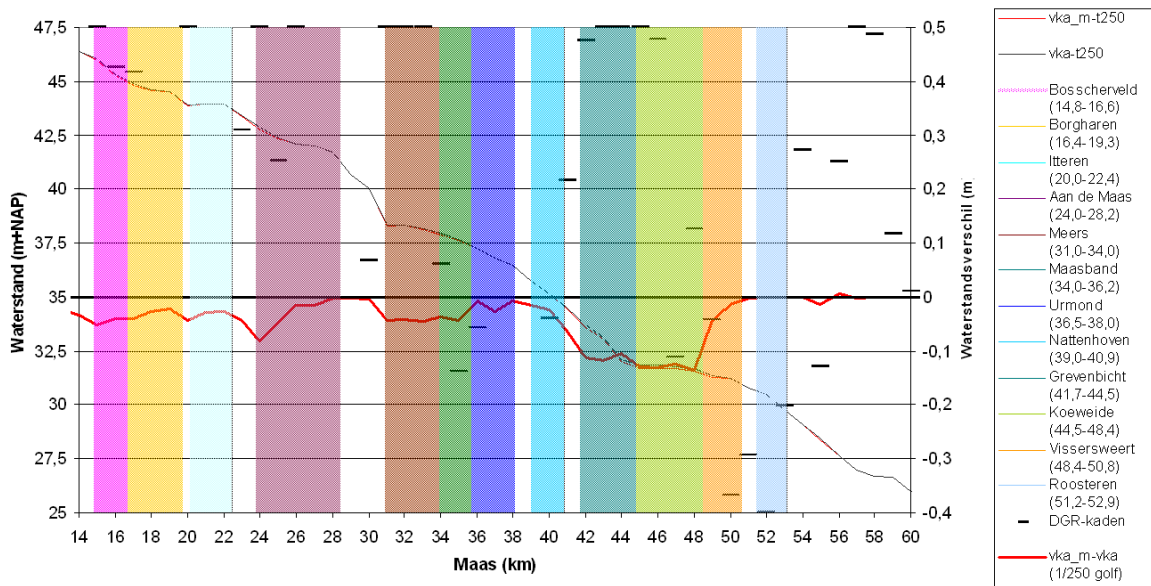
Lokaal treedt ten opzichte van de Referentiesituatie een verhoging van de waterstand op van circa 0,15 m, met name bij rkm 28 en tussen rkm 35 – 38. Benedenstrooms van rkm 51 bedraagt de verhoging zelfs 0,27 m. Figuur 8-1 geeft weer dat de ingrepen vrijwel overal ervoor zorgen de huidige kades het beoogde beschermingsniveau van 1/250 per jaar geven. Enkel bij Maasband, Visserweert en Roosteren zijn kade-aanpassingen noodzakelijk om dit beschermingsniveau te bereiken. Bij een 1/1250 hoogwatergolf raken Borgharen, Voulwames, Aan de Maas, Maasband, Kokkelert en Roosteren geïnundeerd

De combinatie van rivierverruiming met bodembescherming zorgen ervoor dat de stroomsnelheden in het Voorkeursalternatief 2003 in het algemeen onder die van de Referentiesituatie liggen, zie Figuur 8-2. Enkel ter hoogte van rkm 31 (Meers) en bij Roosteren (rkm 52 – 55) liggen de snelheden boven de 3,5 m/s. Op het traject rkm 40 – 44 worden de snelheden hoger dan in de Referentiesituatie maar niet hoger dan 3,5 m/s.

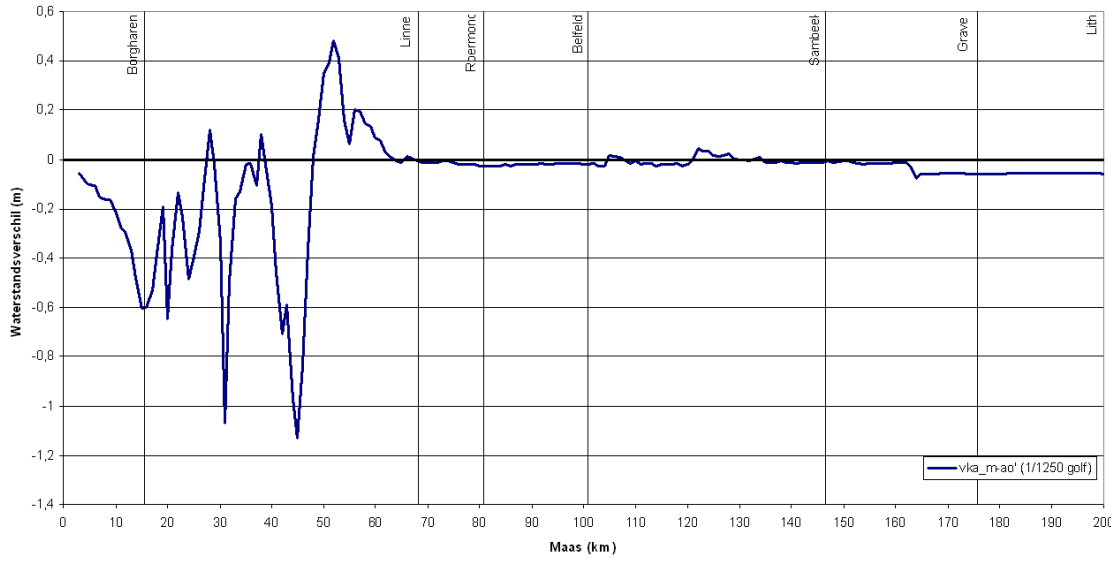
In de grote verbredingen bij Itteren en Grevenbicht (de Koeweide) worden de snelheden in het oorspronkelijke zomerbed bijna 0 m/s. Dit komt doordat de stroming hier 'de bocht afsnijdt'. Op deze twee locaties treedt de maximale stroomsnelheid op in de verbredingen, niet meer in het zomerbed. Ook in het bovenaanzicht van het snelheidsveld (zie Bijlage 5, Figuur 5) is dit duidelijk zichtbaar.

In Tabel 8-1 is zichtbaar op welke kade-aanpassingen noodzakelijk zijn om het beoogde beschermingsniveau te bereiken. Opgemerkt wordt dat hierbij wordt uitgegaan van cyclische verjonging, waarbij lokale verhogingen van de waterstand (zie Figuur 8-1) worden voorkomen. Voor het Voorkeursalternatief - 0,5 m is in totaal 4,1 kilometer aan kadeverhoging noodzakelijk. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de verlegging van de kade bij Grevenbicht (circa 1,3 km lengte) ten gevolge van de nevengeul. Indien geen cyclische verjonging zou worden toegepast is ruim 8 kilometer kadeaanpassing noodzakelijk.

Bij het vergelijken van de waterstanden van het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m met die van het Voorkeursalternatief 2003 komt de verlaging van de ontgravingsdiepte duidelijk naar voren. In Figuur 8-3 is zichtbaar dat de waterstanden ter plaatse van de veranderingen lager liggen dan in het Voorkeursalternatief 2003. Gemiddeld is de verlaging 0,04 m met een uitschieter van 0,13 m in de Koeweide.



Figuur 8-3 Waterstandseffect Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m t.o.v. Voorkeursalternatief 2003



Figuur 8-4 Benedenstroomse effecten Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m, 1/1250 hoogwatergolf

Tabel 8-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m bij verschillende hoogwaters op verschillende locaties t.o.v. de Referentiesituatie

Rkm	Plaats	Hoogwatergolf				Verschil t.o.v. Referentiesituatie				t.o.v. AO'
		1/50	1/115	1/250	1/1250	1/50	1/115	1/250	1/1250	1/1250
9	Maastricht	146	146	147	147	0	0	1	1	0
16	Borgharen	148	147	148	148	0	1	1	2	2
61	Stevensweert	157	158	157	157	0	1	-1	-2	-2
81	Roermond	176	173	171	173	4	3	-2	0	-3
100	Venlo	177	176	174	178	2	-1	-3	1	-6
155	Gennep	196	195	192	202	2	-15	-11	-9	-6
230	Den Bosch	223	218	214	223	1	-12	-12	-7	-5

### 8.3.2 Vergunbaarheid

Zoals al is opgemerkt in Paragraaf 8.3.1 ontstaan lokaal verhogingen ten opzichte van de Referentiesituatie. De hydraulische oorzaken van deze verhogingen zijn al beschreven in Paragraaf 6.3.1 en zijn ook voor deze situatie van toepassing. Het is mogelijk om de waterstanden van dit ontwerp onder die van het Referentieniveau te krijgen door cyclische verjonging toe te passen. Enkel benedenstrooms van Roosteren blijft een kleine lokale verhoging aanwezig welke inherent is aan de rivierverruimende maatregelen.

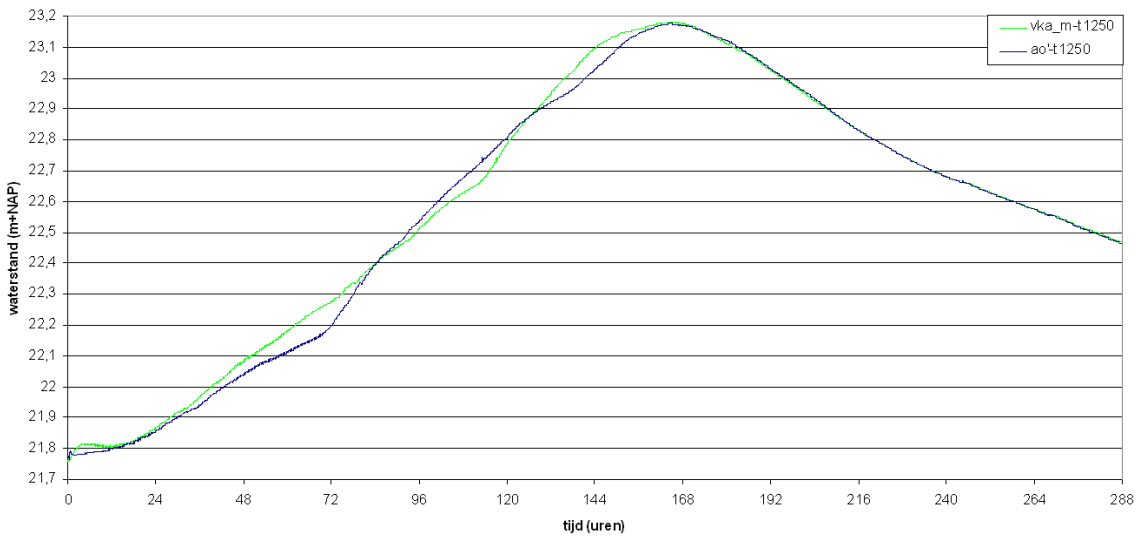
### 8.3.3 Benedenstroomse effecten

Voor benedenstroomse effecten worden de waterstanden vergeleken met die van de autonome ontwikkeling inclusief de correctie voor de aangelegde DGR-kaden (zie Paragraaf 4.3).

Zoals zichtbaar is in Figuur 8-4 heeft het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m voorbij rkm 69 (Heel) geen benedenstroomse effecten. De kleine verhogingen bij rkm 105 en rkm 125 worden veroorzaakt door de in 1995 aangelegde DGR-kaden. Wat opvalt is de grote verhoging van circa 0,40 m bij rkm 52-53. Dit wordt veroorzaakt door een combinatie van de aangelegde DGR-kaden en een vrije natuurontwikkeling in het gebied van de WML en benedenstrooms daarvan.

Wanneer gekeken wordt naar de tijdseffecten van het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m (zie Tabel 8-2) geldt dat de maximale waterstanden bij alle hoogwatergolven op vrijwel hetzelfde moment optreden als in de Referentiesituatie. Benedenstrooms van Stevensweert is de 1/50 hoogwatergolf iets vertraagd, terwijl de 1/115 en 1/250 hoogwatergolven (met name benedenstrooms van rkm 160) ongeveer 12 uur eerder aankomen.

Bij de 1/1250 hoogwatergolf komt de piek circa één uur eerder aan bij Heel. Wanneer gekeken wordt naar de tijdseffecten van het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m geldt dat deze gelijk zijn aan die van Voorkeursalternatief 2003. De maximale waterstanden bij de 1/1250 hoogwatergolf treden circa één uur eerder op benedenstrooms van Heel. Net zo min als verhoging leidt verlaging van de ontgravingsdiepte tot een aanpassing van de looptijd. Dit is ook zichtbaar in de tijdreeksen van de waterstanden bij Heel. Figuur 8-5 laat de tijdreeksen bij Heel zien voor de autonome ontwikkeling en het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m. Er is geen noemenswaardig verschil zichtbaar tussen beide tijdreeksen



Figuur 8-5 Tijdreeksen bij Heel (rkm 69), 1/1250 hoogwatergolf

Tabel 8-3 Bovenstroomse effecten (in m) Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m, alle hoogwatergolven

Rivierkilometer	Hoogwatergolf (1/jaar)				Rivierkilometer	Hoogwatergolf (1/jaar)			
	50	115	250	1250		50	115	250	1250
3	-0,08	-0,08	-0,05	-0,02	10	-0,32	-0,30	-0,25	-0,21
4	-0,11	-0,10	-0,08	-0,03	11	-0,36	-0,35	-0,30	-0,27
5	-0,12	-0,12	-0,09	-0,09	12	-0,40	-0,38	-0,33	-0,30
6	-0,13	-0,13	-0,10	-0,10	13	-0,51	-0,49	-0,42	-0,39
7	-0,17	-0,17	-0,15	-0,15	14	-0,64	-0,62	-0,53	-0,51
8	-0,22	-0,20	-0,17	-0,16	15	-0,75	-0,74	-0,62	-0,65
9	-0,23	-0,21	-0,17	-0,16					

### 8.3.4 Bovenstroomse effecten

Voor de bovenstroomse effecten worden de waterstanden vergeleken met die van de autonome ontwikkeling voor alle vier de hoogwatergolven. In Tabel 8-3 staat per rivierkilometer een overzicht van het bovenstroomse effect van het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m. Zichtbaar is dat de waterstandsverlagende effecten van het Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m tot bij Eijsden merkbaar zijn en toenemen bij lagere hoogwaters. De dalingen zijn enkele centimeters groter dan in het standaard Voorkeursalternatief 2003.

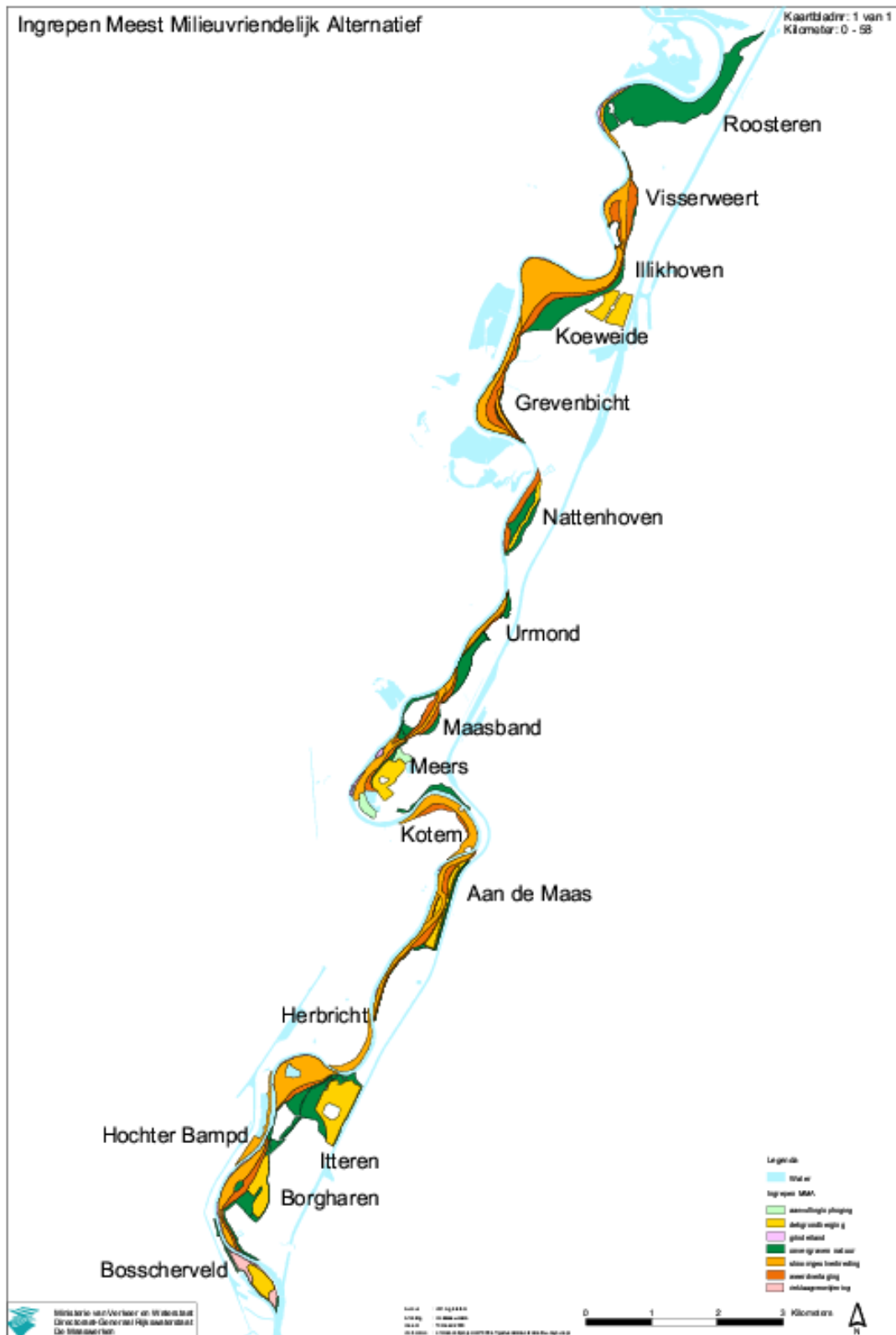
In Figuur 8-2 is zichtbaar dat het effect op de stroomsnelheid bovenstrooms van Borgharen zeer beperkt is.

### 8.3.5 Laagwater effecten

De verlaging van de ontgravingsdiepte van een aantal ingrepen maakt dat deze ingrepen eerder mee gaan stromen. Zo staan bij 10 m<sup>3</sup>/s al delen van de rivierverruiming bij Itteren en Aan de Maas onder water. Bij 40 m<sup>3</sup>/s worden de lagere delen van Bosscherveld, Borgharen, Meers, de Koeweide, Visserweert (met uitzondering van de nevengeul) en Roosteren nat. Bij 140 m<sup>3</sup>/s raakt de ingreep bij Urmond overstroomd, en bij 200 m<sup>3</sup>/s stroomt de nevengeul bij Visserweert mee. Iets later (circa 300 m<sup>3</sup>/s) worden ook de nevengeulen bij Maasband en Grevenbicht stroomvoerend.

Ook bij zeer lage afvoeren van circa 10 m<sup>3</sup>/s zorgt het verlaagde ontgravingsdiepte al voor een verlaging van de waterstanden ten opzichte van de Referentiesituatie. Deze verlaging wordt slechts ten dele gecompenseerd door de verhoging van de waterstanden ten gevolge van de aangebrachte bodembescherming.





Figuur 8-6 Ingrepen Meest Milieuvriendelijk Alternatief

## 9 Meest Milieuvriendelijk Alternatief

### 9.1 Inleiding

Het Meest Milieuvriendelijk Alternatief (MMA) voor de Grensmaas 2003 is een aangepast ontwerp van het MMA uit de MER 1998. Ten opzichte van het MMA uit 1998 (toen ook bekend onder de naam Voorkeurs Aanpak of VKA) zijn een aantal aspecten gewijzigd. Het VKA uit 1998 kende een relatief diep ontgravingsdiepte terwijl in dit MER de ontgravingsdiepte beduidend hoger ligt. De voornaamste reden hiervoor zijn ecologische overwegingen, omdat een grotere ontgravingsdiepte eerder leidt tot grote (vrijwel) stilstaande watervlakten.

In Paragraaf 9.2 wordt een korte beschrijving gegeven van de werkzaamheden die zijn uitgevoerd om het WAQUA-model van het Meest Milieuvriendelijk Alternatief te bouwen. De resultaten van de berekeningen met het MMA worden besproken Paragraaf 9.3.

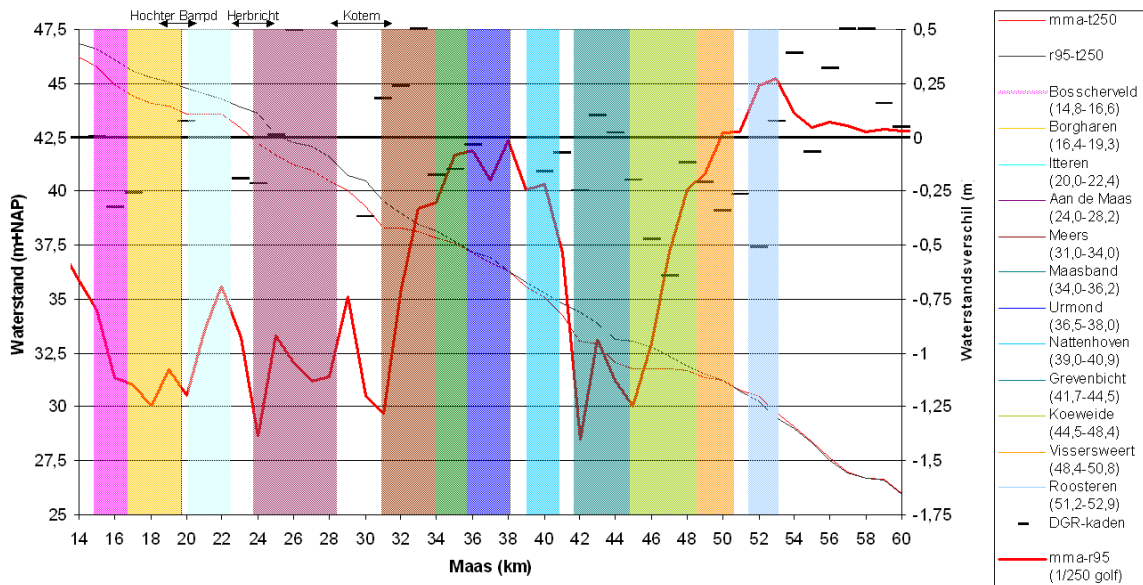
### 9.2 Algemeen

Het MMA in dit MER is een aangepast ontwerp van het Voorkeursalternatief 2003, gebaseerd op de principes van de VKA uit de MER 1998 (De Maaswerken, 1998). Zo is de nevengeul bij Grevenbicht uit het Voorkeursalternatief 2003 vervangen door de zomerbedverbreding/weerdverlaging uit de VKA, inclusief de bijbehorende sanering van de aanwezige puntverontreinigingen. Hetzelfde geldt voor de weerdverlaging in de Koeweide die in de VKA beduidend groter uitviel dan in het huidige ontwerp in het Voorkeursalternatief 2003.

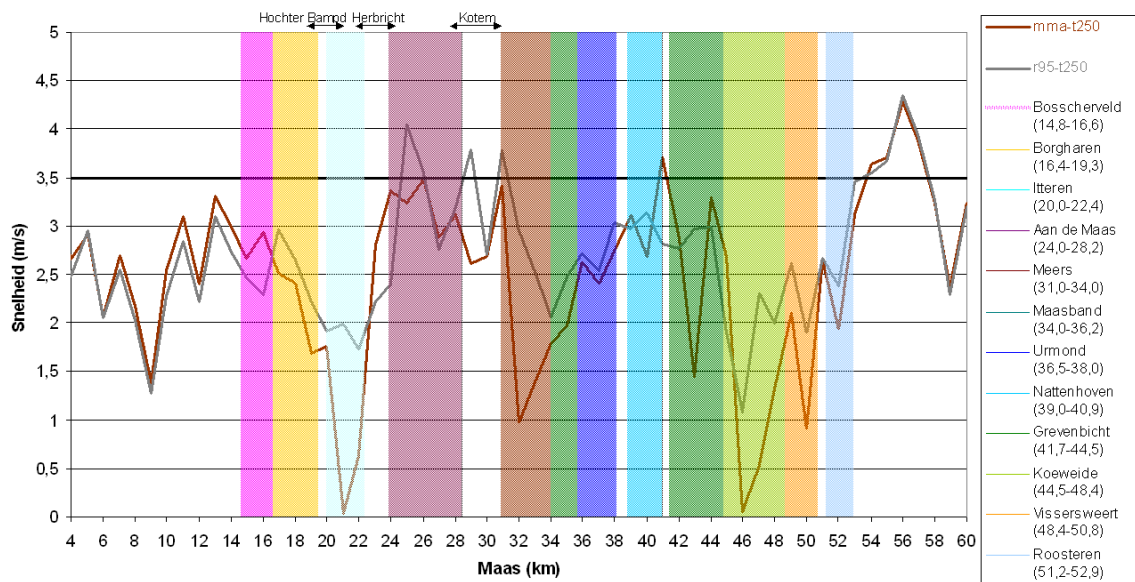
De kleibergingen zoals die nu in het Voorkeursalternatief 2003 zijn ontworpen worden ook vervangen door de kleibergingen uit de VKA van 1998. Bij Borgharen betekent dit bijvoorbeeld dat hij minder oppervlakte zal innemen en hoger (tot op maaiveldniveau) zal worden afgewerkt. De drie ingrepen aan Vlaamse zijde bij Hochter Bampd, Herbricht en Kotem zijn ook ongewijzigd uit de VKA van 1998 overgenomen.

Het grootste verschil met de VKA uit de MER 1998 betreft de gebruikte ontgravingsdiepte. Het criterium bij het vaststellen van de ontgravingsdiepte in 1998 was 'de gemiddelde bodemhoogte van de 60 meter brede geul', dus onafhankelijk van waterstanden, dikte van het resterende grindpakket in de weerdverlagingen etc. Voor het MMA in dit MER is door De Maaswerken is bij het vaststellen van de ontgravingsdiepte van de verschillende ingrepen vastgehouden aan dezelfde uitgangspunten als bij het Voorkeursalternatief 2003, zie Paragraaf 6.2. Hierdoor wordt de ontgravingsdiepte veelal hoger dan dat van de MER 1998 en zullen de ingrepen minder effectief zijn.

Het WAQUA-model van het Meest Milieuvriendelijk Alternatief is gemaakt door eerst de ingrepen van het MMA uit 1998 aan te passen aan het nieuwe ontgravingsdiepte, en deze ingrepen vervolgens aan te brengen in het model van de autonome ontwikkeling (zie Paragraaf 5.2). Een consequentie van de nieuwe ingrepen is dat er ook een nieuwe ecotopenkaart gemaakt zou moeten worden. Omdat dan de vergelijking met het Voorkeursalternatief 2003 lastiger zou worden is in overleg met De Maaswerken besloten om de ecotopenkaarten van het Voorkeursalternatief 2003 te gebruiken, en die (op locaties waar in het Voorkeursalternatief 2003 geen ingrepen zaten) aan te vullen met gegevens van de ecotopenkaarten zoals die zijn gebruikt in het Voorlopig Ontwerp (De Maaswerken, 2000).



Figuur 9-1 Effect van ingrepen MMA: waterstanden bij een 1/250 hoogwatergolf



Figuur 9-2 Effect van ingrepen MMA: stroomsnelheden bij een 1/250 hoogwatergolf

Tabel 9-1 Noodzakelijke kade-aanpassingen Voorkeursalternatief 2003 - 0,5 m (uitgaande van cyclische verjonging)

Omkaad gebied	Mate van kade-aanpassingen		
	Traject (rkm)	Lengte (km)	Gemiddelde verhoging (m)
Maasband	34 - 35	0,7	0,15
Meers	34 - 36	0,5	0,90
Roosteren	50 - 54	3,0	0,15

Een overzicht van alle ingrepen in het MMA staat in Figuur 8-6. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar Bijlage 6 waarin een overzicht staat van de verschillende ingreeplocaties en (De Maaswerken, 2003).

## 9.3 Hydraulica

### 9.3.1 Veiligheid

In Figuur 9-1 is zichtbaar wat het effect is van de maatregelen uit het MMA ten opzichte van de Referentiesituatie. Te zien is dat de maatregelen leiden tot zeer forse waterstands dalingen. De maximale daling bedraagt circa 1,40 m en treedt op bij de Koeweide. De gemiddelde waterstands daling bedraagt 0,57 m en is ongeveer 70% groter dan in het Voorkeursalternatief 2003.

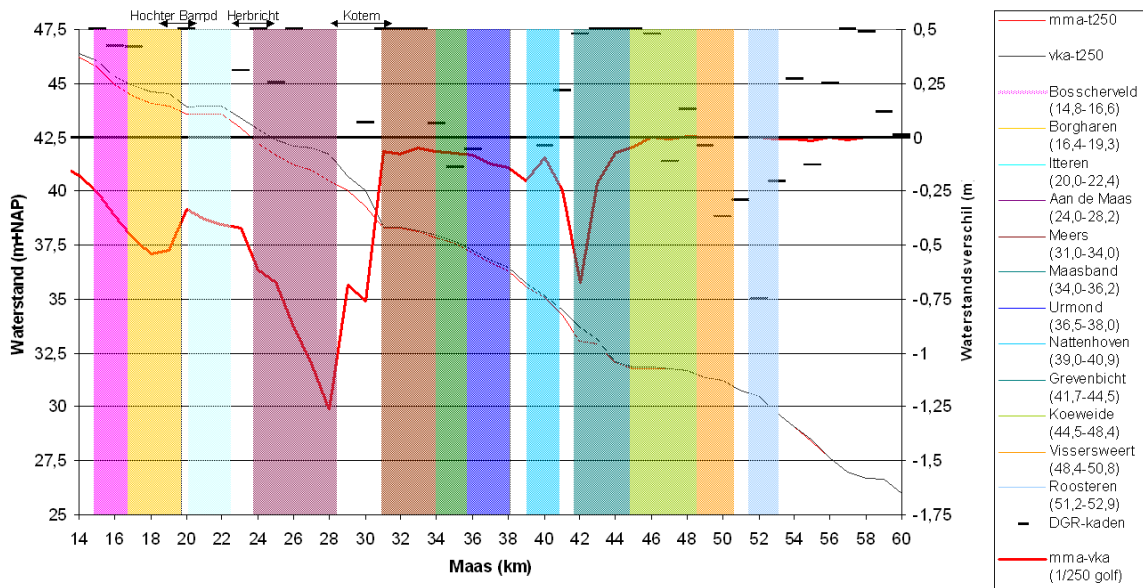
Alleen ter hoogte van Roosteren (benedenstrooms van rkm 50) ontstaat nog een verhoging van de waterstand ten opzichte van de Referentiesituatie. De maximale verhoging treedt op bij rkm 53 en bedraagt daar 0,27 m. Figuur 9-1 geeft weer dat de ingrepen vrijwel overal ervoor zorgen de huidige kades het beoogde beschermingsniveau van 1/250 per jaar geven. Bij een 1/1250 hoogwatergolf raken Voulwames, Aan de Maas, Meers, Maasband, Kokkelert en Roosteren geïnundeerd.

De combinatie van rivierverruiming met bodembescherming zorgen ervoor dat de stroomsnelheden in het MMA in het algemeen onder die van de Referentiesituatie liggen, zie Figuur 9-2 en Bijlage 5, Figuur 6. Op twee locaties ligt de snelheid nog boven de 3,5 m/s. Het betreft hier rkm 41 (het deel van de Maas bij Grevenbicht tussen de weerdverlaging bij Grevenbicht en de Koeweide) en op het traject rkm 52 – 55 (bij Roosteren).

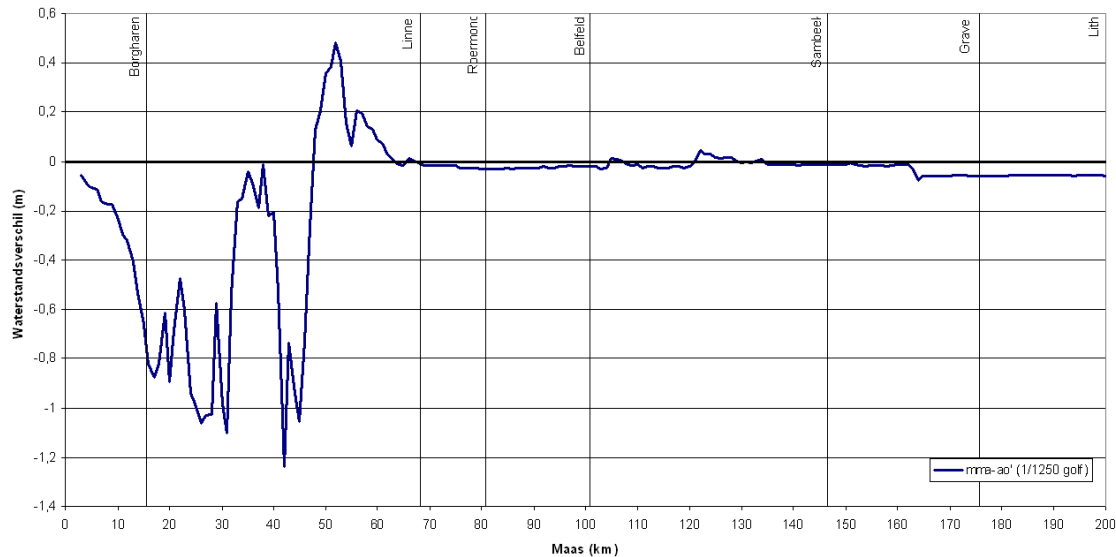
In Tabel 9-1 is zichtbaar op welke kade-aanpassingen noodzakelijk zijn om het beoogde beschermingsniveau te bereiken. Opgemerkt wordt dat hierbij wordt uitgegaan van cyclische verjonging, waarbij lokale verhogingen van de waterstand (zie Figuur 9-1) worden voorkomen. Voor het MMA is in totaal 4,2 kilometer aan kadeverhoging noodzakelijk. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de verlegging van de kade bij Grevenbicht (circa 1,3 km lengte) ten gevolge van de nevengeul. Indien geen cyclische verjonging zou worden toegepast is ruim 8 kilometer kadeaanpassing noodzakelijk.

Ook voor de Vlaamse kaden betekent uitvoering van het MMA dat er minder kade-aanpassing noodzakelijk is in vergelijking met de autonome ontwikkeling. Net als in het Voorkeursalternatief 2003 resteert nog een kade-aanpassing van in totaal 1,1 km bij Aldeneik, Heppeneert en Leut.

Bij het vergelijken van de waterstanden van het MMA met die van het Voorkeursalternatief 2003 (zie Figuur 9-3) valt de grote daling (tot 1,25 m) tussen rkm 28 en 31 sterk op. Deze wordt veroorzaakt door de rivierverruiming aan Vlaamse zijde bij Kotem. Het effect van deze ingreep is tot bij Borgharen merkbaar. Ook de ingrepen bij Grevenbicht en Borgharen zijn effectiever dan in het Voorkeursalternatief 2003. Opvallend is verder dat de veel grotere verruiming in de Koeweide nauwelijks leidt tot een grotere waterstandsverlaging ten opzichte van het Voorkeursalternatief 2003. Gemiddeld in de Grensmaas leidt het MMA tot 0,24 m extra waterstandsverlaging in vergelijking met het Voorkeursalternatief 2003. Van deze daling wordt 80% veroorzaakt door de drie Vlaamse Boertienlocaties (zie ook Paragraaf 10.3).



Figuur 9-3 Waterstandseffect MMA t.o.v. Voorkeursalternatief 2003



Figuur 9-4 Benedenstroomse effecten MMA, 1/1250 hoogwatergolf

Tabel 9-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in het MMA bij verschillende hoogwaters op verschillende locaties t.o.v. de Referentiesituatie

Rkm	Plaats	Hoogwatergolf				Verschil t.o.v. Referentiesituatie				t.o.v. AO'
		1/50	1/115	1/250	1/1250	1/50	1/115	1/250	1/1250	1/1250
9	Maastricht	146	146	146	147	0	0	0	0	0
16	Borgharen	147	148	148	149	-1	1	1	2	2
61	Stevensweert	157	160	157	157	0	3	-1	0	-1
81	Roermond	175	175	172	171	2	4	-1	-3	-6
100	Venlo	178	177	174	179	2	0	-3	2	-5
155	Gennep	197	195	192	203	2	-15	-11	-9	-5
230	Den Bosch	222	218	215	224	0	-12	-11	-6	-4

### 9.3.2 Vergunbaarheid

Zoals al is opgemerkt in Paragraaf 9.3.1 ontstaat ter hoogte van Roosteren een verhoging ten opzichte van de Referentiesituatie. De hydraulische oorzaken van deze verhoging zijn al beschreven in Paragraaf 6.3.1 en zijn ook hier geldig. Het is mogelijk om de waterstanden van dit ontwerp onder die van het Referentieniveau te krijgen door cyclische verjonging toe te passen benedenstrooms van Roosteren. De resterende verhoging is inherent is aan de rivierverruimende ingrepen.

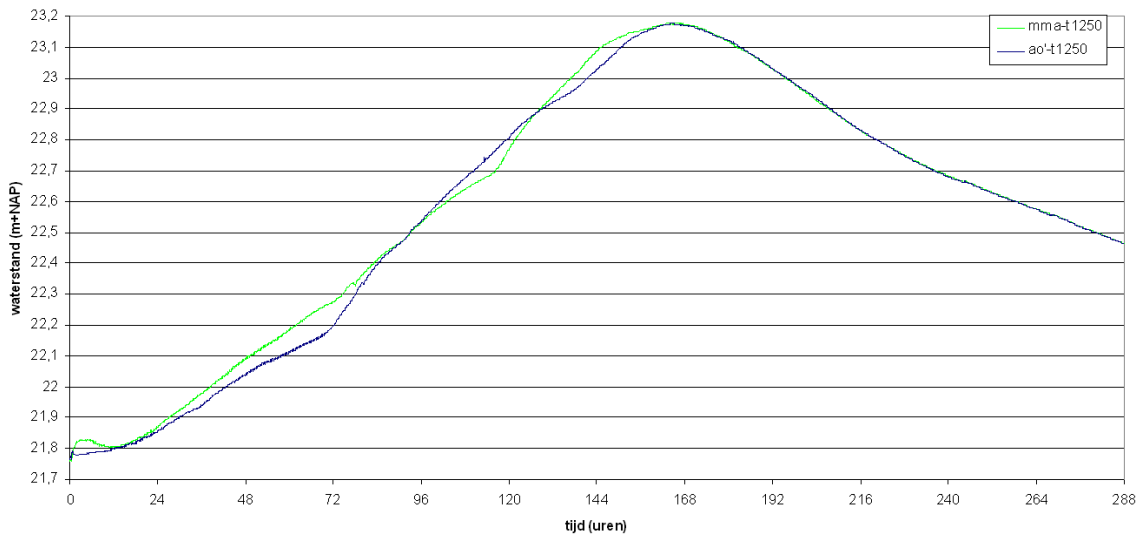
### 9.3.3 Benedenstroomse effecten

Voor benedenstroomse effecten worden de waterstanden vergeleken met die van de autonome ontwikkeling inclusief de correctie voor de aangelegde DGR-kaden (zie Paragraaf 4.3).

Zoals zichtbaar is in Figuur 9-4 heeft het MMA voorbij rkm 69 (Heel) geen benedenstroomse effecten. De kleine verhogingen bij rkm 105 en rkm 125 worden veroorzaakt door de in 1995 aangelegde DGR-kaden. Wat opvalt is de zeer grote verhoging van circa 0,40 m bij rkm 52-53. Dit wordt veroorzaakt door een combinatie van de aangelegde DGR-kaden en een vrije natuurontwikkeling in het gebied van de WML en benedenstrooms daarvan.

Wanneer gekeken wordt naar de tijdseffecten van het MMA (zie Tabel 9-2) geldt dat deze vrijwel hetzelfde zijn als in het Voorkeursalternatief 2003 (zie Paragraaf 6.3.3). Tot aan Stevensweert is er vrijwel geen verschil in looptijd; daarna tredt (met name bij de 1/115 en de 1/250 golven) een versnelling op tot circa 12 uur bij Gennepe.

Bij de 1/1250 hoogwatergolf komt de piek circa één uur eerder aan bij Heel. Wanneer gekeken wordt naar de tijdseffecten van het MMA geldt dat deze gelijk zijn aan die van Voorkeursalternatief 2003. De maximale waterstanden bij de 1/1250 hoogwatergolf treden circa één uur eerder op benedenstrooms van Heel. De aanpassingen van het MMA leiden dus niet tot een verandering van de looptijd. Dit is ook zichtbaar in de tijdreeksen van de waterstanden bij Heel. Figuur 9-5 laat de tijdreeksen bij Heel zien voor de autonome ontwikkeling en het Meest Milieuvriendelijk Alternatief. Er is geen noemenswaardig verschil zichtbaar tussen beide tijdreeksen.



Figuur 9-5 Tijdreeksen bij Heel (rkm 69), 1/1250 hoogwatergolf

Tabel 9-3 Bovenstroomse effecten (in m) Meest Milieuvriendelijk Alternatief, alle hoogwatergolven

Rivierkilometer	Hoogwatergolf (1/jaar)				Rivierkilometer	Hoogwatergolf (1/jaar)			
	50	115	250	1250		50	115	250	1250
3	-0,06	-0,05	-0,03	-0,03	10	-0,35	-0,32	-0,30	-0,24
4	-0,08	-0,07	-0,05	-0,04	11	-0,40	-0,37	-0,37	-0,30
5	-0,13	-0,13	-0,11	-0,10	12	-0,44	-0,41	-0,39	-0,34
6	-0,14	-0,13	-0,12	-0,11	13	-0,57	-0,53	-0,52	-0,42
7	-0,19	-0,18	-0,18	-0,17	14	-0,72	-0,68	-0,67	-0,56
8	-0,24	-0,22	-0,20	-0,18	15	-0,84	-0,79	-0,80	-0,71
9	-0,26	-0,22	-0,21	-0,18					

### 9.3.4 Bovenstroomse effecten

Voor de bovenstroomse effecten worden de waterstanden vergeleken met die van de autonome ontwikkeling voor alle vier de hoogwatergolven. In Tabel 9-3 staat per rivierkilometer een overzicht van het bovenstroomse effect van het MMA. Zichtbaar is dat de waterstandsverlagende effecten van het MMA tot bij Eijsden merkbaar zijn en afnemen bij hogere hoogwaters. De dalingen zijn enkele centimeters groter dan in het Voorkeursalternatief 2003.

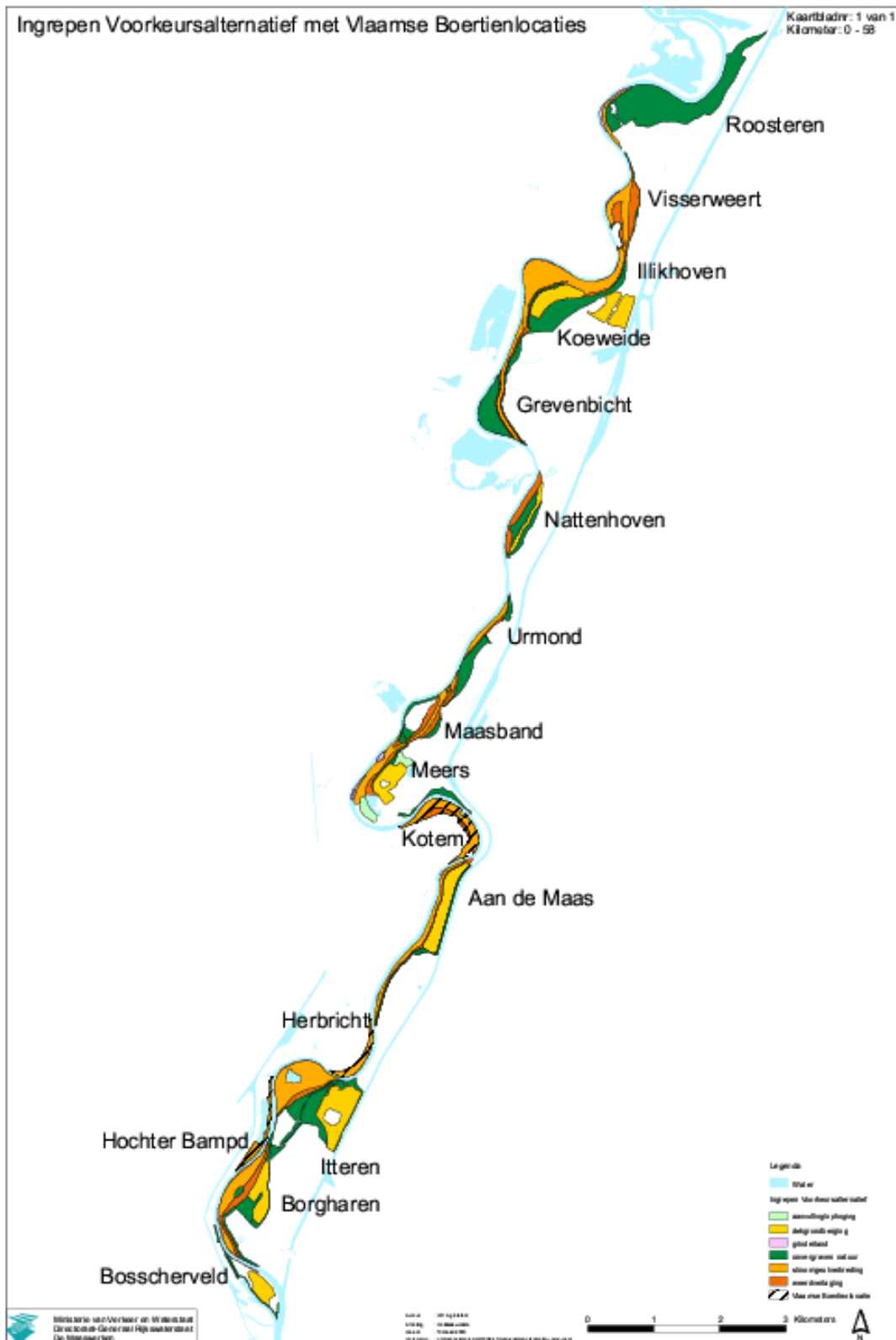
In Figuur 9-2 is zichtbaar dat het effect op de stroomsnelheid bovenstrooms van Borgharen zeer beperkt is.

### 9.3.5 Laagwater effecten

In het MMA zit dezelfde bodembescherming als in het Voorkeursalternatief 2003. Hierdoor nemen de waterstanden bij alle afvoeren, en dus ook de lage afvoeren, toe met enkele centimeters. De ontgravingsdiepte van de ingrepen ligt zo hoog dat bij afvoeren van 10 m<sup>3</sup>/s en lager geen waterstandsverlaging optreedt.

Bij 40 m<sup>3</sup>/s raken de eerste ingrepen overstroomd. Het betreft hier Itteren, Herbricht (Vlaamse ingreep), Aan de Maas, Kotem (Vlaamse ingreep), Meers en de lager gelegen delen bij Grevenbicht. Bij 60 m<sup>3</sup>/s worden de lagere delen van de ingrepen bij Borgharen en de Koeweide overstroomd. Bij een afvoer van 100 m<sup>3</sup>/s functioneren bijna alle ingrepen; de verruimingen bij Nattenhoven en Roosteren lopen nu langzaam onder water en de nevengeul bij Aan de Maas stroomt mee. Bij 200 m<sup>3</sup>/s komen de lagere delen van de weerdverlaging bij Urmond onder water te staan. Vanaf een afvoer van 300 m<sup>3</sup>/s stromen de nevengeulen bij Maasband en Visserweert mee. Vanaf 500 m<sup>3</sup>/s begint de nevengeul bij Hochter Bampd (Vlaamse ingreep) te vullen.





Figuur 9-6 Ingrepen Voorkeursalternatief 2003 inclusief Vlaamse Boertienlocaties

## 10 Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse Locaties

### 10.1 Inleiding

Het Voorkeursalternatief 2003 plus de Vlaamse locaties (VKA\_VL) is een alternatief waarin rekening wordt gehouden met de ingrepen op de drie Vlaamse Boertienlocaties bij Hochter Bampd, Herbricht en Kotem. Deze ingrepen zouden de oplossing kunnen zijn voor de problemen die in de Maas ontstaan met de hoge(re) snelheden in de flessenhalzen, de daardoor noodzakelijke bodembescherming en de hiermee gepaard gaande stijging van de waterstanden ten opzichte van de Referentiesituatie (zie Paragraaf 6.3.2).

De ingrepen van het Voorkeursalternatief 2003 plus de Vlaamse locaties worden gemodelleerd in het WAQUA-model van het standaard Voorkeursalternatief 2003. In Paragraaf 10.2 wordt een beschrijving gegeven van de wijzigingen die in het model van het Voorkeursalternatief 2003 zijn aangebracht om de Vlaamse locaties toe te voegen. De resultaten van de berekeningen met dit alternatief worden besproken Paragraaf 10.3.

### 10.2 Algemeen

Het Voorkeursalternatief 2003 plus de Vlaamse locaties voor de Grensmaas bestaat uit dezelfde twaalf ingrepen als van het Voorkeursalternatief 2003 aangevuld met de drie Vlaamse Boertienlocaties. Een overzicht staat in Figuur 9-6. Voor een volledig overzicht wordt verwezen Bijlage 7 waarin een overzicht staat van de verschillende ingreeplocaties en (De Maaswerken, 2003).

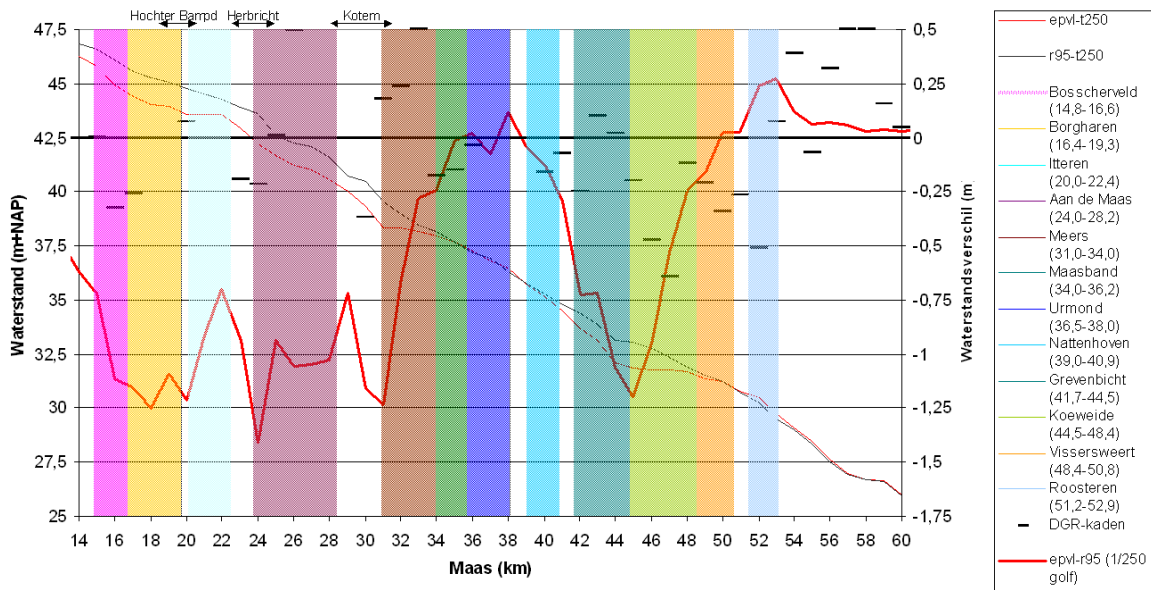
Een consequentie van het toevoegen van de drie Vlaamse ingrepen is dat de waterstanden zullen veranderen en dus ook de ecotopenontwikkeling anders zal worden. In overleg met De Maaswerken is besloten om toch uit te gaan van de ecotopenontwikkeling van het standaard Voorkeursalternatief 2003, en voor de ecotopen op de drie Vlaamse locaties gebruik te maken van een al aanwezige ecotopenkaart in het Voorlopig Ontwerp (De Maaswerken, 2000).

### 10.3 Hydraulica

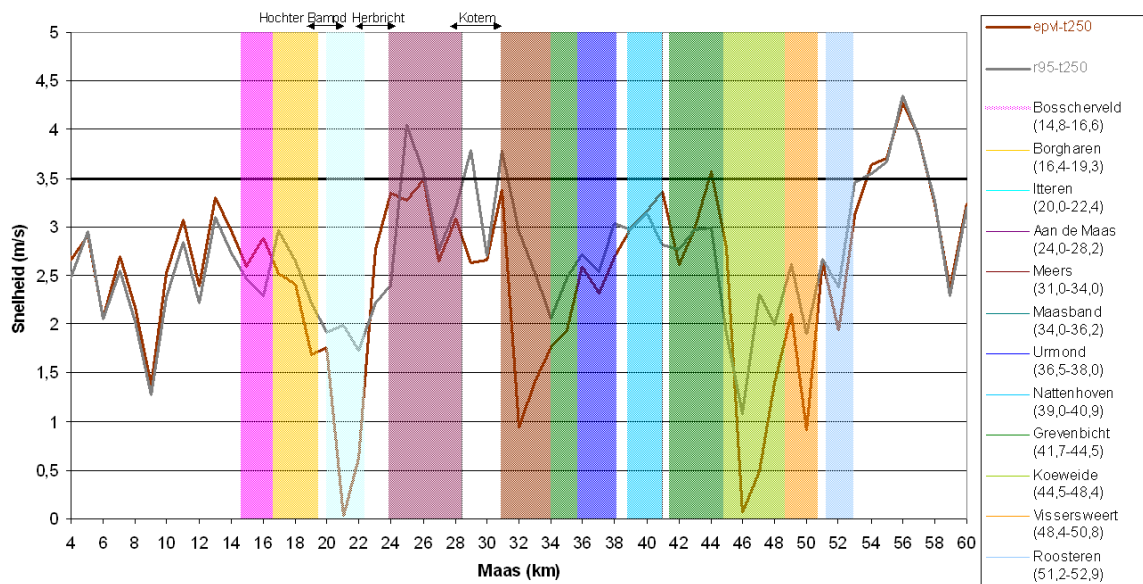
#### 10.3.1 Veiligheid

In Figuur 10-1 is zichtbaar wat het effect is van de maatregelen uit het Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties ten opzichte van de Referentiesituatie. Te zien is dat de maatregelen leiden tot waterstandsdingen die groter zijn dan de dalingen uit het Voorkeursalternatief 2003. De maximale daling bedraagt circa 1,4 m en treedt op bij Herbricht. De gemiddelde waterstandsding bedraagt 0,52 m en is ongeveer 60% groter dan de gemiddelde daling in het Voorkeursalternatief 2003.

Lokaal treedt, net als in het Voorkeursalternatief 2003, een verhoging van de waterstand op. Het gaat hierbij om rkm 36, rkm 38 en ter hoogte van Roosteren. Bij Roosteren ontstaat een verhoging van 0,27 m, veroorzaakt door de WML-natuurontwikkeling. Bij een 1/1250 hoogwatergolf raken Voulwames, Aan de Maas, Meers, Maasband, Visserweert en Roosteren geïnundeerd.



Figuur 10-1 Effect van ingrepen VKA\_VL: waterstanden bij een 1/250 hoogwatergolf



Figuur 10-2 Effect van ingrepen VKA\_VL: stroomsnelheden bij een 1/250 hoogwatergolf

Tabel 10-1 Noodzakelijke kade-aanpassingen VKA\_VL (uitgaande van cyclische verjonging)

Omkaad gebied	Mate van kade-aanpassingen		
	Traject (rkm)	Lengte (km)	Gemiddelde verhoging (m)
Maasband	34 - 35	0,7	0,20
Meers	34 - 36	0,5	0,90
Obbicht	40 - 41	0,1	0,05
Roosteren	50 - 54	3,0	0,15

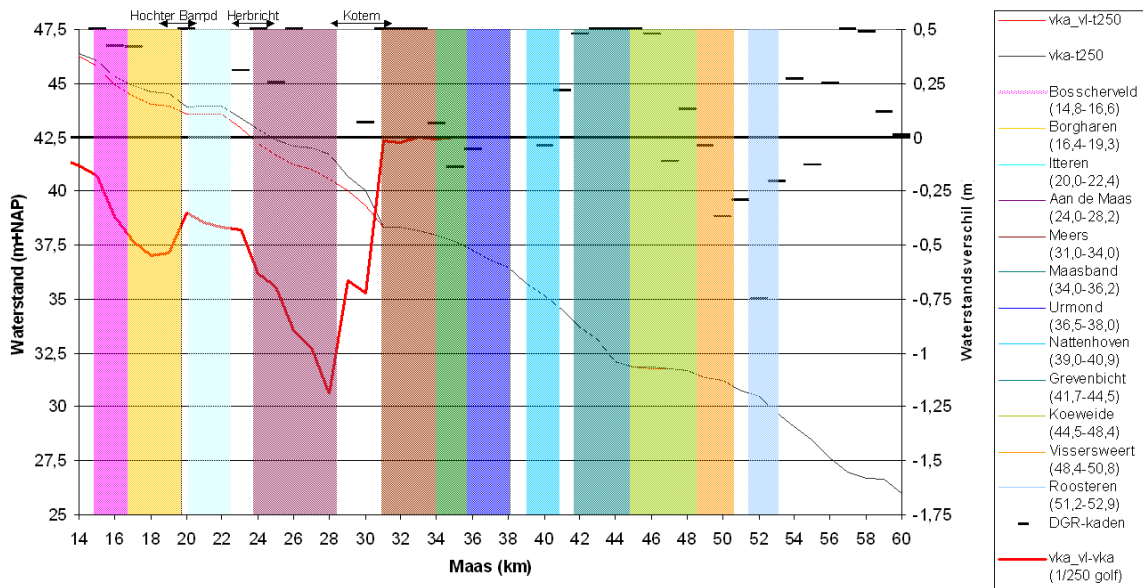
De combinatie van rivierverruiming met bodembescherming zorgen ervoor dat de stroomsnelheden in het Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties in het algemeen onder die van de Referentiesituatie liggen, zie Figuur 10-2. De piek die optreedt bij Meers (zie Figuur 6-2) is door de verruiming bij Kotem gereduceerd. Enkel bij rkm 44 en bij Roosteren (rkm 52 – 55) liggen de stroomsnelheden boven de 3,5 m/s. De hier beschreven afname komt ook naar voren in het bovenaanzicht van het snelheidsveld in Bijlage 5, Figuur 7.

In Tabel 10-1 is zichtbaar op welke kade-aanpassingen noodzakelijk zijn om het beoogde beschermingsniveau te bereiken. Opgemerkt wordt dat hierbij wordt uitgegaan van cyclische verjonging, waarbij lokale verhogingen van de waterstand (zie Figuur 10-1) worden voorkomen. Voor het VKA\_VL is in totaal 4,3 kilometer aan kadeverhoging noodzakelijk. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de verlegging van de kade bij Grevenbicht (circa 1,3 km lengte). Indien geen cyclische verjonging zou worden toegepast is circa 9 kilometer kadeaanpassing noodzakelijk.

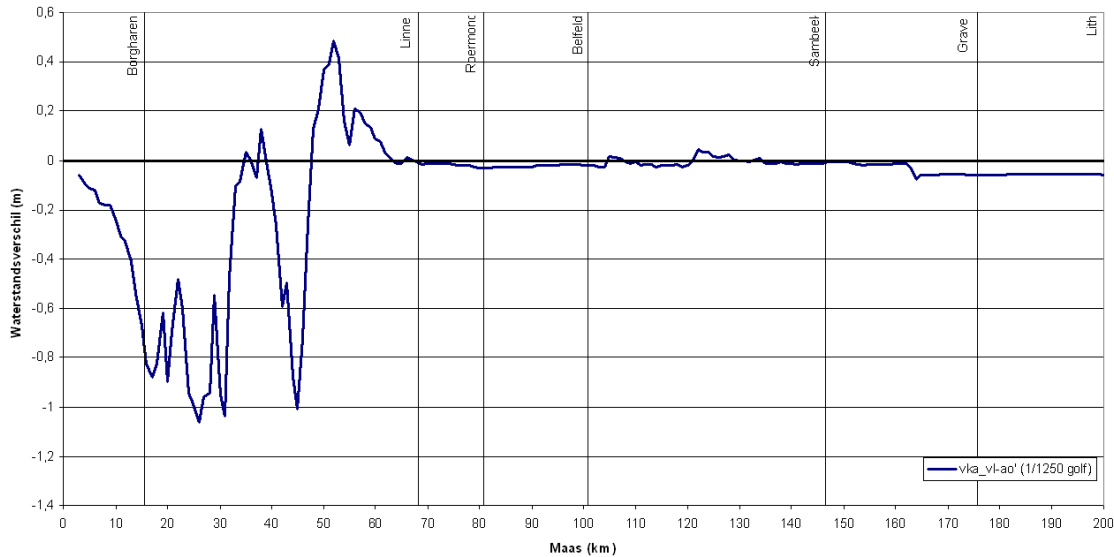
Bij het vergelijken van de waterstanden van het Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties met die van het Voorkeursalternatief 2003 komt de verruiming bij Kotem het meest duidelijk naar voren. In Figuur 10-3 is zichtbaar dat de waterstanden ter plaatse Kotem ongeveer 1,20 m worden verlaagd. De ingreep bij Herbricht verlaagt de waterstanden nauwelijks, en Hochter Bampd zorgt voor een verlaging van circa 0,25 m. Gemiddeld is de verlaging 0,21 m, dus ongeveer 70% van de gemiddelde verlaging ten gevolge van het Voorkeursalternatief 2003 (zie Paragraaf 6.3.1).

### **10.3.2 Vergunbaarheid**

Zoals al is opgemerkt in Paragraaf 10.3.1 ontstaat ter hoogte van Roosteren een verhoging ten opzichte van de Referentiesituatie. De hydraulische oorzaken van deze verhoging zijn al beschreven in Paragraaf 6.3.1 en zijn ook nu nog geldig. Het is mogelijk om de waterstanden van dit ontwerp onder die van het Referentieniveau te krijgen door cyclische verjonging toe te passen benedenstrooms van Roosteren. De resterende verhoging is inherent is aan de rivierverruimende maatregelen en is bijvoorbeeld ook zichtbaar in Figuur 10-3 ter hoogte van rkm 31.



Figuur 10-3 Waterstandseffect Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties t.o.v. Voorkeursalternatief 2003



Figuur 10-4 Benedenstroomse effecten Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties, 1/1250 hoogwatergolf

Tabel 10-2 Tijdstip (in uren) van maximale waterstand in het Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties bij verschillende hoogwaters t.o.v. de Referentiesituatie

Rkm	Plaats	Hoogwatergolf				Verschil t.o.v. Referentiesituatie				t.o.v. AO'
		1/50	1/115	1/250	1/1250	1/50	1/115	1/250	1/1250	1/1250
9	Maastricht	147	146	147	148	1	0	1	1	1
16	Borgharen	148	147	148	149	0	0	1	2	2
61	Stevensweert	157	158	158	158	0	1	0	0	0
81	Roermond	178	173	172	172	6	2	-1	-1	-5
100	Venlo	181	176	175	179	6	-1	-2	2	-5
155	Gennep	197	195	193	203	3	-14	-10	-9	-5
230	Den Bosch	223	219	214	224	1	-11	-12	-6	-5

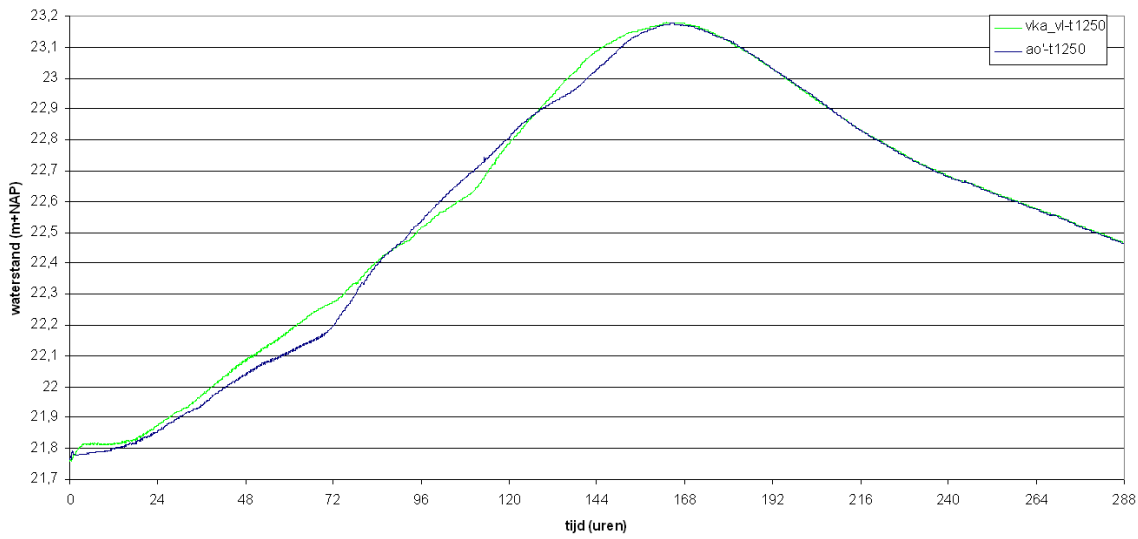
### 10.3.3 Benedenstroomse effecten

Voor benedenstroomse effecten worden de waterstanden vergeleken met die van de autonome ontwikkeling inclusief de correctie voor de aangelegde DGR-kaden (zie Paragraaf 4.3).

Zoals zichtbaar is in Figuur 10-4 heeft het Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties voorbij rkm 69 (Heel) geen benedenstroomse effecten. De kleine verhogingen bij rkm 105 en rkm 125 worden veroorzaakt door de in 1995 aangelegde DGR-kaden. De verhoging bij Roosteren bedraagt circa 0,40 m bij rkm 52-53. Dit wordt veroorzaakt door een combinatie van de aangelegde DGR-kaden en een vrije natuurontwikkeling in het gebied van de WML en benedenstrooms daarvan.

Wanneer gekeken wordt naar de tijdseffecten van het VKA\_VL (zie Tabel 10-2) geldt dat de maximale waterstanden bij alle hoogwatergolven op vrijwel hetzelfde moment optreden als in de Referentiesituatie. Benedenstrooms van Stevensweert is de 1/50 hoogwatergolf vertraagd, terwijl de 1/115 en 1/250 hoogwatergolven (met name benedenstrooms van rkm 160) ongeveer 12 uur eerder aankomen.

Bij de 1/1250 hoogwatergolf komt de piek circa twee uur eerder aan bij Heel. Wanneer gekeken wordt naar de tijdseffecten van het Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties geldt dat deze gelijk zijn aan die van Voorkeursalternatief 2003. De maximale waterstanden bij de 1/1250 hoogwatergolf treden circa één uur eerder op benedenstrooms van Heel. Uitvoering van de Vlaamse locaties leidt niet tot een aanpassing van de looptijd. Dit is ook zichtbaar in de tijdreeksen van de waterstanden bij Heel. Figuur 10-5 laat de tijdreeksen bij Heel zien voor de autonome ontwikkeling en het Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties. De verschillen tussen beide tijdreeksen zijn overeenkomstig met de verschillen zoals die er waren tussen het Voorkeursalternatief 2003 en de autonome ontwikkeling.



Figuur 10-5 Tijdreeksen bij Heel (rkm 69), 1/1250 hoogwatergolf

Tabel 10-3 Bovenstroomse effecten (in m) Voorkeursalternatief 2003 plus Vlaamse locaties, alle hoogwatergolven

Rivierkilometer	Hoogwatergolf (1/jaar)				Rivierkilometer	Hoogwatergolf (1/jaar)			
	50	115	250	1250		50	115	250	1250
3	-0,06	-0,06	-0,02	-0,03	10	-0,35	-0,34	-0,28	-0,25
4	-0,07	-0,07	-0,04	-0,04	11	-0,40	-0,40	-0,35	-0,31
5	-0,13	-0,13	-0,10	-0,10	12	-0,44	-0,44	-0,37	-0,35
6	-0,14	-0,14	-0,11	-0,12	13	-0,57	-0,57	-0,48	-0,42
7	-0,19	-0,19	-0,17	-0,17	14	-0,72	-0,72	-0,62	-0,57
8	-0,24	-0,23	-0,19	-0,19	15	-0,83	-0,86	-0,72	-0,71
9	-0,25	-0,23	-0,20	-0,19					

### 10.3.4 Bovenstroomse effecten

Voor de bovenstroomse effecten worden de waterstanden vergeleken met die van de autonome ontwikkeling voor alle vier de hoogwatergolven. In Tabel 10-3 staat per rivierkilometer een overzicht van het bovenstroomse effect van het Voorkeursalternatief 2003 plus de Vlaamse locaties. Zichtbaar is dat de waterstandsverlagende effecten van dit alternatief tot bij Eijsden merkbaar zijn en toenemen bij lagere hoogwaters. De dalingen zijn enkele centimeters groter dan in het Voorkeursalternatief 2003.

In Figuur 10-2 is zichtbaar dat het effect op de stroomsnelheid bovenstrooms van Borgharen zeer beperkt is.

### 10.3.5 Laagwater effecten

De ingrepen uit het Voorkeursalternatief 2003 inclusief Vlaamse locaties zijn in het algemeen dusdanig van ontgravingsdiepte dat de waterstanden bij lage afvoeren (minder dan 40 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen) niet worden beïnvloed door de rivierverruiming. De aangebrachte bodembeschermingen beïnvloeden de waterstanden bij deze afvoer echter wel en zorgen op de trajecten rkm 28 – 29 en rkm 38 – 41 voor een verhoging van circa 0,10 m.

De afvoer waarbij de ingrepen mee gaan stromen kan sterk variëren. Bij een afvoer van 40 m<sup>3</sup>/s worden de ingrepen Herbricht (Vlaamse zijde), Itteren, Aan de Maas en Meers overstroomd. Bij 60 m<sup>3</sup>/s worden Kotem (Vlaamse zijde), Borgharen, Grevenbicht (met uitzondering van de Elba nevengeul) en de lagere delen vande Koeweide stromend. Bij 100 m<sup>3</sup>/s staat het verlaagde deel van de Koeweide volledig onder water en komen de lagere delen van Bosscherveld onder water te staan. Bij 200 m<sup>3</sup>/s worden de ingrepen bij Urmond en Nattenhoven en de drie nevengeulen (Maasband, Grevenbicht en Visserweert) overstroomd. Vanaf circa 500 m<sup>3</sup>/s raakt nevengeul Hochter Bampd (Vlaamse zijde) gevuld.





Foto 11-1 Erosiegeul in de Kerkeweerd



Foto 11-2 Erosie in de Kerkeweerd

# 11 Conclusies

## 11.1 Inleiding

Doel van dit rapport was een analyse naar de hydraulische effecten van diverse rivierkundige inrichtingsalternatieven voor de Grensmaas. Deze analyse moest plaatsvinden op verschillende onderdelen, zoals de effecten van de maatregelen bij verschillende afvoeren, de boven- en benedenstroomse effecten van de maatregelen (zowel in waterstand als in looptijd) en de benodigde kade-aanpassingen indien de maatregelen niet zouden leiden tot het gewenste beschermingsniveau.

In de voorgaande hoofdstukken zijn de bevindingen van de uitgevoerde berekeningen voor de verschillende varianten beschreven. In de nu komende paragrafen worden de belangrijkste bevindingen nogmaals kort beschreven en toegelicht.

## 11.2 Vergelijking MER-alternatieven/ontwerpen

In Tabel 11-1 staan de belangrijkste conclusies samengevat. Het getal in de eerste kolom verwijst naar de vraag uit Tabel 1-1. In Paragraaf 11.3 wordt nader ingegaan op de hydraulische effecten van de verschillende alternatieven en ontwerpen.

## 11.3 Hydraulica

### 11.3.1 Autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling leidt lokaal (met name ten gevolge van natuurontwikkeling) tot hogere waterstanden. Zonder aanvullende maatregelen blijft het beschermingsniveau circa 1/50 jaar. Bij Borgharen moeten wel de kades worden verhoogd om het 1/50 beschermingsniveau te halen. Om het beschermingsniveau te verhogen tot 1/250 dienen de kades over een lengte van bijna 21 kilometer verhoogd te worden. Aan Vlaamse zijde moeten (voor een 1/115 beschermingsniveau) over een lengte van 4 kilometer de kades worden verhoogd.

De aanpassingen in de Grensmaas leiden niet tot benedenstroomse effecten. De ingrepen in de Zandmaas (Scope 2001) versnellen daarentegen de 1/115 en 1/250 hoogwatergolven, en vertragen de 1/1250 hoogwatergolf.

De (hier in beperkte mate toegestane) WML-natuurontwikkeling bij Roosteren zorgt voor een lokale verhoging van circa 0,06 m bij de verschillende hoogwatergolven. Bij laagwater treedt geen verandering op van de waterstanden.

### 11.3.2 Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas (VKA)

Het Voorkeursalternatief 2003 leidt in het algemeen tot (grote) waterstandsdalingen. De gemiddelde daling op de Grensmaas bedraagt 0,30 m bij de 1/250 hoogwatergolf. De aangebrachte bodembescherming in de flessenhalzen zorgt ervoor dat de snelheden (met uitzondering bij Meers) onder de 3,5 m/s blijven maar dat lokaal de waterstanden boven die van de Referentiesituatie komen. Het is mogelijk om (bijna) overal de waterstanden onder die van de Referentiesituatie te krijgen door uit te gaan van cyclische verjonging. Er resteert dan nog een verhoging van 0,11 m ter hoogte van de brug naar Maaseik (rkm 52).

Tabel 11-1 Vergelijking alternatieven/ontwerpen

Effect op	Alternatief/ontwerp					
	AO	VKA	VKA_P	VKA_M	MMA	VKA_VL
<i>Waterstanden</i>	AO	VKA	VKA_P	VKA_M	MMA	VKA_VL
Bovenstrooms (2, 4)	Geen	Verlaging	Verlaging	Verlaging	Verlaging	Verlaging
Grensmaas (1a-b, 2)	Lokale verhoging/ verlaging Traject max. verhog (rkm) (m) 44,6 - 53,7 0,08 54,5 - 56,3 0,01	Gemiddeld daling 0,31 m; Traject max. verhog (rkm) (m) 27,3 - 28,7 0,16 35,3 - 36,2 0,02 37,4 - 38,8 0,12 49,9 - 63,0 0,28	Gemiddeld daling 0,27 m; Traject max. verhog (rkm) (m) 27,3 - 28,8 0,16 35,2 - 36,2 0,02 37,4 - 38,8 0,13 49,9 - 62,9 0,28	Gemiddeld daling 0,35 m; Traject max. verhog (rkm) (m) 27,4 - 28,7 0,16 35,8 - 36,1 0,02 37,5 - 38,7 0,12 49,9 - 62,9 0,28	Gemiddeld daling 0,57 m; Traject max. verhog (rkm) (m) 49,9 - 62,7 0,27	Gemiddeld daling 0,52 m Traject max. verhog (rkm) (m) 35,6-36,2 0,02 37,4-38,8 0,12 49,9-62,8 0,27
Benedenstrooms (2, 3)	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen
<i>Looptijden</i>	AO	VKA	VKA_P	VKA_M	MMA	VKA_VL
Grensmaas (2)	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen
Benedenstrooms (2, 3)	Alle golven versneld; (maximaal 12 uur)	Alle golven versneld (maximaal 12 uur)	1/50 golf vertraagd, overige golven versneld (maximaal 12 uur)	1/50 golf vertraagd, overige golven versneld (maximaal 12 uur)	1/50 golf vertraagd, overige golven versneld (maximaal 12 uur)	1/50 golf vertraagd, overige golven versneld (maximaal 12 uur)
<i>Snelheden</i>	AO	VKA	VKA_P	VKA_M	MMA	VKA_VL
Bovenstrooms (4)	Geen	Licht verhoogd	Licht verhoogd	Licht verhoogd	Licht verhoogd	Licht verhoogd
Grensmaas	Geen	Meestal verlaagd, lokaal verhoogd	Meestal verlaagd, lokaal verhoogd	Meestal verlaagd, lokaal verhoogd	Meestal verlaagd, lokaal verhoogd	Meestal verlaagd, lokaal verhoogd
<i>Kade-aanpassingen</i>	AO	VKA	VKA_P	VKA_M	MMA	VKA_VL
Grensmaas (1a, b) (1/250 bescherming, uitgangspunt is cyclische verjonging)	Locatie lengte. verhog (km) (m) Borgharen 3,4 0,50 Itteren 2,3 0,25 Voulwames 0,7 0,20 Aan de Maas 1,4 0,20 Meers 2,1 0,20 Maasband 0,7 0,25	Locatie lengte. verhog (km) (m) Meers 0,7 0,20 Maasband 0,5 1,00 Obbicht 0,1 0,05 Roosteren 3,0 0,15	Locatie lengte. verhog (km) (m) Meers 0,7 0,20 Maasband 0,5 0,95 Obbicht 0,2 0,05 Roosteren 3,1 0,15	Locatie lengte. verhog (km) (m) Meers 0,6 0,20 Maasband 0,5 0,90 Roosteren 3,0 0,15	Locatie lengte. verhog (km) (m) Meers 0,7 0,15 Maasband 0,5 0,90 Roosteren 3,0 0,15	Locatie lengte. verhog (km) (m) Meers 0,7 0,15 Maasband 0,5 0,90 Obbicht 0,1 0,05 Roosteren 3,0 0,15

	Berg 0,5 0,15 Obbicht 1,4 0,15 Grevenbicht 1,2 0,20 Schipperskerk 1,7 0,20 Illikhoven 0,6 0,25 Visserweert 1,1 0,25 Roosteren 3,5 0,30					
<i>Vegetatieontwikkeling</i>	<i>AO</i>	<i>VKA</i>	<i>VKA_P</i>	<i>VKA_M</i>	<i>MMA</i>	<i>VKA_VL</i>
Grensmaas (6)	Verhoging Roosteren	Halvering effectiviteit				
Grensmaas (7)		3 locaties gevoelig voor vegetatieontwikkeling rkm 28 – 29 rkm 35 – 37 rkm 42 - 43				
<i>Vlaanderen</i>	<i>AO</i>	<i>VKA</i>	<i>VKA_P</i>	<i>VKA_M</i>	<i>MMA</i>	<i>VKA_VL</i>
Waterstanden (5)	Geen	Onder 40 m <sup>3</sup> /s verhoging door bodembescherming, daarboven verlaging t.g.v. ingrepen	Onder 60 m <sup>3</sup> /s verhoging door bodembescherming, daarboven verlaging t.g.v. ingrepen	Onder 10 m <sup>3</sup> /s verhoging door bodembescherming, daarboven verlaging t.g.v. ingrepen	Onder 10 m <sup>3</sup> /s verhoging door bodembescherming, daarboven verlaging t.g.v. ingrepen	Onder 10 m <sup>3</sup> /s verhoging door bodembescherming, daarboven verlaging t.g.v. ingrepen
Kade-aanpassingen (1b)	Locatie lengte. verhog (km) (m) Aldeneik 0,2 0,15 Heppeneert 0,5 0,75 Leut 0,4 0,65 Molenveld 0,2 0,10 Uikhoven 0,4 0,10	Locatie lengte. verhog (km) (m) Aldeneik 0,2 0,05 Heppeneert 0,5 0,75 Leut 0,4 0,60	Locatie lengte. verhog (km) (m) Aldeneik 0,2 0,20 Heppeneert 0,5 0,75 Leut 0,4 0,60	Locatie lengte. verhog (km) (m) Aldeneik 0,2 0,20 Heppeneert 0,5 0,70 Leut 0,4 0,65	Locatie lengte. verhog (km) (m) Aldeneik 0,2 0,20 Heppeneert 0,5 0,70 Leut 0,4 0,60	Locatie lengte. verhog (km) (m) Aldeneik 0,2 0,20 Heppeneert 0,5 0,70 Leut 0,4 0,65



*Foto 11-3 Toekomstbeeld van de Maas*

In het benedenstroomse deel van de Grensmaas (Visserweert en Roosteren) zijn kade-aanpassingen noodzakelijk om het beoogde 1/250 beschermingsniveau te kunnen bieden. Het betreft hier aanpassingen over een lengte van circa 4 kilometer, uitgaande van cyclische verjonging. Het Voorkeursalternatief 2003 leidt niet tot benedenstroomse effecten, noch in maximale waterstanden, noch in looptijd van de hoogwatergolf. Bovenstrooms treedt een verlaging bij alle afvoeren op die doorwerkt tot bij Eijsden. De snelheden nemen bovenstrooms iets toe ten opzichte van de Referentiesituatie maar omdat de toename snel minder wordt bij hogere afvoeren is het effect in absolute zin zeer beperkt.

De hier aangenomen natuurontwikkeling halveert ongeveer de effectiviteit van de ingrepen van het Voorkeursalternatief 2003.

### **11.3.3 Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas met ontgravingsdiepte + 0,5 meter (VKA\_P)**

De resultaten van de Voorkeursalternatief 2003 variant met een verhoogd ontgravingsdiepte wijken nauwelijks af van die van het standaard Voorkeursalternatief 2003. Lokaal (met name bij Itteren, Aan de Maas, Meers en de Koeweide) kunnen de waterstanden 0,05 à 0,10 m hoger liggen dan in het Voorkeursalternatief 2003. Bij Visserweert en Roosteren zijn kade-aanpassingen noodzakelijk om tot het beoogde 1/250 beschermingsniveau te komen. Het gaat hierbij om kade-aanpassingen met een lengte van 9 kilometer. De snelheden wijken nauwelijks af van die in het Voorkeursalternatief 2003.

Er treden geen benedenstroomse effecten op, noch in maximale waterstanden, noch in looptijd van de hoogwatergolf. Bovenstrooms treedt een verlaging bij vrijwel afvoeren op die doorwerkt tot bij Eijsden. De hiermee gepaard gaande toename van de snelheid blijft echter beperkt.

### **11.3.4 Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas met ontgravingsdiepte - 0,5 meter (VKA\_M)**

De resultaten van de Voorkeursalternatief 2003 variant met een verlaagd ontgravingsdiepte wijken nauwelijks af van die van het standaard Voorkeursalternatief 2003. Lokaal (met name bij Itteren, Aan de Maas, Meers en de Koeweide) kunnen de waterstanden 0,05 à 0,10 m lager liggen dan in het Voorkeursalternatief 2003. Bij Visserweert en Roosteren zijn kade-aanpassingen noodzakelijk om tot het beoogde 1/250 beschermingsniveau te komen. Het gaat hierbij om kade-aanpassingen met een lengte van circa 9 kilometer. De snelheden wijken nauwelijks af van die in het Voorkeursalternatief 2003.

Er treden geen benedenstroomse effecten op, noch in maximale waterstanden, noch in looptijd van de hoogwatergolf. Bovenstrooms treedt een verlaging bij vrijwel afvoeren op die doorwerkt tot bij Eijsden. De hiermee gepaard gaande toename van de snelheid blijft echter beperkt.

Bij een afvoer van 10 m<sup>3</sup>/s staan al delen van de rivierverruiming bij Itteren en Aan de Maas onder water. Bij 40 m<sup>3</sup>/s worden de lagere delen van Bosscherveld, Borgharen, Meers, de Koeweide, Visserweert (met uitzondering van de nevengeul) en Roosteren nat. Deze verlaging wordt slechts ten dele gecompenseerd door de verhoging van de waterstanden ten gevolge van de aangebrachte bodembescherming.



### **11.3.5 Meest Milieuvriendelijk Alternatief (MMA)**

Het MMA is een aangepast ontwerp van het MMA uit de MER 1998. Vanwege de aangepaste rivierverruiming (in het MMA groter dan in het Voorkeursalternatief 2003) dalen de waterstanden beduidend meer. Behalve bij Roosteren treden geen verhogingen ten opzichte van de Referentiesituatie op. De gemiddelde verlaging op de Grensmaas bedraagt 0,65 m, ruim twee keer zo groot als in het Voorkeursalternatief 2003. Bij Visserweert en Roosteren zijn kade-aanpassingen noodzakelijk om tot het beoogde 1/250 beschermingsniveau te komen. Het gaat hierbij om kade-aanpassingen met een lengte van 4 kilometer (uitgaande van cyclische verjonging). De snelheden wijken nauwelijks af van die in het Voorkeursalternatief 2003.

Er treden geen benedenstroomse effecten op, noch in maximale waterstanden, noch in looptijd van de hoogwatergolf. Bovenstrooms treedt een verlaging bij vrijwel afvoeren op die doorwerkt tot bij Eijsden. De hiermee gepaard gaande toename van de snelheid blijft echter beperkt.

### **11.3.6 Voorkeursalternatief 2003 Grensmaas plus Vlaamse Locaties**

Vooruitlopend op het Cumulatief Ontwerp is een alternatief gemaakt waarin de drie Vlaamse Boertienlocaties zijn meegenomen. Vanwege de grotere rivierverruiming dan in het Voorkeursalternatief 2003 dalen de waterstanden beduidend meer. Behalve bij Roosteren treden geen verhogingen ten opzichte van de Referentiesituatie op. De gemiddelde verlaging op de Grensmaas bedraagt 0,67 m, ruim twee keer zo groot als in het Voorkeursalternatief 2003. Bij Obbicht, Visserweert en Roosteren zijn kade-aanpassingen noodzakelijk om tot het beoogde 1/250 beschermingsniveau te komen. Het gaat hierbij om kade-aanpassingen met een lengte van 9 kilometer. De snelheden wijken nauwelijks af van die in het Voorkeursalternatief 2003.

Er treden geen benedenstroomse effecten op, noch in maximale waterstanden, noch in looptijd van de hoogwatergolf. Bovenstrooms treedt een verlaging bij vrijwel afvoeren op die doorwerkt tot bij Eijsden. De hiermee gepaard gaande toename van de snelheid blijft echter beperkt.





## 12 Referenties

- Agtersloot, R.C., 2003, Hydraulisch Onderzoek MER Grensmaas 2002, Meander Advies en Onderzoek
- Akkerman, G.J., 2003, Bureaustudie Morfologie MER Grensmaas 2002, Royal Haskoning
- Braak, E. van den, Lee, Willem van der, Barneveld, H., 2002, Voorwerk MER Grensmaas, PR588.10, HKV Lijn in Water
- De Maaswerken, 1998a, MER Grensmaas Rivierkunde, Deelrapport 2, De Maaswerken
- De Maaswerken, 1998b, MER Grensmaas Landschap, Cultuurhistorie en Archeologie, Deelrapport 8, De Maaswerken
- De Maaswerken, 2000, Voorlopig Ontwerp (VO), Grensmaasproject, DLB2000/5270, De Maaswerken
- De Maaswerken, 2003, MER Grensmaas, Hoofdrapport
- Lanen, R. van, Oortwijn, R., 1999: Beschrijving applicatie voor te genereren ecotopenbestand uit een hydrologisch model, Grontmij
- Meijer, D.G., 2002: Scope 2001 (versie 1), Hydraulische effecten van maatregelen, BASELINE-modelschematisatie van de Maas na uitvoering van het maatregelenpakket I volgens het Tracébesluit / POL ten behoeve van WAQUA-berekeningen, KKZ19, DLB2002/11810, Kennis- en Kwaliteitsmanagement Zandmaas, De Maaswerken
- Meijer, D.G., 2003: Morfologisch Onderzoek MER Grensmaas 2003, Meander Advies en Onderzoek
- Meulen, M.S. van der, 1998: Protocol basisbestanden BASELINE, versie 1.0, BASELINE-versie 3.0, rapportnummer 98.624, CSO Adviesbureau voor Milieuonderzoek
- MX.Systems, 2002: Users's guide WAQUA, versie 10.20, Simona-report 92-10, MX.Systems
- Rijkswaterstaat, 2001: Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen, 21 december 2001, Rijkswaterstaat DWW, RIZA en RIKZ
- RIZA, 2002: Kalibratie en validatie van WAQUA-modellen, mei 2002, Rijkswaterstaat RIZA
- Veen, R. van der, 2000: Notitie bij levering Excelbestand afvoergolven behorend bij Randvoorwaarden 2001, Rijkswaterstaat / RIZA



# Bijlagen



## Bijlage 1 Gebruikte randvoorwaarden

Lateraal	Afvoer bij Borgharen (m <sup>3</sup> /s)													
	5	10	40	60	100	140	200	300	500	975	1920	2710	3275	3800
Ternaaien	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Jeker	0,1	0,2	0,9	1,18	1,74	2,3	3,14	4,54	6,55	6,55	6,55	6,55	6,55	6,55
Zuid-Wil. vaart	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15
Juliana kanaal	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16
Geul	0,15	0,30	1,1	1,52	2,36	3,2	4,47	6,57	11,13	12,63	15,60	17,36	18,07	19,49
DSM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Grw-+ beken	0,34	0,51	0,74	0,91	1,24	1,58	2,09	2,93	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
Vloedgraaf	0,3	0,52	1,1	1,52	2,36	3,2	4,47	6,57	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
Juliana kanaal	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Kan Wes-Ned.	0	0	0	0	0	0,91	2,45	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
Sluis Heel	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
Sluis Linne	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
Sluis Linne	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Roer	10,62	12,45	15,62	16,45	18,11	19,77	22,25	26,39	34,75	54,66	94,37	127,6	151,3	173,3
Sluis Heel	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Neerbeek	0,68	0,90	1,68	2,16	3,11	4,06	5,49	7,88	13,28	14,78	17,76	20,26	22,05	23,70
Geld. Kan	0,16	0,31	0,86	1,111	1,62	2,12	2,88	4,14	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45
Moolenbeek	0,18	0,28	0,78	0,98	1,37	1,76	2,35	3,33	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75
Afwater. Kanaal	0,08	0,18	0,40	0,68	1,24	1,80	2,64	4,04	6,05	6,05	6,05	6,05	6,05	6,05
Niers	4,78	4,88	5,09	5,32	5,77	6,23	6,91	8,04	10,33	15,78	26,65	35,74	42,23	48,27
Maas-Waal Kan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gemaal Sasse	1,08	,12	1,17	1,26	1,37	1,61	1,88	2,32	3,22	5,35	9,61	13,16	15,70	18,07
Gem. Gewande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	2,02	3,6	4,73	5,78
Dieze	7,18	8,28	9,31	10,40	12,59	14,77	8,05	23,51	29,82	30,39	32,49	37,45	55,29	71,88
Gemalen 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,55	6,5	9,32	11,94
Drong. Kanaal	1,55	1,6	1,65	1,74	1,94	2,14	2,43	2,92	3,90	6,23	100	100	100	100
Gemalen 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,77	12,19	21,73	28,54	34,88

Table with multiple columns and rows, including headers like 'BESTAIND MAASGOLF.XLS', 'T=50', 'km-raai', and various numerical data points.









Table with 4 main sections: Column headers (including BESTAID MAASCOL.F.XLS, T=115, and km-raai tijd), Gevoens grondwater in tabblad groundwater, Informatie uit: BESTAID OLATGOLF.XLS, tabblad 4 plaatsen in tabblad OLAT, and a large numerical data grid.













◀ vorige

inhoudsopgave

▶ volgende

134	3188	3179	3148	0,50	134	-4,89	-9,64	-7,03	-10,30	-1,04	134	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,36	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	146,17	8,00	19,51	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,10	5,36	51,70	10,59	100,00	33,32	26,96	12,98
135	3200	3191	3160	0,50	135	-4,83	-9,62	-7,16	-10,22	-1,14	135	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,38	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	146,25	8,00	19,53	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,13	5,35	51,23	10,55	100,00	33,26	27,05	12,97
136	3212	3203	3172	0,50	136	-4,77	-9,63	-7,29	-10,33	-1,04	136	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,40	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	146,33	8,00	19,55	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,16	5,34	50,77	10,50	100,00	33,21	27,14	12,97
137	3224	3214	3183	0,50	137	-4,70	-9,62	-7,38	-10,44	-1,05	137	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,42	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	146,42	8,00	19,57	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,19	5,32	50,30	10,46	100,00	33,15	27,23	12,96
138	3236	3226	3195	0,50	138	-4,62	-9,62	-7,46	-10,27	-1,33	138	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,44	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	146,50	8,00	19,59	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,22	5,31	49,83	10,42	100,00	33,09	27,32	12,96
139	3249	3239	3208	0,50	139	-4,55	-9,61	-7,52	-10,18	-1,45	139	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,46	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	146,58	8,00	19,61	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,25	5,30	49,37	10,37	100,00	33,04	27,41	12,95
140	3262	3252	3218	0,50	140	-4,46	-9,60	-7,58	-10,13	-1,53	140	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,48	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	146,67	8,00	19,63	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,28	5,29	48,90	10,33	100,00	32,98	27,50	12,95
141	3276	3266	3235	0,50	141	-4,37	-9,57	-7,63	-10,11	-1,60	141	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,50	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	146,75	8,00	19,65	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,31	5,28	48,43	10,28	100,00	32,92	27,59	12,94
142	3289	3279	3248	0,50	142	-4,28	-9,54	-7,68	-10,11	-1,66	142	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,53	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	146,83	8,00	19,68	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,34	5,27	47,97	10,24	100,00	32,86	27,68	12,94
143	3303	3293	3262	0,50	143	-4,20	-9,49	-7,71	-10,11	-1,73	143	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,55	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	146,92	8,00	19,70	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,37	5,26	47,50	10,20	100,00	32,81	27,77	12,93
144	3316	3306	3275	0,50	144	-4,14	-9,41	-7,74	-10,13	-1,80	144	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,57	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,00	8,00	19,72	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,40	5,25	47,04	10,15	100,00	32,75	27,86	12,93
145	3309	3299	3268	0,50	145	-4,09	-9,31	-7,76	-10,12	-1,88	145	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,59	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,08	8,00	19,74	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,43	5,24	46,57	10,11	100,00	32,69	27,95	12,92
146	3302	3292	3261	0,50	146	-4,02	-9,21	-7,77	-10,13	-1,96	146	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,61	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,17	8,00	19,76	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,46	5,23	46,10	10,07	100,00	32,64	28,04	12,92
147	3295	3285	3254	0,50	147	-3,96	-9,10	-7,77	-10,12	-2,04	147	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,63	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,25	8,00	19,78	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,49	5,22	45,64	10,02	100,00	32,58	28,13	12,91
148	3288	3278	3247	0,50	148	-3,89	-8,99	-7,75	-10,13	-2,12	148	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,65	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,33	8,00	19,80	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,52	5,21	45,17	9,98	100,00	32,52	28,21	12,91
149	3281	3271	3240	0,50	149	-3,82	-8,87	-7,72	-10,18	-2,24	149	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,67	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,42	8,00	19,82	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,55	5,20	44,70	9,93	100,00	32,46	28,30	12,90
150	3274	3264	3233	0,50	150	-3,74	-8,75	-7,67	-10,24	-2,31	150	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,69	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,50	8,00	19,84	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,58	5,19	44,24	9,89	100,00	32,40	28,39	12,90
151	3267	3257	3222	0,50	151	-3,66	-8,62	-7,59	-10,28	-2,48	151	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,71	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,58	8,00	19,86	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,61	5,18	43,77	9,85	100,00	32,35	28,48	12,89
152	3260	3250	3219	0,50	152	-3,57	-8,48	-7,47	-10,34	-2,58	152	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,73	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,67	8,00	19,88	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,64	5,17	43,31	9,80	100,00	32,29	28,57	12,88
153	3253	3243	3212	0,50	153	-3,48	-8,31	-7,34	-10,43	-2,69	153	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,76	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,75	8,00	19,91	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,67	5,16	42,84	9,76	100,00	32,24	28,66	12,88
154	3246	3236	3205	0,50	154	-3,38	-8,20	-7,25	-10,44	-2,81	154	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,78	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,83	8,00	19,93	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,70	5,15	42,37	9,71	100,00	32,18	28,75	12,87
155	3237	3227	3196	0,50	155	-3,28	-8,04	-7,20	-10,41	-2,92	155	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,80	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	147,92	8,00	19,95	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,73	5,14	41,91	9,67	100,00	32,12	28,84	12,87
156	3222	3212	3181	0,50	156	-3,21	-7,85	-7,15	-10,36	-3,05	156	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,82	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	148,00	8,00	19,97	5,45	4,75	6,05	41,00	1,00	12,76	5,13	41,44	9,63	100,00	32,07	28,93	12,86
157	3206	3197	3166	0,50	157	-3,12	-7,67	-7,11	-10,30	-3,15	157	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,84	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	148,08	8,00	19,99	5,45	4,75	6,05	40,83	1,00	12,78	5,12	41,02	9,58	100,00	32,01	29,02	12,86
158	3191	3182	3155	0,50	158	-2,98	-7,48	-7,06	-10,24	-3,26	158	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,86	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	148,16	8,00	20,01	5,45	4,75	6,05	40,67	1,00	12,81	5,10	40,59	9,54	100,00	31,95	29,11	12,85
159	3176	3167	3136	0,50	159	-3,00	-7,26	-6,98	-10,18	-3,37	159	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,88	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	148,24	8,00	20,03	5,45	4,75	6,05	40,50	1,00	12,84	5,09	40,17	9,49	100,00	31,89	29,20	12,85
160	3161	3152	3121	0,50	160	-2,85	-7,11	-6,90	-10,02	-3,54	160	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,90	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	148,32	8,00	20,05	5,45	4,75	6,05	40,33	1,00	12,87	5,08	39,75	9,45	100,00	31,84	29,29	12,84
161	3146	3137	3106	0,50	161	-2,80	-6,86	-6,83	-9,93	-3,61	161	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,92	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	148,40	8,00	20,07	5,45	4,75	6,05	40,17	1,00	12,90	5,07	39,33	9,41	100,00	31,78	29,38	12,84
162	3129	3120	3089	0,50	162	-2,70	-6,67	-6,74	-9,96	-3,55	162	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,94	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	148,48	8,00	20,09	5,45	4,75	6,05	40,00	1,00	12,93	5,06	38,90	9,36	100,00	31,72	29,46	12,83
163	3110	3101	3070	0,50	163	-2,63	-6,44	-6,64	-9,97	-3,56	163	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,97	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	148,56	8,00	20,12	5,45	4,75	6,05	39,83	1,00	12,96	5,05	38,48	9,32	100,00	31,67	29,55	12,83
164	3091	3083	3052	0,50	164	-2,54	-6,24	-6,50	-9,91	-3,62	164	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,99	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	148,64	8,00	20,14	5,45	4,75	6,05	39,67	1,00	12,99	5,04	38,06	9,28	100,00	31,61	29,64	12,82
165	3073	3064	3033	0,50	165	-2,48	-6,04	-6,37	-9,83	-3,69	165	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,01	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-																		

213	2422	2417	2386	0,50	213	-0,04	-0,58	-1,28	-1,48	-1,53	213	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,30	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	116,25	8,00	19,45	5,45	4,75	6,05	32,88	1,00	12,00	5,35	21,90	10,56	100,00	33,28	25,98	12,98
214	2412	2407	2376	0,50	214	-0,02	-0,52	-1,25	-1,39	-1,43	214	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,28	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	115,83	8,00	19,43	5,45	4,75	6,05	32,75	1,00	11,97	5,37	21,69	10,60	100,00	33,33	25,89	12,98
215	2402	2397	2366	0,50	215	0,01	-0,46	-1,22	-1,31	-1,35	215	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,26	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	115,42	8,00	19,41	5,45	4,75	6,05	32,63	1,00	11,95	5,36	21,48	10,63	100,00	33,37	25,80	12,98
216	2392	2387	2356	0,50	216	0,03	-0,39	-1,19	-1,24	-1,26	216	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,24	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	115,00	8,00	19,39	5,45	4,75	6,05	32,50	1,00	11,92	5,37	21,27	10,66	100,00	33,41	25,71	12,99
217	2382	2378	2347	0,50	217	0,05	-0,33	-1,16	-1,19	-1,17	217	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,23	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	114,58	8,00	19,38	5,45	4,75	6,05	32,38	1,00	11,90	5,38	21,06	10,69	100,00	33,45	25,63	12,99
218	2372	2368	2337	0,50	218	0,08	-0,27	-1,12	-1,15	-1,10	218	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,21	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	114,17	8,00	19,36	5,45	4,75	6,05	32,25	1,00	11,87	5,39	20,85	10,73	100,00	33,50	25,54	13,00
219	2362	2358	2327	0,50	219	0,12	-0,20	-1,08	-1,11	-1,01	219	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,19	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	113,75	8,00	19,34	5,45	4,75	6,05	32,13	1,00	11,85	5,40	20,64	10,76	100,00	33,54	25,45	13,00
220	2352	2348	2317	0,50	220	0,15	-0,13	-1,05	-1,11	-0,99	220	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,18	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	113,33	8,00	19,33	5,45	4,75	6,05	32,00	1,00	11,83	5,41	20,43	10,79	100,00	33,58	25,36	13,00
221	2342	2338	2307	0,50	221	0,16	-0,05	-1,00	-1,10	-0,86	221	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,16	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	112,92	8,00	19,31	5,45	4,75	6,05	31,88	1,00	11,80	5,41	20,22	10,82	100,00	33,62	25,27	13,01
222	2332	2329	2298	0,50	222	0,15	0,01	-0,94	-1,10	-0,79	222	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,14	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	112,50	8,00	19,29	5,45	4,75	6,05	31,75	1,00	11,78	5,42	20,01	10,86	100,00	33,67	25,18	13,01
223	2325	2321	2290	0,50	223	0,15	0,04	-0,85	-1,11	-0,71	223	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,12	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	112,08	8,00	19,27	5,45	4,75	6,05	31,63	1,00	11,75	5,43	19,80	10,89	100,00	33,71	25,09	13,02
224	2317	2313	2282	0,50	224	0,16	0,07	-0,77	-1,13	-0,63	224	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,11	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	111,67	8,00	19,26	5,45	4,75	6,05	31,50	1,00	11,73	5,44	19,59	10,92	100,00	33,75	25,00	13,02
225	2310	2306	2275	0,50	225	0,17	0,10	-0,70	-1,14	-0,56	225	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,09	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	111,25	8,00	19,24	5,45	4,75	6,05	31,38	1,00	11,70	5,44	19,38	10,95	100,00	33,79	24,91	13,02
226	2302	2298	2267	0,50	226	0,18	0,13	-0,63	-1,15	-0,51	226	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,07	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	110,83	8,00	19,22	5,45	4,75	6,05	31,25	1,00	11,68	5,45	19,17	10,99	100,00	33,83	24,82	13,03
227	2294	2290	2259	0,50	227	0,20	0,17	-0,59	-1,13	-0,47	227	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,06	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	110,42	8,00	19,21	5,45	4,75	6,05	31,13	1,00	11,65	5,46	18,96	11,02	100,00	33,88	24,73	13,03
228	2286	2282	2251	0,50	228	0,21	0,20	-0,55	-1,11	-0,47	228	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,04	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	110,00	8,00	19,19	5,45	4,75	6,05	31,00	1,00	11,63	5,47	18,75	11,05	100,00	33,92	24,64	13,04
229	2278	2275	2244	0,50	229	0,22	0,23	-0,51	-1,08	-0,43	229	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,02	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	109,71	8,00	19,17	5,45	4,75	6,05	30,92	1,00	11,60	5,48	18,55	11,08	100,00	33,96	24,55	13,04
230	2271	2267	2236	0,50	230	0,23	0,26	-0,46	-1,05	-0,41	230	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-17,00	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	109,42	8,00	19,15	5,45	4,75	6,05	30,83	1,00	11,58	5,48	18,35	11,12	100,00	34,00	24,46	13,04
231	2263	2259	2228	0,50	231	0,24	0,29	-0,43	-1,03	-0,36	231	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,99	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	109,13	8,00	19,14	5,45	4,75	6,05	30,75	1,00	11,55	5,49	18,14	11,15	100,00	34,05	24,37	13,05
232	2255	2251	2220	0,50	232	0,25	0,31	-0,38	-1,01	-0,34	232	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,97	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	108,83	8,00	19,12	5,45	4,75	6,05	30,67	1,00	11,53	5,50	17,94	11,18	100,00	34,09	24,29	13,05
233	2247	2244	2213	0,50	233	0,25	0,33	-0,34	-0,99	-0,30	233	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,95	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	108,54	8,00	19,10	5,45	4,75	6,05	30,58	1,00	11,50	5,51	17,74	11,21	100,00	34,13	24,20	13,06
234	2239	2236	2205	0,50	234	0,26	0,34	-0,29	-0,97	-0,27	234	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,93	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	108,25	8,00	19,08	5,45	4,75	6,05	30,50	1,00	11,48	5,51	17,54	11,25	100,00	34,17	24,11	13,06
235	2232	2229	2190	0,50	235	0,26	0,35	-0,25	-0,94	-0,24	235	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,92	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	107,96	8,00	19,07	5,45	4,75	6,05	30,42	1,00	11,45	5,52	17,33	11,26	100,00	34,22	24,02	13,06
236	2226	2223	2182	0,50	236	0,26	0,36	-0,22	-0,89	-0,23	236	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,90	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	107,67	8,00	19,05	5,45	4,75	6,05	30,33	1,00	11,43	5,53	17,13	11,31	100,00	34,26	23,93	13,07
237	2217	2214	2166	0,50	237	0,27	0,37	-0,18	-0,87	-0,18	237	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,88	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	107,38	8,00	19,03	5,45	4,75	6,05	30,25	1,00	11,41	5,54	16,93	11,34	100,00	34,30	23,84	13,07
238	2210	2210	2140	0,50	238	0,27	0,38	-0,15	-0,83	-0,17	238	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,87	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	107,08	8,00	19,02	5,45	4,75	6,05	30,17	1,00	11,38	5,55	16,73	11,38	100,00	34,34	23,75	13,08
239	2205	2205	2140	0,50	239	0,28	0,38	-0,12	-0,80	-0,14	239	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,85	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	106,79	8,00	19,00	5,45	4,75	6,05	30,08	1,00	11,36	5,55	16,52	11,41	100,00	34,38	23,66	13,08
240	2203	2199	2168	0,50	240	0,28	0,38	-0,09	-0,76	-0,11	240	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,83	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	106,50	8,00	18,98	5,45	4,75	6,05	30,00	1,00	11,33	5,56	16,32	11,44	100,00	34,43	23,57	13,08
241	2197	2193	2162	0,50	241	0,28	0,38	-0,07	-0,73	-0,09	241	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,81	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	106,21	8,00	18,96	5,45	4,75	6,05	29,92	1,00	11,31	5,57	16,12	11,47	100,00	34,47	23,48	13,09
242	2191	2188	2157	0,50	242	0,29	0,38	-0,05	-0,70	-0,07	242	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,80	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	105,92	8,00	18,95	5,45	4,75	6,05	29,83	1,00	11,28	5,58	15,91	11,51	100,00	34,51	23,39	13,09
243	2185	2182	2151	0,50	243	0,30	0,39	-0,03	-0,66	-0,05	243	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,78	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	105,63	8,00	18,93	5,45	4,75	6,05	29,75	1,00	11,26	5,58	15,71	11,54	100,00	34,55	23,30	13,09
244	2179	2176	2145	0,50	244	0,30	0,39	-0,02	-0,63	-0,03	244	10,00	6,55	-15,00	-16,00	-16,76	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,0																		

BESTAID MAASGOLF.XLS		C= 1.007	C= 1	C= 1	dO SOBEK grondwater		Gegevens grondwater in tabblad grondwater		zie tabblad GROIDWATER		zie tabblad GROIDWATER		zie tabblad GROIDWATER		zie tabblad GROIDWATER		zie tabblad GROIDWATER		Informatie uit: BESTAID GLATGOLF.XLS, tabblad 4 plaatsen in tabblad OLAT (informatie in RIZA werkdocument 97.061X)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
T=1250		km-raai tijd		km-raai tijd		km-raai tijd		km-raai tijd		km-raai tijd		km-raai tijd		km-raai tijd		km-raai tijd		km-raai tijd		km-raai tijd																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Bovenland km 2.56		Bovenland km 14.6		Bovenland km 16		Bovenland A/C- Plaak		Bovenland km 2.56 - 15.000		Bovenland km 15.000 - 29.000		Bovenland km 29.000 - 44.000		Bovenland km 44.000 - 61.000		Bovenland km 61.000 - 67.300n		sluis Ternaaien		Leier		Onttrekking Zuid- Willenswaard		Onttrekking Juliana- kanaal		Geel		DSM		Grondwater-beheven		Vloedgraaf oude Maas		Lozing Juliana- kanaal		Kan. Wessens Hofdew		onttrekking Sluis Hed		onttrekking Sluis Lunne		Lozing Sluis Lunne		Roer (en Hambeek)		Lozing Sluis Hed		Swaen Heestbeek		Gedderensch kanaal		Groote Moelenbeek		Afwateringskanaal		Ijlers		Maas-Waal kanaal		Gemalen Sasse c.a.		Gemaal Gewanufe		Dizee		Gemalen 1 c.a.		Drongelers kanaal		Gemalen 2 c.a.		VHK - Dongje		Gemalen 3 c.a.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1706	1705	1674	0,50	1,95	3,49	4,10	-6,45	-3,04	0	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,46	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	84,00	8,00	17,61	5,45	4,75	6,05	24,00	1,00	9,42	6,06	11,67	13,51	100,00	37,42	17,92	13,33	1,92	3,55	4,36	-5,87	-3,21	1	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,48	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	84,42	8,00	17,63	5,45	4,75	6,05	24,00	1,00	9,45	6,05	11,98	13,48	100,00	37,09	17,99	13,33	2	1,93	3,59	4,50	-5,25	-3,31	2	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,51	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	84,83	8,00	17,66	5,45	4,75	6,05	24,17	1,00	9,49	6,05	12,29	13,46	100,00	37,05	18,06	13,32	3	1,87	3,60	4,65	-4,64	-3,28	3	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,53	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	85,25	8,00	17,68	5,45	4,75	6,05	24,25	1,00	9,52	6,04	12,61	13,43	100,00	37,02	18,14	13,32	4	1,82	3,59	4,76	-4,07	-3,25	4	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,56	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	85,67	8,00	17,71	5,45	4,75	6,05	24,33	1,00	9,56	6,03	12,92	13,41	100,00	36,98	18,21	13,32	5	1,76	3,54	4,87	-3,54	-3,19	5	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,58	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	86,08	8,00	17,73	5,45	4,75	6,05	24,42	1,00	9,59	6,03	13,23	13,38	100,00	36,95	18,28	13,31	6	1,70	3,51	4,91	-3,04	-3,08	6	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,60	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	86,50	8,00	17,75	5,45	4,75	6,05	24,50	1,00	9,62	6,02	13,54	13,35	100,00	36,92	18,35	13,31	7	1,754	1,753	1,722	0,50	7	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,63	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	86,92	8,00	17,78	5,45	4,75	6,05	24,58	1,00	9,66	6,02	13,85	13,33	100,00	36,88	18,42	13,31	8	1,57	3,39	4,94	-2,19	-2,81	8	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,65	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	87,33	8,00	17,80	5,45	4,75	6,05	24,67	1,00	9,69	6,01	14,16	13,30	100,00	36,85	18,50	13,30	9	1,768	1,766	1,735	0,50	9	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,68	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	87,75	8,00	17,83	5,45	4,75	6,05	24,75	1,00	9,73	6,00	14,48	13,27	100,00	36,81	18,57	13,30	10	1,775	1,773	1,742	0,50	10	1,38	3,28	4,90	-1,47	-2,43	10	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,70	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	88,17	8,00	17,85	5,45	4,75	6,05	24,83	1,00	9,76	6,00	14,79	13,25	100,00	36,78	18,64	13,30	11	1,782	1,780	1,749	0,50	11	1,27	3,20	4,86	-1,47	-2,22	11	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,72	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	88,58	8,00	17,87	5,45	4,75	6,05	24,92	1,00	9,79	5,98	15,10	13,22	100,00	36,74	18,71	13,30	12	1,792	1,790	1,759	0,50	12	1,15	3,13	4,81	-0,90	-1,99	12	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,75	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	89,00	8,00	17,90	5,45	4,75	6,05	25,00	1,00	9,83	5,98	15,41	13,20	100,00	36,71	18,78	13,29	13	1,802	1,800	1,769	0,50	13	1,08	3,17	4,95	-0,70	-1,85	13	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,77	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	89,42	8,00	17,92	5,45	4,75	6,05	25,13	1,00	9,86	5,98	15,72	13,17	100,00	36,68	18,85	13,29	14	1,812	1,810	1,779	0,50	14	1,00	3,19	5,07	-0,53	-1,69	14	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,80	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	89,83	8,00	17,95	5,45	4,75	6,05	25,25	1,00	9,90	5,97	16,04	13,14	100,00	36,64	18,93	13,29	15	1,822	1,820	1,789	0,50	15	0,93	3,12	5,21	-0,25	-1,63	15	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,82	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	90,25	8,00	17,97	5,45	4,75	6,05	25,38	1,00	9,93	5,97	16,35	13,12	100,00	36,61	19,00	13,28	16	1,832	1,830	1,799	0,50	16	0,75	3,01	5,37	0,18	-1,61	16	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,84	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	90,67	8,00	17,99	5,45	4,75	6,05	25,50	1,00	9,96	5,96	16,67	13,09	100,00	36,57	19,07	13,28	17	1,842	1,840	1,809	0,50	17	0,62	2,77	5,24	0,93	-1,52	17	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,87	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	91,08	8,00	18,02	5,45	4,75	6,05	25,63	1,00	10,00	5,95	16,98	13,06	100,00	36,54	19,14	13,28	18	1,852	1,850	1,819	0,50	18	0,43	2,59	5,29	1,50	-1,33	18	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,89	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	91,50	8,00	18,04	5,45	4,75	6,05	25,75	1,00	10,03	5,95	17,29	13,04	100,00	36,51	19,21	13,27	19	1,862	1,860	1,829	0,50	19	0,28	2,29	4,95	2,21	-0,99	19	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,92	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	91,92	8,00	18,07	5,45	4,75	6,05	25,88	1,00	10,07	5,94	17,61	13,01	100,00	36,47	19,29	13,27	20	1,872	1,870	1,839	0,50	20	0,10	2,09	4,73	2,66	-0,59	20	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,94	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	92,33	8,00	18,09	5,45	4,75	6,05	26,00	1,00	10,10	5,93	17,92	12,99	100,00	36,44	19,36	13,27	21	1,883	1,880	1,849	0,50	21	-0,04	1,80	4,44	3,09	-0,16	21	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,96	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	92,75	8,00	18,11	5,45	4,75	6,05	26,13	1,00	10,13	5,93	18,23	12,96	100,00	36,40	19,43	13,26	22	1,893	1,890	1,859	0,50	22	-0,22	1,62	4,15	3,30	0,26	22	10,00	6,55	-15,00	-16,00	15,99	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	93,17	8,00	18,14	5,45	4,75	6,05	26,25	1,00	10,17	5,92	18,55	12,93	100,00	36,37	19,50	13,26	23	1,903	1,900	1,869	0,50	23	-0,35	1,35	3,85	3,45	0,63	23	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,01	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	93,58	8,00	18,16	5,45	4,75	6,05	26,38	1,00	10,20	5,91	18,86	12,91	100,00	36,33	19,57	13,26	24	1,913	1,910	1,879	0,50	24	-0,51	1,16	3,58	3,46	0,95	24	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,04	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	94,00	8,00	18,19	5,45	4,75	6,05	26,50	1,00	10,24	5,91	19,18	12,88	100,00	36,30	19,65	13,25	25	1,923	1,920	1,889	0,50	25	-0,64	0,94	3,28	3,42	1,23	25	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,06	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	94,42	8,00	18,21	5,45	4,75	6,05	26,63	1,00	10,27	5,90	19,49	12,85	100,00	36,27	19,72	13,25	26	1,933	1,930	1,899	0,50	26	-0,78	0,72	3,03	3,30	1,46	26	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,08	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	94,83	8,00	18,23	5,45	4,75	6,05	26,75	1,00	10,30	5,90	19,80	12,83	100,00	36,23	19,79	13,25	27	1,943	1,940	1,909	0,50	27	-0,89	0,51	2,76	3,13	1,62	27	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,11	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	95,25	8,00	18,26	5,45	4,75	6,05	26,88	1,00	10,34	5,89	20,12	12,80	100,00	36,20	19,86	13,24	28	1,953	1,950	1,920	0,50	28	-0,99	0,31	2,49	2,94	1,77	28	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,13	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	95,67	8,00	18,28	5,45	4,75	6,05	27,00	1,00	10,37	5,88	20,43	12,78	100,00	36,16	19,93	13,24	29	1,964	1,961	1,930	0,50	29	-1,09	0,13	2,22	2,71	1,88	29	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,16	1,00	5,10	9,60	16

55	2215	2210	2179	0,50	55	-2,03	-2,34	-1,25	-1,73	-0,07	55	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,78	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	106,92	8,00	18,93	5,45	4,75	6,05	30,38	1,00	11,29	5,71	31,64	12,07	100,00	35,24	21,87	13,16
56	2224	2220	2189	0,50	56	-2,07	-2,41	-1,33	-1,79	-0,08	56	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,80	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	107,33	8,00	18,95	5,45	4,75	6,05	30,50	1,00	11,32	5,71	32,10	12,04	100,00	35,21	21,95	13,15
57	2234	2229	2198	0,50	57	-2,12	-2,48	-1,41	-1,85	-0,08	57	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,83	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	107,75	8,00	18,98	5,45	4,75	6,05	30,63	1,00	11,36	5,70	32,56	12,01	100,00	35,17	22,02	13,15
58	2243	2239	2208	0,50	58	-2,17	-2,56	-1,49	-1,90	-0,08	58	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,85	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	108,17	8,00	19,00	5,45	4,75	6,05	30,75	1,00	11,39	5,69	33,01	11,99	100,00	35,14	22,09	13,15
59	2253	2248	2217	0,50	59	-2,22	-2,63	-1,58	-1,95	-0,07	59	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,88	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	108,58	8,00	19,03	5,45	4,75	6,05	30,88	1,00	11,43	5,69	33,47	11,96	100,00	35,10	22,16	13,14
60	2263	2258	2227	0,50	60	-2,26	-2,72	-1,66	-2,00	-0,07	60	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,90	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	109,00	8,00	19,05	5,45	4,75	6,05	31,00	1,00	11,46	5,68	33,93	11,94	100,00	35,07	22,23	13,14
61	2272	2267	2236	0,50	61	-2,32	-2,79	-1,75	-2,05	-0,06	61	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,92	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	109,58	8,00	19,07	5,45	4,75	6,05	31,17	1,00	11,49	5,68	34,64	11,91	100,00	35,04	22,31	13,14
62	2282	2277	2246	0,50	62	-2,36	-2,88	-1,84	-2,10	-0,04	62	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,95	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	110,17	8,00	19,10	5,45	4,75	6,05	31,33	1,00	11,53	5,67	35,36	11,88	100,00	35,00	22,38	13,13
63	2294	2288	2257	0,50	63	-2,42	-2,95	-1,94	-2,15	-0,03	63	10,00	6,55	-15,00	-16,00	16,97	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	110,75	8,00	19,12	5,45	4,75	6,05	31,50	1,00	11,56	5,66	36,07	11,86	100,00	34,97	22,45	13,13
64	2308	2303	2272	0,50	64	-2,48	-3,04	-2,03	-2,21	-0,01	64	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,00	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	111,33	8,00	19,15	5,45	4,75	6,05	31,67	1,00	11,60	5,66	36,78	11,83	100,00	34,93	22,52	13,13
65	2322	2317	2286	0,50	65	-2,54	-3,13	-2,13	-2,27	0,02	65	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,02	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	111,92	8,00	19,17	5,45	4,75	6,05	31,83	1,00	11,63	5,65	37,50	11,80	100,00	34,90	22,59	13,12
66	2336	2331	2300	0,50	66	-2,59	-3,23	-2,22	-2,33	0,04	66	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,04	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	112,50	8,00	19,19	5,45	4,75	6,05	32,00	1,00	11,66	5,64	38,21	11,78	100,00	34,87	22,67	13,12
67	2351	2345	2314	0,50	67	-2,65	-3,32	-2,32	-2,39	0,06	67	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,07	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	113,08	8,00	19,22	5,45	4,75	6,05	32,17	1,00	11,70	5,64	38,92	11,75	100,00	34,83	22,74	13,12
68	2365	2359	2328	0,50	68	-2,69	-3,42	-2,42	-2,44	0,06	68	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,09	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	113,67	8,00	19,24	5,45	4,75	6,05	32,33	1,00	11,73	5,63	39,64	11,73	100,00	34,80	22,81	13,12
69	2379	2374	2343	0,50	69	-2,74	-3,51	-2,53	-2,53	0,09	69	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,12	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	114,25	8,00	19,27	5,45	4,75	6,05	32,50	1,00	11,77	5,62	40,35	11,70	100,00	34,76	22,88	13,11
70	2394	2388	2357	0,50	70	-2,79	-3,61	-2,64	-2,59	0,09	70	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,14	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	114,83	8,00	19,29	5,45	4,75	6,05	32,67	1,00	11,80	5,62	41,06	11,67	100,00	34,73	22,95	13,11
71	2408	2402	2371	0,50	71	-2,84	-3,70	-2,75	-2,68	0,10	71	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,16	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	115,42	8,00	19,31	5,45	4,75	6,05	32,83	1,00	11,83	5,61	41,78	11,65	100,00	34,69	23,03	13,11
72	2422	2416	2385	0,50	72	-2,90	-3,78	-2,85	-2,76	0,11	72	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,19	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	116,00	8,00	19,34	5,45	4,75	6,05	33,00	1,00	11,87	5,61	42,49	11,62	100,00	34,66	23,10	13,10
73	2436	2430	2399	0,50	73	-2,95	-3,87	-2,96	-2,85	0,12	73	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,21	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	116,58	8,00	19,36	5,45	4,75	6,05	33,17	1,00	11,90	5,60	43,20	11,59	100,00	34,63	23,17	13,10
74	2451	2445	2414	0,50	74	-3,02	-3,97	-3,06	-2,93	0,12	74	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,24	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	117,17	8,00	19,39	5,45	4,75	6,05	33,33	1,00	11,94	5,59	43,92	11,57	100,00	34,59	23,24	13,10
75	2465	2459	2428	0,50	75	-3,08	-4,06	-3,17	-3,01	0,14	75	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,26	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	117,75	8,00	19,41	5,45	4,75	6,05	33,50	1,00	11,97	5,59	44,63	11,54	100,00	34,56	23,31	13,09
76	2479	2473	2442	0,50	76	-3,15	-4,17	-3,28	-3,08	0,14	76	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,28	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	118,33	8,00	19,43	5,45	4,75	6,05	33,67	1,00	12,00	5,58	45,34	11,52	100,00	34,52	23,38	13,09
77	2494	2487	2456	0,50	77	-3,22	-4,27	-3,40	-3,15	0,16	77	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,31	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	118,92	8,00	19,46	5,45	4,75	6,05	33,83	1,00	12,04	5,57	46,06	11,49	100,00	34,49	23,46	13,08
78	2508	2501	2470	0,50	78	-3,29	-4,38	-3,51	-3,22	0,17	78	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,33	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	119,50	8,00	19,48	5,45	4,75	6,05	34,00	1,00	12,07	5,57	46,77	11,46	100,00	34,46	23,53	13,08
79	2522	2516	2485	0,50	79	-3,35	-4,49	-3,63	-3,30	0,21	79	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,36	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	120,08	8,00	19,51	5,45	4,75	6,05	34,17	1,00	12,11	5,56	47,48	11,44	100,00	34,42	23,60	13,08
80	2537	2530	2499	0,50	80	-3,42	-4,60	-3,75	-3,38	0,25	80	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,38	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	120,67	8,00	19,53	5,45	4,75	6,05	34,33	1,00	12,14	5,56	48,20	11,41	100,00	34,39	23,67	13,08
81	2556	2549	2518	0,50	81	-3,48	-4,71	-3,88	-3,46	0,28	81	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,40	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	121,25	8,00	19,55	5,45	4,75	6,05	34,50	1,00	12,17	5,55	48,91	11,38	100,00	34,35	23,74	13,07
82	2575	2568	2537	0,50	82	-3,55	-4,81	-4,00	-3,55	0,30	82	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,43	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	121,83	8,00	19,58	5,45	4,75	6,05	34,67	1,00	12,21	5,54	49,62	11,36	100,00	34,32	23,82	13,07
83	2595	2588	2557	0,50	83	-3,62	-4,91	-4,13	-3,64	0,32	83	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,45	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	122,42	8,00	19,60	5,45	4,75	6,05	34,83	1,00	12,24	5,54	50,34	11,33	100,00	34,28	23,89	13,07
84	2615	2607	2576	0,50	84	-3,69	-5,02	-4,26	-3,74	0,31	84	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,48	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	123,00	8,00	19,63	5,45	4,75	6,05	35,00	1,00	12,28	5,53	51,05	11,31	100,00	34,25	23,96	13,07
85	2634	2626	2595	0,50	85	-3,76	-5,12	-4,39	-3,84	0,27	85	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,50	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	123,58	8,00	19,65	5,45	4,75	6,05	35,17	1,00	12,31	5,52	51,76	11,28	100,00	34,22	24,03	13,06
86	2654	2646	2615	0,50	86	-3,83	-5,20	-4,52	-3,94	0,25	86	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,52	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	124,16	8,00	19,67	5,45	4,75	6,05	35,33	1,00</								

134	3695	3680	3649	0,50	134	-6,04	-8,85	-8,34	-9,05	-1,58	134	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,67	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	166,25	8,00	20,82	5,45	4,75	6,05	46,08	1,00	13,97	5,21	67,65	9,99	100,00	32,54	27,56	12,91
135	3710	3696	3665	0,50	135	-5,99	-8,83	-8,37	-9,17	-1,52	135	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,70	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	166,38	8,00	20,85	5,45	4,75	6,05	46,13	1,00	14,01	5,21	67,13	9,97	100,00	32,51	27,63	12,90
136	3726	3712	3681	0,50	136	-6,01	-8,78	-8,40	-9,17	-1,70	136	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,72	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	166,50	8,00	20,87	5,45	4,75	6,05	46,17	1,00	14,04	5,20	66,61	9,94	100,00	32,47	27,70	12,90
137	3742	3728	3697	0,50	137	-6,01	-8,74	-8,42	-9,25	-1,79	137	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,75	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	166,63	8,00	20,90	5,45	4,75	6,05	46,21	1,00	14,08	5,20	66,08	9,91	100,00	32,44	27,77	12,90
138	3758	3743	3712	0,50	138	-6,02	-8,74	-8,48	-9,21	-1,91	138	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,77	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	166,75	8,00	20,92	5,45	4,75	6,05	46,25	1,00	14,11	5,19	65,56	9,89	100,00	32,41	27,84	12,89
139	3774	3759	3728	0,50	139	-6,16	-8,65	-8,37	-9,36	-1,93	139	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,79	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	166,88	8,00	20,94	5,45	4,75	6,05	46,29	1,00	14,14	5,18	65,04	9,86	100,00	32,37	27,91	12,89
140	3790	3775	3744	0,50	140	-6,02	-8,76	-8,48	-9,27	-2,01	140	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,82	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	167,00	8,00	20,97	5,45	4,75	6,05	46,33	1,00	14,18	5,18	64,51	9,84	100,00	32,34	27,99	12,89
141	3805	3790	3759	0,50	141	-6,03	-8,54	-8,59	-9,30	-2,17	141	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,84	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	167,13	8,00	20,99	5,45	4,75	6,05	46,38	1,00	14,21	5,17	63,99	9,81	100,00	32,30	28,06	12,89
142	3819	3803	3772	0,50	142	-5,93	-8,61	-8,56	-9,36	-2,23	142	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,87	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	167,25	8,00	21,02	5,45	4,75	6,05	46,42	1,00	14,25	5,16	63,47	9,78	100,00	32,27	28,13	12,88
143	3832	3817	3786	0,50	143	-5,91	-8,48	-8,60	-9,42	-2,35	143	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,89	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	167,38	8,00	21,04	5,45	4,75	6,05	46,46	1,00	14,28	5,16	62,94	9,76	100,00	32,23	28,20	12,88
144	3846	3831	3800	0,50	144	-5,80	-8,48	-8,57	-9,50	-2,37	144	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,91	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	167,50	8,00	21,06	5,45	4,75	6,05	46,50	1,00	14,31	5,15	62,42	9,73	100,00	32,20	28,27	12,88
145	3840	3825	3794	0,50	145	-5,75	-8,38	-8,59	-9,55	-2,48	145	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,94	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	167,63	8,00	21,09	5,45	4,75	6,05	46,54	1,00	14,35	5,15	61,90	9,70	100,00	32,17	28,35	12,87
146	3833	3818	3787	0,50	146	-5,61	-8,36	-8,56	-9,62	-2,54	146	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,96	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	167,75	8,00	21,11	5,45	4,75	6,05	46,58	1,00	14,38	5,14	61,37	9,68	100,00	32,13	28,42	12,87
147	3827	3812	3781	0,50	147	-5,54	-8,25	-8,56	-9,64	-2,65	147	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,99	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	167,88	8,00	21,14	5,45	4,75	6,05	46,63	1,00	14,42	5,13	60,85	9,65	100,00	32,10	28,49	12,87
148	3821	3806	3775	0,50	148	-5,43	-8,16	-8,52	-9,68	-2,74	148	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,01	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	168,00	8,00	21,16	5,45	4,75	6,05	46,67	1,00	14,45	5,13	60,33	9,63	100,00	32,06	28,56	12,86
149	3814	3799	3768	0,50	149	-5,33	-8,05	-8,53	-9,65	-2,86	149	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,03	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	168,13	8,00	21,18	5,45	4,75	6,05	46,71	1,00	14,48	5,12	59,80	9,60	100,00	32,03	28,63	12,86
150	3808	3793	3762	0,50	150	-5,21	-7,94	-8,53	-9,62	-2,93	150	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,06	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	168,25	8,00	21,21	5,45	4,75	6,05	46,75	1,00	14,52	5,11	59,28	9,57	100,00	32,00	28,71	12,86
151	3801	3786	3755	0,50	151	-5,09	-7,83	-8,46	-9,63	-2,99	151	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,08	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	168,38	8,00	21,23	5,45	4,75	6,05	46,79	1,00	14,55	5,11	58,76	9,55	100,00	31,96	28,78	12,85
152	3793	3778	3747	0,50	152	-4,96	-7,69	-8,40	-9,64	-3,03	152	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,11	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	168,50	8,00	21,26	5,45	4,75	6,05	46,83	1,00	14,59	5,10	58,23	9,52	100,00	31,93	28,85	12,85
153	3775	3761	3730	0,50	153	-4,83	-7,56	-8,32	-9,64	-3,09	153	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,13	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	168,63	8,00	21,28	5,45	4,75	6,05	46,88	1,00	14,62	5,09	57,71	9,49	100,00	31,89	28,92	12,85
154	3757	3743	3712	0,50	154	-4,70	-7,41	-8,18	-9,69	-3,15	154	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,15	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	168,75	8,00	21,30	5,45	4,75	6,05	46,92	1,00	14,65	5,09	57,19	9,47	100,00	31,86	28,99	12,84
155	3739	3725	3694	0,50	155	-4,56	-7,26	-8,13	-9,63	-3,21	155	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,18	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	168,88	8,00	21,33	5,45	4,75	6,05	46,96	1,00	14,69	5,08	56,66	9,44	100,00	31,82	29,07	12,84
156	3722	3707	3676	0,50	156	-4,42	-7,10	-8,05	-9,59	-3,27	156	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,20	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	169,00	8,00	21,35	5,45	4,75	6,05	47,00	1,00	14,72	5,08	56,14	9,42	100,00	31,79	29,14	12,84
157	3704	3689	3658	0,50	157	-4,27	-6,93	-7,92	-9,59	-3,32	157	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,23	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	168,29	8,00	21,38	5,45	4,75	6,05	47,03	1,00	14,76	5,07	55,69	9,39	100,00	31,76	29,21	12,83
158	3686	3671	3640	0,50	158	-4,16	-6,86	-7,83	-9,52	-3,45	158	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,25	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	167,58	8,00	21,40	5,45	4,75	6,05	46,67	1,00	14,79	5,06	55,24	9,36	100,00	31,72	29,28	12,83
159	3668	3654	3623	0,50	159	-4,06	-6,70	-7,70	-9,52	-3,63	159	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,27	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	166,88	8,00	21,42	5,45	4,75	6,05	46,50	1,00	14,82	5,06	54,79	9,34	100,00	31,69	29,35	12,83
160	3650	3636	3605	0,50	160	-3,83	-6,57	-7,62	-9,40	-3,67	160	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,30	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	166,17	8,00	21,45	5,45	4,75	6,05	46,33	1,00	14,86	5,05	54,34	9,31	100,00	31,65	29,42	12,83
161	3632	3618	3587	0,50	161	-3,71	-6,38	-7,45	-9,38	-3,71	161	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,32	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	165,46	8,00	21,47	5,45	4,75	6,05	46,17	1,00	14,89	5,04	53,88	9,28	100,00	31,62	29,50	12,82
162	3614	3600	3569	0,50	162	-3,53	-6,26	-7,24	-9,34	-3,77	162	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,35	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	164,75	8,00	21,50	5,45	4,75	6,05	46,00	1,00	14,93	5,04	53,43	9,26	100,00	31,59	29,57	12,82
163	3596	3582	3551	0,50	163	-3,39	-6,02	-7,15	-9,25	-3,82	163	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,37	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	164,04	8,00	21,52	5,45	4,75	6,05	45,83	1,00	14,96	5,03	52,98	9,23	100,00	31,55	29,64	12,82
164	3578	3565	3534	0,50	164	-3,24	-5,85	-6,97	-9,17	-3,87	164	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,39	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	163,33	8,00	21,54	5,45	4,75	6,05	45,67	1,00	14,99	5,03	52,53	9,21	100,00	31,52	29,71	12,81
165	3560	3547	3516	0,50	165	-3,10	-5,63	-6,87	-9,03	-3,92	165	10,00	6,55	-15,00	-16,00	19,42	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	162,63															

213	2859	2850	2819	0,50						213	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,62	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	133,88	8,00	20,77	5,45	4,75	6,05	37,88	1,00	13,89	5,12	34,94	9,60	100,00	32,03	29,21	12,86
214	2847	2838	2807	0,50						214	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,61	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	133,42	8,00	20,76	5,45	4,75	6,05	37,75	1,00	13,87	5,12	34,68	9,61	100,00	32,05	29,19	12,86
215	2835	2826	2795	0,50						215	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,59	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	132,96	8,00	20,74	5,45	4,75	6,05	37,63	1,00	13,84	5,13	34,43	9,62	100,00	32,06	29,17	12,86
216	2823	2815	2784	0,50						216	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,57	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	132,50	8,00	20,72	5,45	4,75	6,05	37,50	1,00	13,81	5,13	34,17	9,63	100,00	32,07	29,14	12,87
217	2811	2803	2772	0,50						217	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,55	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	132,04	8,00	20,70	5,45	4,75	6,05	37,38	1,00	13,78	5,13	33,91	9,65	100,00	32,09	29,16	12,87
218	2799	2791	2760	0,50						218	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,53	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	131,58	8,00	20,68	5,45	4,75	6,05	37,25	1,00	13,76	5,13	33,66	9,66	100,00	32,10	29,12	12,87
219	2788	2780	2749	0,50						219	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,51	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	131,13	8,00	20,66	5,45	4,75	6,05	37,13	1,00	13,73	5,14	33,40	9,67	100,00	32,12	29,10	12,87
220	2780	2772	2741	0,50						220	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,49	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	130,67	8,00	20,64	5,45	4,75	6,05	37,00	1,00	13,70	5,14	33,14	9,68	100,00	32,13	29,09	12,87
221	2772	2763	2732	0,50						221	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,47	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	130,21	8,00	20,62	5,45	4,75	6,05	36,88	1,00	13,67	5,14	32,89	9,69	100,00	32,15	29,07	12,87
222	2763	2755	2724	0,50						222	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,45	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	129,75	8,00	20,60	5,45	4,75	6,05	36,75	1,00	13,65	5,14	32,63	9,70	100,00	32,16	29,05	12,87
223	2755	2747	2716	0,50						223	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,43	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	129,29	8,00	20,58	5,45	4,75	6,05	36,63	1,00	13,62	5,15	32,37	9,71	100,00	32,18	29,03	12,88
224	2747	2739	2708	0,50						224	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,41	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	128,83	8,00	20,56	5,45	4,75	6,05	36,50	1,00	13,59	5,15	32,12	9,72	100,00	32,19	29,02	12,88
225	2738	2730	2699	0,50						225	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,39	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	128,38	8,00	20,54	5,45	4,75	6,05	36,38	1,00	13,56	5,15	31,86	9,73	100,00	32,20	29,00	12,88
226	2730	2722	2691	0,50						226	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,37	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	127,92	8,00	20,52	5,45	4,75	6,05	36,25	1,00	13,54	5,16	31,60	9,75	100,00	32,22	28,98	12,88
227	2722	2714	2683	0,50						227	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,36	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	127,46	8,00	20,51	5,45	4,75	6,05	36,13	1,00	13,51	5,16	31,35	9,76	100,00	32,23	28,96	12,88
228	2714	2706	2675	0,50						228	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,34	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	127,00	8,00	20,49	5,45	4,75	6,05	36,00	1,00	13,48	5,16	31,09	9,77	100,00	32,25	28,95	12,88
229	2705	2697	2666	0,50						229	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,32	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	126,54	8,00	20,47	5,45	4,75	6,05	35,88	1,00	13,45	5,16	30,86	9,78	100,00	32,26	28,93	12,88
230	2697	2689	2658	0,50						230	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,30	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	126,08	8,00	20,45	5,45	4,75	6,05	35,75	1,00	13,43	5,17	30,63	9,79	100,00	32,28	28,91	12,88
231	2689	2681	2650	0,50						231	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,28	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	125,62	8,00	20,43	5,45	4,75	6,05	35,63	1,00	13,40	5,17	30,40	9,80	100,00	32,29	28,89	12,89
232	2680	2673	2642	0,50						232	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,26	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	125,16	8,00	20,41	5,45	4,75	6,05	35,50	1,00	13,37	5,17	30,17	9,81	100,00	32,31	28,88	12,89
233	2672	2665	2634	0,50						233	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,24	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	124,70	8,00	20,39	5,45	4,75	6,05	35,38	1,00	13,34	5,17	29,94	9,82	100,00	32,32	28,86	12,89
234	2664	2656	2625	0,50						234	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,22	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	124,24	8,00	20,37	5,45	4,75	6,05	35,25	1,00	13,32	5,18	29,72	9,83	100,00	32,33	28,84	12,89
235	2656	2648	2617	0,50						235	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,20	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	123,78	8,00	20,35	5,45	4,75	6,05	35,13	1,00	13,29	5,18	29,49	9,85	100,00	32,35	28,82	12,89
236	2647	2640	2609	0,50						236	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,18	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	123,32	8,00	20,33	5,45	4,75	6,05	35,00	1,00	13,26	5,18	29,26	9,86	100,00	32,36	28,81	12,89
237	2639	2633	2601	0,50						237	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,16	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	122,86	8,00	20,31	5,45	4,75	6,05	34,88	1,00	13,23	5,18	29,03	9,87	100,00	32,38	28,79	12,89
238	2631	2623	2592	0,50						238	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,14	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	122,40	8,00	20,29	5,45	4,75	6,05	34,75	1,00	13,21	5,19	28,80	9,88	100,00	32,39	28,77	12,90
239	2622	2615	2584	0,50						239	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,12	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	121,94	8,00	20,27	5,45	4,75	6,05	34,63	1,00	13,18	5,19	28,57	9,89	100,00	32,41	28,75	12,90
240	2614	2607	2576	0,50						240	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,11	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	121,48	8,00	20,26	5,45	4,75	6,05	34,50	1,00	13,15	5,19	28,34	9,90	100,00	32,42	28,74	12,90
241	2606	2599	2568	0,50						241	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,09	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	121,02	8,00	20,24	5,45	4,75	6,05	34,38	1,00	13,12	5,20	28,11	9,91	100,00	32,44	28,72	12,90
242	2597	2590	2559	0,50						242	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,07	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	120,56	8,00	20,22	5,45	4,75	6,05	34,25	1,00	13,10	5,20	27,88	9,92	100,00	32,45	28,70	12,90
243	2589	2582	2551	0,50						243	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,05	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	120,10	8,00	20,20	5,45	4,75	6,05	34,13	1,00	13,07	5,20	27,65	9,93	100,00	32,46	28,68	12,90
244	2581	2574	2543	0,50						244	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,03	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	120,64	8,00	20,18	5,45	4,75	6,05	34,00	1,00	13,04	5,20	27,42	9,95	100,00	32,48	28,67	12,91
245	2573	2566	2535	0,50						245	10,00	6,55	-15,00	-16,00	18,01	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	120,18	8,00	20,16	5,45	4,75	6,05	33,88	1,00	13,01	5,21	27,19	9,96	100,00	32,49	28,65	12,91
246	2564	2557	2526	0,50						246	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,99	1,00	5,10	9,60	16,00	4,65	-8,00	-3,00	3,00	120,72	8,00	20,14	5,45	4,75	6,05	33,75	1,00	12,99	5,21	26,97	9,97	100,00	32,51	28,63	12,91
247	2556	2549	2518	0,50						247	10,00	6,55	-15,00	-16,00	17,97	1,00	5,10	9,60	16,00	4,																			



## Bijlage 2 Memo validatie rekenplatform

Aan : Rijkswaterstaat De Maaswerken  
t.a.v. Jolanda Onneweer

Van : Ron Agtersloot, Bas Les

Datum : 19 september 2002

Kopie : Bart Peerbolte, Wouter Bijman

Onze referentie : 9M4711.A0/M001/BL/Rott2b

**Betreft** : Vergelijking rekenplatform WAQUA MER-Grensmaas berekeningen

---

### Inleiding

In het kader van het rivierkundig onderzoek MER Grensmaas moet een groot aantal berekeningen worden uitgevoerd met het WAQUA-model van de Maas. Op verzoek van De Maaswerken is gevalideerd in hoeverre de resultaten van de referentieberekening zoals uitgevoerd door De Maaswerken kunnen worden gereproduceerd op de rekenplatforms waarvan Royal Haskoning/Meander (RH/M) gebruik zouden willen maken.

De referentieberekening kan als volgt worden omschreven:

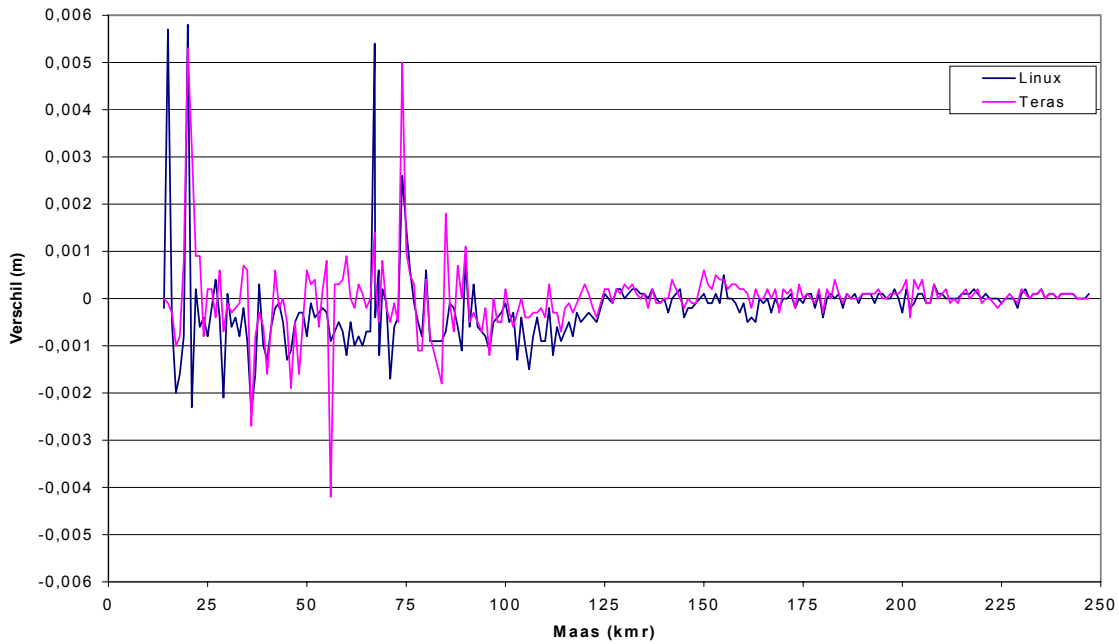
Maker: RWS/RIZA  
WAQUA-model: MHW98\_3  
Siminp-file: siminp.001m  
Berekeningscode: 001m-s02  
Partitie file: coppre-r.001m-s02  
WAQUA-versie: WAQUA 2002-01  
Rekenplatform: 4 processor Sun (rwrz795 van RWS/RIZA)

Het betreft hier de MHW-berekening (een hoogwatergolf met een kans van voorkomen van  $1/1250^e$  per jaar) voor de situatie in 1998, dus na aanleg van de DGR-kaden. De simulatieperiode beslaat 12 dagen en begint op een initiële waterstand behorende bij een afvoer van  $1700\text{m}^3/\text{s}$  (Borgharen).

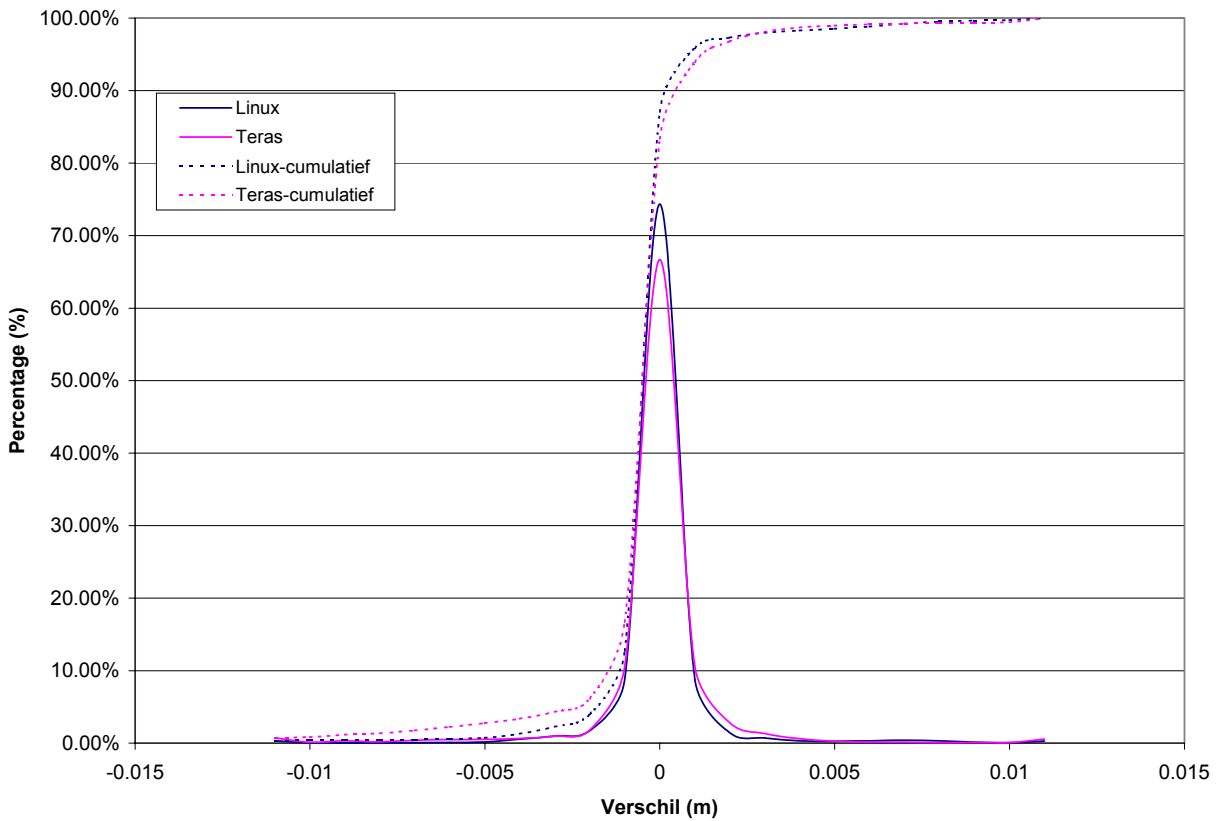
Door RH/M zijn twee mogelijke rekenplatforms genoemd die gebruikt kunnen worden voor het uitvoeren van de WAQUA-berekeningen. De eerste is de Teras, een supercomputer bij SARA. Het tweede rekenplatform is het Linux-cluster van RH. Op beide platforms is gerekend op vier processoren en dezelfde partitie-indeling als de opdrachtgever. Voor beide platforms is door VORtech de te gebruiken source-code beschikbaar gesteld. Het betreft hier een variant van de officiële versie WAQUA 2002-01. De aanpassingen betreffen het bijhouden van de maximale waterstanden en snelheden tijdens de berekening en het genereren van uitvoer voor het maken van overstromingsanimaties. Deze variant is speciaal voor De Maaswerken ontwikkeld en is (lokaal) bekend als parwq0205.

In eerste instantie zijn met de originele simulatie invoerfile van RIZA de berekeningen uitgevoerd. Bij controle van de resultaten bleek het model echter instabiliteiten te vertonen in de tijdreeksen van de waterstanden. Deze instabiliteiten zaten ook al in het oorspronkelijke model dat van RIZA afkomstig was. In overleg met ir. A. Wijbenga (De Maaswerken) is besloten met de DUPwnd-waarde te verhogen van 1 naar 999. Dit zou moeten leiden tot een stabiel model.





Figuur 1 Verschil in maximale waterstanden



Figuur 2 Verschillen in resultaten, statische bepaling

Dit bleek echter niet het geval te zijn; de resultaten (zowel op de Sun, de Teras als het Linux-cluster) werden nauwelijks stabiel. Van deze berekeningen (dus met een verhoogde DUPwnd-waarde) worden wel de resultaten gepresenteerd. Aan het eind van dit memo wordt nader ingegaan op de stabiliteit van het WAQUA-model.

De vergelijkingen worden gemaakt op drie verschillende onderdelen:

- 1) topwaterstanden in de rivieras (iedere kilometer);
- 2) een verschil statistiek voor 23 klassen van een momentaan waterstandsveld;
- 3) 2D verschilplots van de waterstandsverschillen.

De berekening op het Linux-cluster is in eerste instantie met de door VORtech geleverde executable uitgevoerd. Deze berekening bleek al snel niet de gewenste nauwkeurigheid te halen. Er is daarom gekozen om de WAQUA-versie opnieuw te compileren met de INTEL compiler. De berekening met de opnieuw gecompileerde versie blijkt veel betere resultaten op te leveren. De in deze memo gepresenteerde resultaten zijn van de laatst genoemde berekening.

### **A) Vergelijking topwaterstanden**

In Figuur 1 staan de absolute waterstanden van de berekeningen geplot en de verschillen van de Linux en Teras berekeningen t.o.v. de Sun berekening. Duidelijk is dat de verschillen tussen de Sun en respectievelijk de Linux en de Teras resultaten in dezelfde orde liggen. De maximale afwijking is 0.006m. De grootste verschillen zitten in de Grensmaas maar omdat dat voor beide rekenplatforms geldt is dit waarschijnlijk geen goede reden om onderscheid te maken.

Opvallend is wel dat de resultaten soms dezelfde pieken vertonen (rkm 20 en rkm 74) maar soms ook tegengestelde pieken (rkm 15). Het is moeilijk hier een eenduidige verklaring voor te geven. Door Anne Wijbenga is aangegeven dat enkele van de numerieke parameters in de WAQUA-schematisatie (met name de tijdstapgrootte, de viscositeit en het criterium voor wel/niet opwind rekenen) een waarde hebben die aanleiding kunnen geven tot slingeringen in de oplossingen.

### **B) Verschil statistiek van een momentaan waterstandsveld**

Een tweede vergelijking wordt gemaakt op een momentaan waterstandsveld. In overleg met de opdrachtgever is gekozen om de waterstand na negen dagen simuleren. Op dit moment is de waterstand in een groot deel van het model maximaal. Uit de SDS-files zijn met behulp van waqpan de betreffende waterstandsvelden gehaald waarna deze met elkaar zijn vergeleken.

De verschillen zijn ingedeeld in 23 klassen, variërend van  $-0,0105\text{m}$  tot  $0,0105\text{m}$  met een klassegrootte van  $0.001\text{m}$ . Deze klasseindeling zorgt ervoor dat er een symmetrie rond de klasse met de waarde '0' ontstaat. Onderstaande tabel laat zien welk percentage van de actieve punten (punten die binnen de rekenroosterbegrenzing vallen) in welke klasse valt. Grafisch wordt dit gepresenteerd in Figuur 2.

Het Linux-cluster zit iets dichterbij de Sun dan de Teras. Voor het Linux-cluster geldt dat 92% van de punten minder  $0.0015\text{m}$  afwijkt van de Sun, terwijl dit voor de Teras 88% is. Verder

geldt dat op het Linux-cluster 2.4% van de punten meer dan 0.005m afwijkt, terwijl dit voor de Teras 4.0% is.

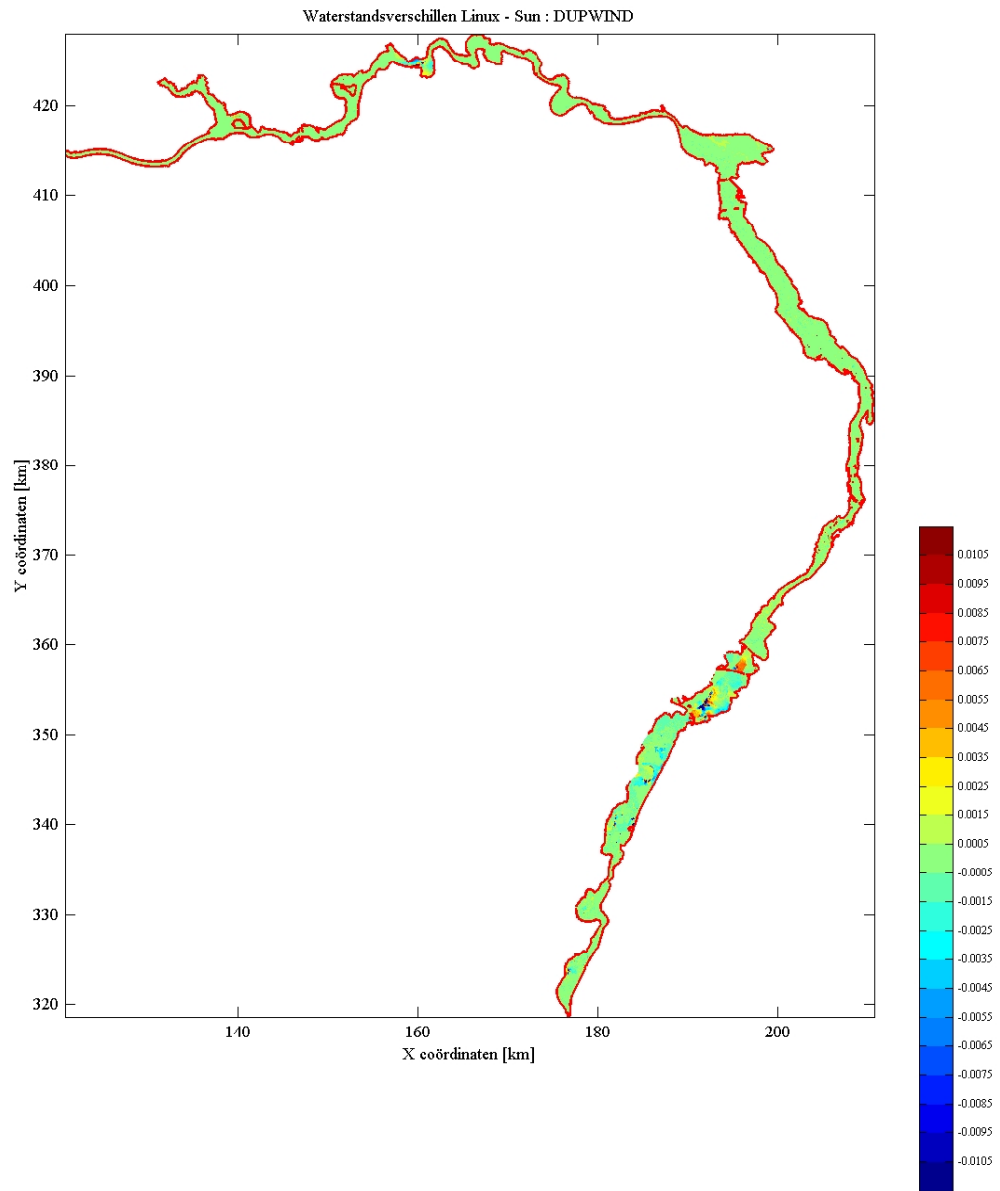
Tabel 12-1 Verschillen van waterstanden van alle punten

Verschil klassen [m]		Aantal punten		Percentage van totaal	
		Linux	Teras	Linux	Teras
0.0105	<	458	1248	0,22%	0,60%
0.0095	0.0105	100	94	0,05%	0,05%
0.0085	0.0095	139	113	0,07%	0,05%
0.0075	0.0085	179	142	0,09%	0,07%
0.0065	0.0075	252	165	0,12%	0,08%
0.0055	0.0065	670	307	0,32%	0,15%
0.0045	0.0055	867	598	0,42%	0,29%
0.0035	0.0045	1075	764	0,52%	0,37%
0.0025	0.0035	2069	1576	0,99%	0,76%
0.0015	0.0025	2744	4653	1,32%	2,23%
0.0005	0.0015	16419	17360	7,88%	8,33%
-0.0005	0.0005	151713	150822	72,79%	72,37%
-0.0015	-0.0005	20561	16936	9,87%	8,13%
-0.0025	-0.0015	5023	5514	2,41%	2,65%
-0.0035	-0.0025	2365	2907	1,13%	1,39%
-0.0045	-0.0035	1591	1758	0,76%	0,84%
-0.0055	-0.0045	504	1182	0,24%	0,57%
-0.0065	-0.0055	280	471	0,13%	0,23%
-0.0075	-0.0065	272	257	0,13%	0,12%
-0.0085	-0.0075	125	172	0,06%	0,08%
-0.0095	-0.0085	100	146	0,05%	0,07%
-0.0105	-0.0095	68	89	0,03%	0,04%
<	-0.0105	838	1138	0,40%	0,55%

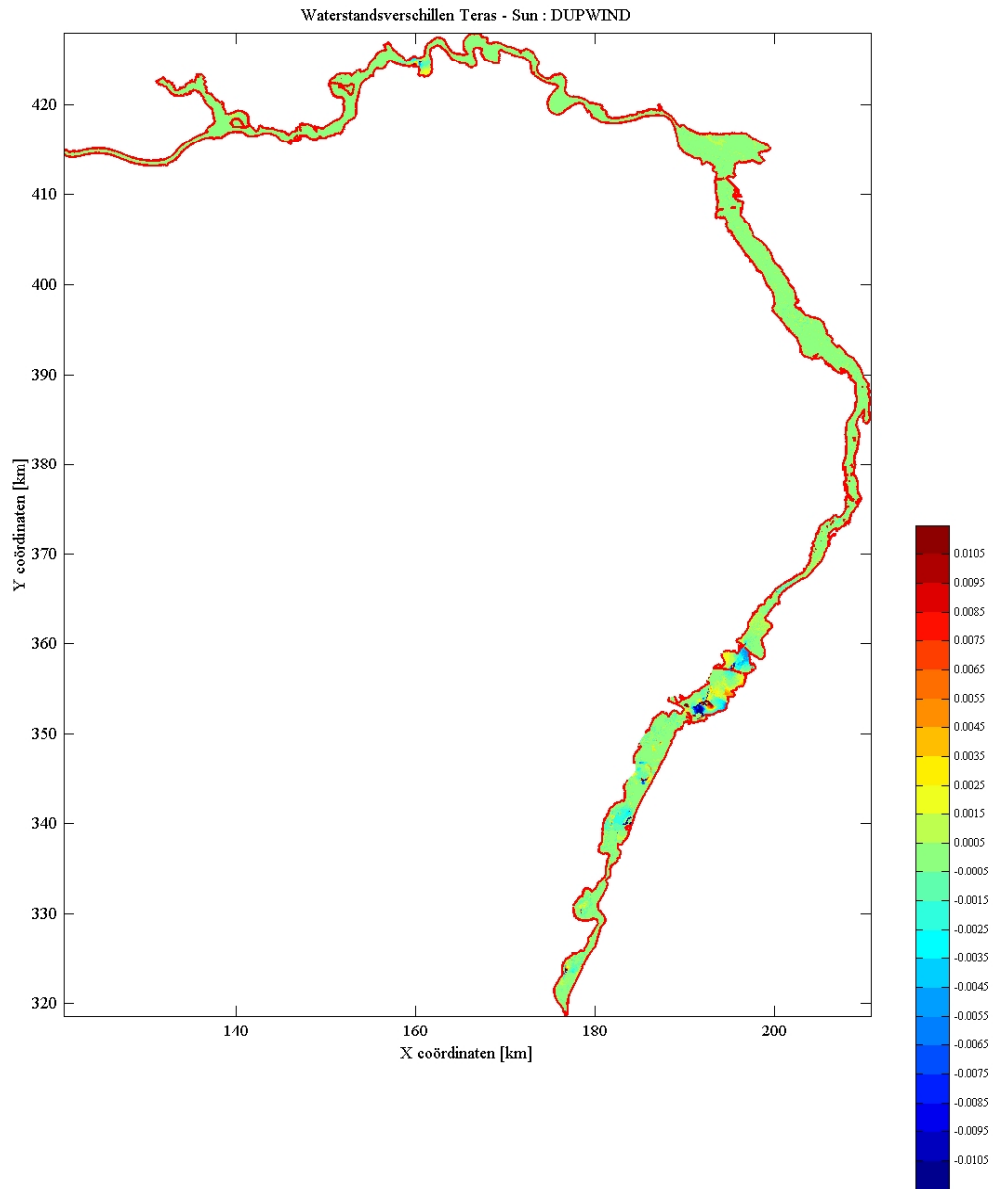
### C) 2D verschilplots van de waterstandsverschillen

De derde en laatste vergelijking is een grafische presentatie van de verschillen zoals deze in de tweede vergelijking zijn bepaald. Dit laat zien of de verschillen zich concentreren in specifieke gebieden of dat ze juist willekeurig verdeeld liggen in het gebied.

Het beeld dat was ontstaan na de eerste twee vergelijkingen (grootste verschillen treden op in de Grensmaas, Linux ligt dicht bij de Sun dan de Teras) wordt bevestigd door de figuren met de ruimtelijke verdelingen van de verschillen. Figuur 3 laat de verschillen zien voor het Linux-cluster, terwijl Figuur 4 dit toont voor de Teras. Het Linux-cluster heeft grootste verschillen bij Meers, Berg en Maasbracht. De Teras voegt hier nog toe Obbicht, Roosteren en Roermond.



*Figuur 6 Verschillen in resultaten Linux-cluster en Sun, ruimtelijke verdeling*

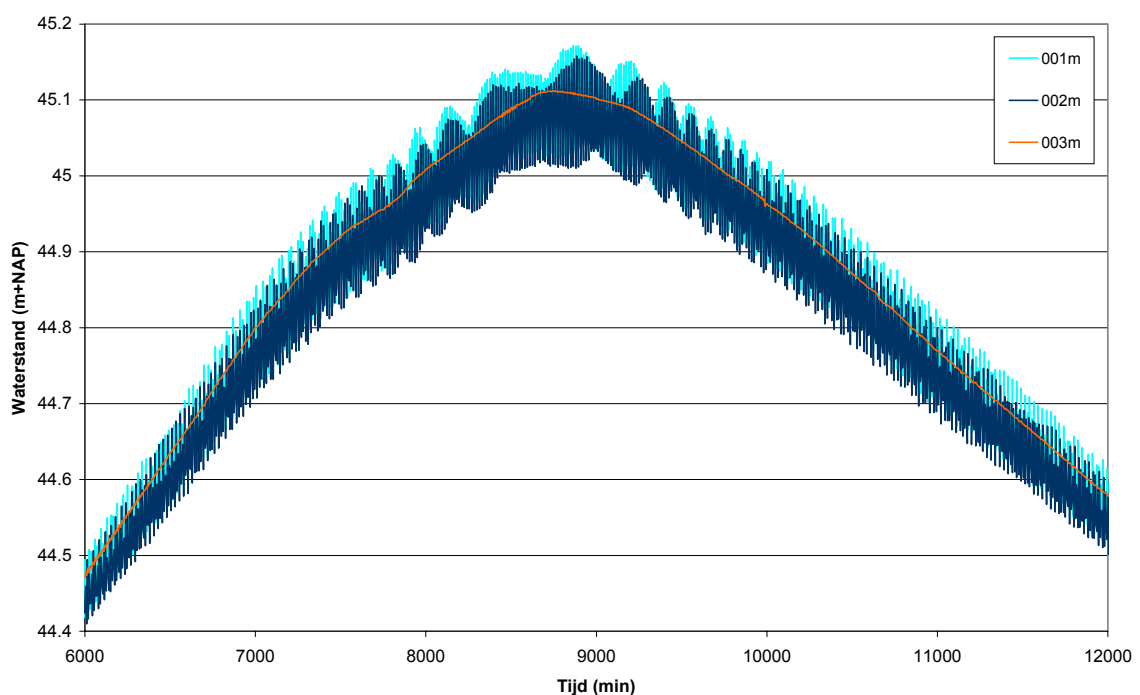


*Figuur 7 Verschillen in resultaten Teras en Sun, ruimtelijke verdeling*

## Stabiliteit van het WAQUA-model

Het verhogen van de DUPwnd-waarde om tot een stabielere model te komen had niet het gewenste effect. Als laatste oplossing is daarom besloten te kiezen voor een halvering van de tijdstap (van 0.25 minuut tot 0.125 minuut). Vanwege problemen met de automatische debietverdeling op de instroomrand werd de berekening halverwege afgebroken. Na het verhogen van de viscositeit (van 0.5 naar 0.7) en het aanpassen van de bodem ter plaatse van de instroming (uniform op 38.0 m+NAP) bleef de instroomrand wel instabiel maar kwam de berekening wel tot een succesvol eind. Deze berekening is enkel op de Teras uitgevoerd.

Het verlagen van de tijdstap heeft (met uitzondering van de instroomrand) wel een veel stabielere resultaat tot gevolg. Dit wordt duidelijk geïllustreerd in Figuur 8 waar voor de drie succesvolle berekeningen de tijdreeksen van de waterstand op rkm 20 wordt gepresenteerd.



Figuur 8 Tijdreeksen van de waterstand op rkm 20

Berekening 001m (de lichtblauwe lijn) is de herhaling van de validatieberekening. De berekening kent een instabiliteit van circa 0.14 m tijdens de piek in de hoogwatergolf. De berekening 002m (de donkerblauwe lijn) is de berekening met de verhoogde DUPwnd-waarde. Zichtbaar is dat het model hier niet stabielere van geworden is; de variatie in waterstanden bedraagt nog steeds 0.14 m. Het meest interessant is echter de berekening 003m (de oranje lijn in Figuur 8). Deze lijn is vrijwel stabiel en varieert tijdens de piek slechts enkele millimeters. Dit wordt ook duidelijk als gekeken wordt naar het absolute verschil tussen twee opeenvolgende waterstanden. Het gemiddelde van de berekeningen 001m en 002m is ongeveer 0.04 m, voor de berekening 003m is dit gemiddelde slechts 0.0015 m.

## Conclusies en voorstel rekenplatform

Het Maas-model heeft last van grote instabiliteiten. In de tijdreeksen op rkm 20 (zie Figuur 8) is duidelijk zichtbaar dat er instabiliteiten zijn met een amplitude van circa 0.14 m. Dit maakt het vergelijken op tijdreeksen moeilijk.

Bij een vergelijking op de maximale waterstanden (zie Figuur ) en op de waterstanden na negen dagen rekenen (zie Figuur 6 en Figuur 7) laten beide rekenplatforms hetzelfde resultaat zien. Op grote delen zijn de verschillen zeer beperkt, terwijl lokaal grote uitschieters kunnen voorkomen. Kritieke plekken zitten bij Meers, Berg en Maasbracht. Vanwege de instabiliteiten die al voorkomen in de referentieberekening kan niet worden uitgesloten dat de verschillen worden veroorzaakt door de Sun.

Het verkleinen van de tijdstap (in samenhang met het verhogen van de viscositeit en het lokaal aanpassen van de bodem) leidt tot veel stabielere resultaten. De consequentie is echter dat de doorlooptijd van de berekeningen twee keer zo lang wordt en dit zou consequenties kunnen hebben op de planning. Het gaat in ieder geval leiden tot hogere rekenkosten.

Beide platforms hebben hun voor- en nadelen. De Teras kan sneller zijn bij gebruik van meerdere processoren maar dit is niet doorslaggevend. Anderzijds kan het soms enige tijd duren voordat een rekenjob op de Teras daadwerkelijk wordt uitgevoerd. Het Linux-cluster is iets langzamer dan de Teras maar kent geen wachttijden en biedt de mogelijkheid om direct op te werken.

Beide voorgestelde rekenplatforms kunnen de resultaten van de referentieberekening op de Sun met voldoende zekerheid reproduceren. De resultaten geven dan ook geen aanleiding om één van de rekenplatforms op basis van de resultaten uit te sluiten. Een en ander afwegende is het voorstel van Royal Haskoning/Meander om gebruik te maken van het Linux-cluster.

## Bijlage 3 Memo weergave van de fysica met wiskundige modellen

Project : PR098.10

Datum : 25 maart 1997

Van : Anne Wijbenga

Onderwerp : Weergave van de fysica met wiskundige modellen

Kopieën : M. Tonneijck, M. Dijkman

---

### Weergave van waterbeweging en morfologie met wiskundige modellen

#### 1 Inleiding

De fysische processen, waarin de interactie van de waterbeweging en de sedimentbeweging plaatsvindt, zijn complex. Waterdeeltjes bewegen zich onder invloed van verschillende krachten in drie richtingen, waarbij de deeltjes afwisselend versnellen en vertragen. Bij rivieren die in hun eigen afzetting van loskorrelig materiaal stromen, zal, bij het overschrijden van een minimum snelheid, het materiaal op de bodem in beweging komen. De in beweging gebrachte korrels verplaatsen zich onder invloed van de stromingskrachten op de korrel en de inwerking van de zwaartekracht, totdat de op de korrel uitgeoefende krachten niet groot genoeg meer zijn om het in beweging te houden.

Door de zich verplaatsende korrels ontstaat een proces van erosie en sedimentatie, waardoor de vorm van de rivier in de loop van de tijd verandert. Deze veranderingen zijn over het algemeen pas na enige tijd zichtbaar, waarbij de veranderingen in het horizontale vlak direct zichtbaar zijn in de vorm van oevererosie of het meanderen van de rivier, terwijl veranderingen in de verticale richting in de vorm van erosie of sedimentatie van het rivierbed soms pas zichtbaar worden bij (extreem) lage afvoeren.

Het fysische proces is boven in Figuur 1 vet omlijnd aangegeven. De rest van de figuur heeft betrekking op de verschillende stappen die genomen moeten worden om voor het 1-dimensionale of 2-dimensionale geval te komen tot een voorspelling van de hydraulische en morfologische condities voor extreme afvoeren (extrapolatie) of voor situaties met een gewijzigde geometrie. De gewenste voorspellingen zijn in Figuur 1 aan de onderzijde vet omlijnd aangegeven. De in Figuur 1 aangegeven tussenliggende stappen omvatten de verschillende vereenvoudigingen, die nodig zijn om te komen tot een beschrijving van de natuur waarmee op relatief snelle wijze voorspellingen zijn te geven. In principe leidt elke vereenvoudigingsstap tot verlies van informatie en een vermindering van de nauwkeurigheid in de voorspelde situatie. De verschillende stappen zullen in het navolgende worden toegelicht.



---

## 2 Van fysica tot voorspelling met modellen

### *Differentiaalvergelijkingen in 3 richtingen (3-dimensionaal)*

De eerste stap bij het weergeven van de complexe fysica bestaat uit het opstellen van een wiskundige formulering. In het dagelijkse leven worden dergelijke concepten onbewust toegepast, bijvoorbeeld voor het schatten van de reistijd van plaats A naar plaats B. We gebruiken daarbij een eenvoudige wiskundige formulering, waarbij de reistijd gelijk is aan de afstand maal de gemiddelde reistijd per km (of wat hetzelfde is: afstand gedeeld door snelheid).

Voor ingewikkelde fysische processen is een eenvoudige wiskundige beschrijving niet meer toereikend. Op grond van twee belangrijke wetten, 'behoud van massa' en 'behoud van energie', zijn de differentiaalvergelijkingen (= wiskundige beschrijving van de fysica) op te stellen. Voor een correcte beschrijving van de fysische processen is het dan nog van belang aan te geven hoe de situatie er aan het begin uitziet en hoe het systeem zich op de randen gedraagt. De wiskundige beschrijving is in beginsel 3-dimensionaal, dat wil zeggen dat de wetten voor massabehoud en energiebehoud in drie richtingen zijn toegepast op zowel de waterbeweging als de sedimentbeweging.

Opmerking:

Voor de sedimentbeweging kan overigens worden volstaan met een beschrijving in 2 dimensies. Bij bodemtransport bewegen de korrels over het scheidingsvlak tussen water en sediment.

### *Differentiaalvergelijkingen waterbeweging en morfologie in 2 richtingen (2-dimensionaal)*

Het oplossen van de wiskundige formuleringen in 3 dimensies voor een grote rivierlengte vergt enorme rekencapaciteit, zowel qua geheugen als qua rekensnelheid, terwijl het schematiseren een buitensporig zware inspanning zal zijn. Het maken van een model op basis van een wiskundige formulering in 3-dimensies is voor een milieu effect rapportage (mer) ook niet nodig, zodat verdere vereenvoudigingen noodzakelijk zijn.

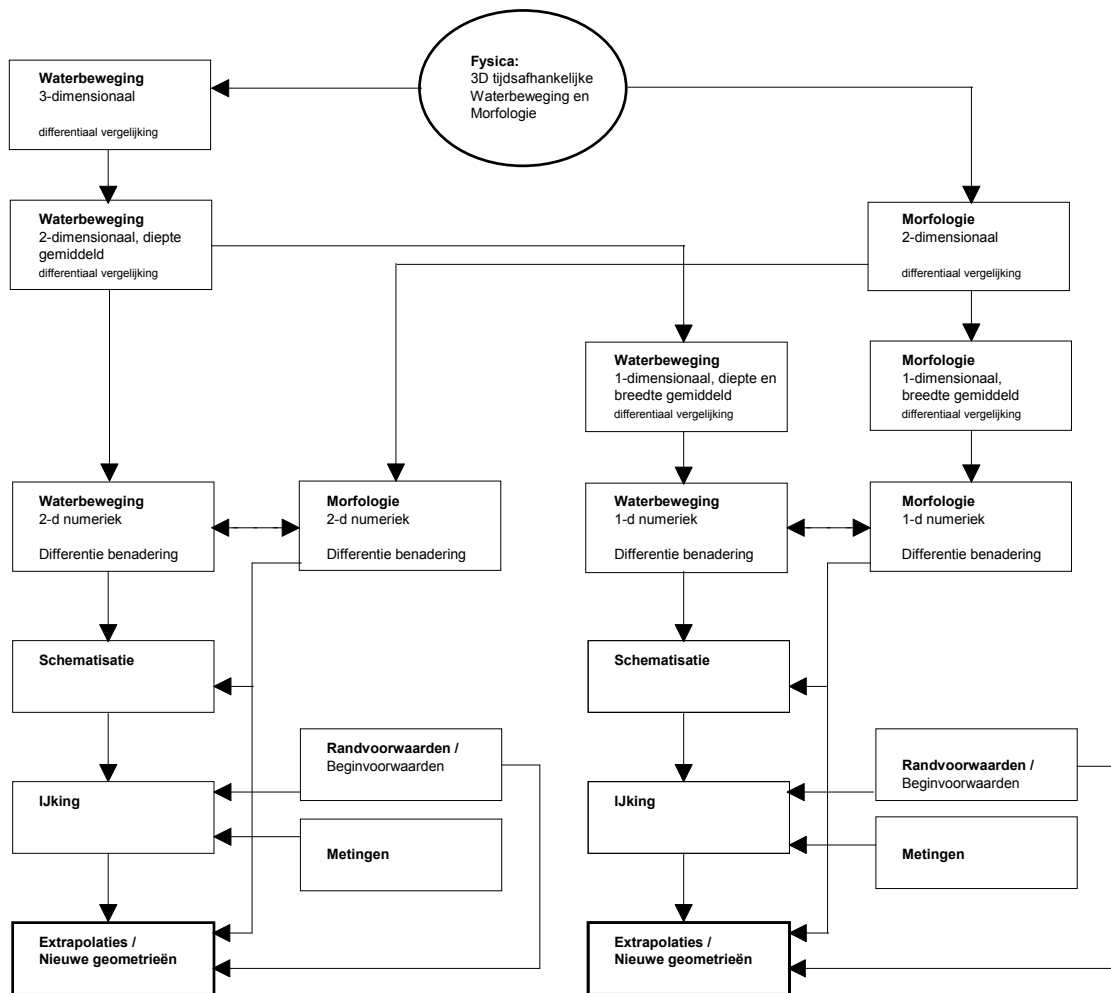
De eerste vereenvoudigingen zijn aan te brengen op basis van het gegeven dat de versnellingen van de waterbeweging in verticale richting klein zijn. Dit betekent dat de drukverdeling in de verticaal hydrostatisch is. Na integratie over de diepte ontstaan de diepte-gemiddelde vergelijkingen. Het aantal dimensies is daarmee met één gereduceerd. Deze beschrijving komt overeen met het tweede niveau in Figuur 1.

Voor de simulatie van de diepte-gemiddelde stroming in combinatie met transport van (bodem)materiaal bestaan verschillende programma's. Ten behoeve van de bepaling van de richting van het transport wordt op een slimme manier rekening gehouden met de invloed van de secundaire stroming, die bij een driedimensionale beschrijving vanzelf ontstaat. Dit type modellering wordt wel aangeduid met 2,5 d, omdat het iets van de derde dimensie handhaaft zonder dat het een echte 3d beschrijving is.

Ook de toepassing van programma's voor de simulatie van de diepte-gemiddelde waterbeweging en sedimentbeweging in 2 richtingen vergt nog altijd veel computergeheugen en rekenkracht, terwijl ook het klaarmaken van schematisaties arbeidsintensief is. Voor een snelle bepaling van de invloed van werken op de waterbeweging en de morfologie in de Maas, zoals bij het uitwerken van de mer-plannen gewenst is, zijn verdere vereenvoudigingen nodig.

*Differentiaalvergelijkingen in 1 richting (1-dimensionaal)*

Een verdere vereenvoudiging is te realiseren door de differentiaal-vergelijkingen te middelen over de breedte. Na de middelingsprocedure blijft een stelsel van differentiaalvergelijkingen in één richting over voor zowel de waterbeweging als de morfologie.



Figuur 1: overzicht schematisatie

*Van differentiaalvergelijking naar differentievergelijking*

Voor een beperkt aantal differentiaalvergelijkingen bestaat een analytische oplossing. Het stelsel vergelijkingen dat het gedrag van de waterbeweging en morfologie beschrijft is niet analytisch op te lossen. De komst van computers heeft het mogelijk gemaakt de differentiaalvergelijkingen numeriek op te lossen. Hiervoor moet de opgestelde differentiaalvergelijkingen geschikt worden gemaakt voor een verwerking. Dit vergt opnieuw een benadering van de werkelijkheid. Tot nu toe wordt met de differentiaalvergelijkingen het proces voor een continue medium beschreven, dat wil zeggen de vergelijkingen beschrijven de fysica op elke willekeurige plaats in de natuur. Een computer gaat echter uit van een beschrijving van de fysica op zogenaamde discrete punten, dat wil zeggen de vergelijkingen worden in vooraf gedefinieerde punten opgelost. De vooraf gedefinieerde punten vormen het rekenrooster.

Om dit mogelijk te maken moeten de differentiaalvergelijkingen (kromme d's) omgezet worden naar een differentievergelijking (discrete veranderingen op het rekenrooster). De differentievergelijking wijkt daarbij iets af van de differentiaalvergelijking. De differentievergelijking is een benadering van de eigenlijk op te lossen differentiaalvergelijking.

#### *Schematisatie en empirische benaderingen*

In de vergelijkingen komen diverse parameters voor, zoals bodemhoogte, snelheid, waterstand en ruwheid. Enkele van deze parameters hebben via de schematisatie en de keuze voor empirische relaties invloed op het eindresultaat van de berekeningen. Wat betreft de schematisatie spelen vooral de bodemligging en de ruwheidswaarden een rol. Bij de vertaling van de ruwheidswaarde naar de weerstand tegen afstroming wordt een empirische relatie gebruikt (Manning of White-Colebrook). Empirische relaties worden gebruikt als er geen exacte beschrijving mogelijk of beschikbaar is en zijn een benadering van de werkelijkheid. Het resultaat van de berekeningen wordt hierdoor beïnvloed.

#### *Begin- en randvoorwaarden.*

Begin en randvoorwaarden spelen op twee momenten een rol, namelijk bij het afregelen (ijken) van het model en bij het maken van voorspellingen voor extreme situaties en/of veranderde riviergeometrie. Afwijkingen tussen de opgelegde begintoestand en de toestand zoals deze zich in werkelijkheid heeft voorgedaan dempen tijdens het rekenproces uit. Door het tijdstip waarop de berekeningen moeten aanvangen voldoende ver terug in de tijd te leggen zijn de onnauwkeurig-heden als gevolg van de gebruikte beginvoorwaarden te beperken.

De op de randen van het model geldende voorwaarden bestaan bij de ijking over het algemeen uit metingen. Veelal is het te modelleren gebied complex en stroomt op meerdere plekken water in en uit het model. Slechts in zeldzame gevallen zijn voor elke in- en uitstroming simultaan meetgegevens beschikbaar voor het opstellen van de randvoorwaarden. Dit houdt in dat een deel van de randvoorwaarden moet worden gebaseerd op schattingen.

Voor de berekeningen waarbij sprake is van extrapolaties geldt dat ook de randvoorwaarden voor die omstandigheden moeten worden geëxtrapoleerd. Naarmate sprake is van meer extrapolatie neemt de nauwkeurigheid van de geëxtrapoleerde waarde af.

#### *Meetgegevens*

In het proces van afregelen van het model zijn randvoorwaarden opgelegd, die zijn gebaseerd op meetgegevens. Onnauwkeurigheden in de gegevens die tijdens de validatie ervan niet zijn opgevallen zullen ertoe leiden dat het model hierop wordt afgeregeld. In de praktijk betekent dit dat hierdoor de hydraulische ruwheid op locaties (of in het gehele model) is aangepast om een zo goed mogelijke aansluiting te krijgen tussen meetgegevens en rekenresultaten.

#### *Het samenspel van waterbeweging en morfologie*

In de natuur vindt er een continue interactie plaats tussen waterbeweging en sedimentbeweging. De processen voor de waterbeweging verlopen sneller dan de processen voor de sediment-beweging. Voor het rekenproces houdt dit in dat de tijdstap voor het

berekenen van de waterbeweging klein moet zijn ten opzichte van de ontwikkeling van de morfologische processen. Per tijdstap zijn de veranderingen in de morfologische processen dan nog erg klein. Het simultaan oplossen van water- en sedimentbeweging heeft daarom niet zoveel zin. Op grond hiervan wordt de berekening van de waterbeweging losgekoppeld van de berekening voor het sediment, zodat de procedure voor het berekenen van de morfologische veranderingen bestaat uit het uitvoeren van een aantal tijdstappen voor de waterbeweging, gevolgd door een berekening van de veranderingen in de bodemligging. Op grond van de veranderingen wordt de schematisatie aangepast.

#### *Afbreek criterium*

Het stelsel differentievergelijkingen wordt met de computer iteratief opgelost. De restfouten in het iteratieproces nemen bij stabiele berekeningen tijdens het rekenproces af, totdat aan een vooraf ingesteld criterium is voldaan. Hoe groter de nauwkeurigheid, hoe langer het rekenproces duurt. Over het algemeen wordt gezocht naar een optimum tussen gewenste nauwkeurigheid voor het iteratieproces en bij behorende rekentijd. Bij de ZWENDL-berekeningen wordt een afbreekcriterium gebruikt van 0,01 m.

### **3 Onzekerheden**

Voor een juiste interpretatie van de rekenresultaten is het gewenst dat inzicht bestaat in de omvang van de onzekerheden.

In hoofdstuk 2 is beschreven op welke wijze de fysica wordt omgezet naar een rekenmodel. Voor veel van de vereenvoudigingen is de omvang van de onzekerheden niet of niet goed te kwantificeren. Het is bijvoorbeeld niet mogelijk om aan te geven wat de omvang is van de onzekerheid in de beschrijving van de fysica door middel van differentiaalvergelijkingen en de fysica zelf.

Van andere vereenvoudigingen is het onder condities wel mogelijk om inzicht te krijgen in de omvang van de onzekerheden. Voor het effect van een vereenvoudiging van de 2-dimensionale beschrijving naar een 1-dimensionale beschrijving geven de verschillen in rekenresultaten voor een 2d- en een 1d-schematisatie inzicht voor het zelfde gebied inzicht.

Over het algemeen heeft het ook niet veel zin om alle onzekerheden afzonderlijk te kennen, omdat de onzekerheden twee kanten uit kunnen vallen, dat wil zeggen dat bijvoorbeeld bij de berekening van waterstanden zowel te hoge als te lage waterstanden berekend kunnen worden. Het is dan voldoende om de onzekerheid van verschillende vereenvoudigingen integraal te schatten. Een goed moment daarvoor is het toetsen van de resultaten van meetgegevens aan de resultaten van een berekening behorend tot de ijking of een daarop aansluitende verificatie.

Vanuit de fysica is door diverse vereenvoudigingen voor de mer Zandmaas een 1-dimensionaal model gemaakt. Dit model is geijkt aan meerdere hoogwaters (circa 9 in het afvoerbereik van 1750 m<sup>3</sup>/s tot 3120 m<sup>3</sup>/s), waarbij er naar gestreefd is het verschil in berekende en (op msw-punten) gemeten waterstanden kleiner te houden dan 0,1 m. Nadat de ijking is voltooid, kan aan een extra berekening (de verificatie) worden getoetst wat de omvang van de onzekerheden in de berekende resultaten is.

Over het algemeen wordt volstaan met een ijking van het model bij een lage afvoer en een hoge afvoer. Om een aantal redenen zijn de laatste jaren relatief veel meetgegevens verzameld, zodat het ijken van het model voor een groot aantal afvoergolven heeft kunnen plaatsvinden. Voor zover bekend zijn er geen gemeten hoogwatergolven separaat gehouden voor het uitvoeren van een verificatie. De omvang van de onzekerheden moet daarom voor de Maas worden geschat aan de hand van de verschillen tussen metingen en berekeningen.

Voor de mer Zandmaas/Maasroute spelen de waterstanden een belangrijke rol. Voor zover een kwantificering mogelijk is worden daarom de onzekerheden uitgedrukt in mogelijke onnauwkeurigheden in berekende waterstanden. Wat betreft de ZWENDL-berekeningen is door RWS-RIZA een memo geschreven, waarbij voor de schatting van de onzekerheden onderscheid wordt gemaakt in;

- bekeidsanalytische studies
- lage afvoeren, hoge afvoeren
- Grensmaas, gestuwde Maas
- Kades en compenserende werken wel, niet aangelegd en
- msw-punten en overige punten.

Voor een gedetailleerde opgave wordt verwezen naar 'Memo ADV\*96-05 (L) van RWS-RIZA.

## Bijlage 4 Memo gevoeligheidsanalyse ecotopen-ontwikkeling

Aan : Anne Wijbenga, Jolanda Onneweer  
Van : Ron Agtersloot,  
Datum : 31 december 2002  
Kopie : Bart Peerbolte, Wouter Bijman, Douwe Meijer  
Onze referentie :  
**Betreft** : Gevoeligheidsanalyse ecotopenkaarten

---

Zoals al is beschreven in Paragraaf 2.4 worden de ruwheden in het WAQUA-model bepaald op basis van ecotopenkaarten. Deze ecotopenkaarten worden door een applicatie gemaakt waarbij gebruik wordt gemaakt van stroombeelden en waterdiepten bij verschillende afvoeren, een initiële verdeling van de ecotopen en een procentuele verdeling van het uiteindelijke natuurbeeld (bijvoorbeeld 50% ruigte, 20% bos, 20% grasland en 10% grindeilanden). De hierboven genoemde percentages zijn totalen per ecotoopgroep. Zo bestaat de groep 'bos' uit hardhout- en zachthout ooibos, terwijl de groep 'ruigte' uit struweel, structuurrijke ruigte en open ruigte. Binnen de groep 'bos', die zelf circa 20% van het gebied zou mogen beslaan, kan dus de verhouding tussen hardhout- en zachthout ooibos nog variëren.

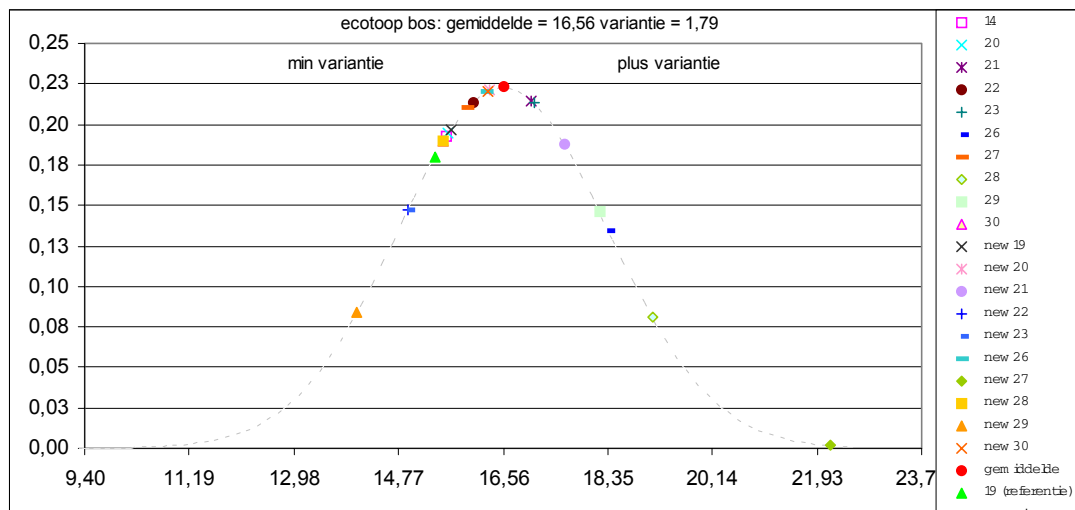
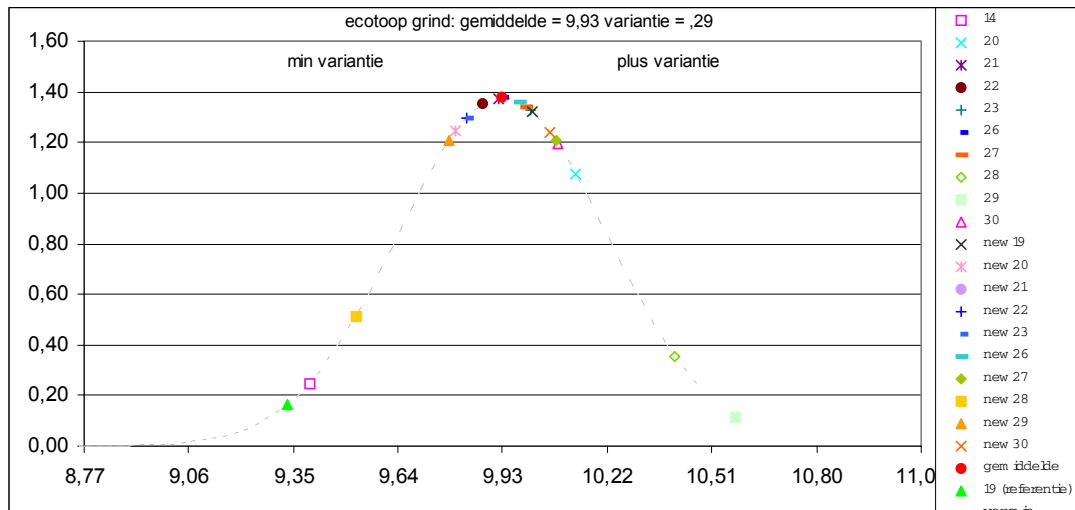
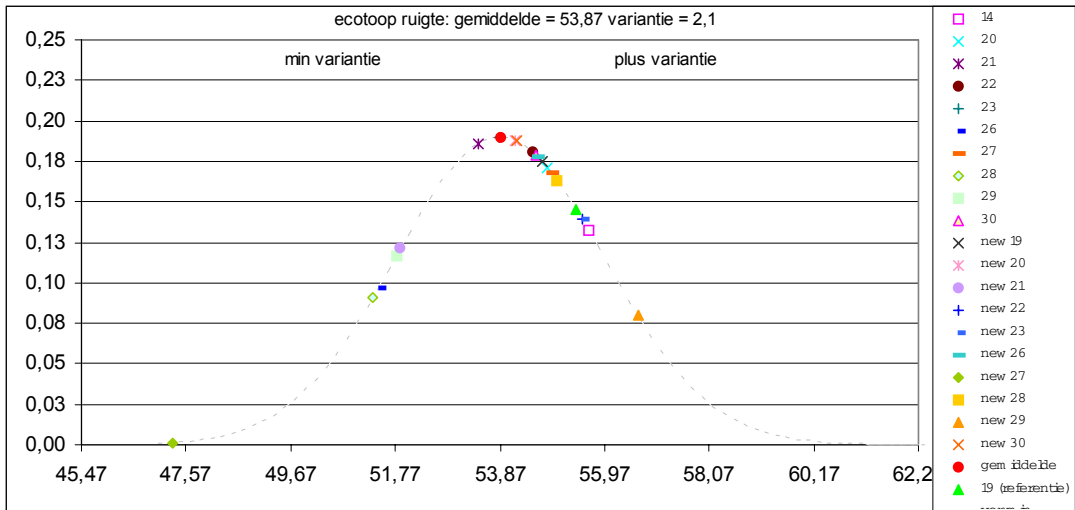
De aldus gemaakte ecotopenkaart is slechts één van de vele mogelijke natuurbeelden. Omdat natuurontwikkeling altijd met een bepaalde mate van onzekerheid omgeven is zit er in de applicatie een random-component. Door (op basis van dezelfde gegevens) de applicatie meerdere keren te draaien kunnen verschillende ecotopenkaarten worden gegenereerd. Wanneer nu met iedere ecotopenkaart een WAQUA-berekening wordt gemaakt kan een indruk worden verkregen van de gevoeligheid van het WAQUA-model voor variaties in natuurontwikkeling.

Voordat echter kan worden begonnen met de analyse van de WAQUA-resultaten zal er een selectie van ecotopenkaarten gemaakt moeten worden. De methode die is gevolgd om de selectie van beschikbare ecotopenkaarten te maken staat beschreven in 'Selectie ecotopenkaarten'. In 'Resultaten gevoeligheidsanalyse' worden de resultaten van de berekeningen beschreven.

### 1. Selectie ecotopenkaarten

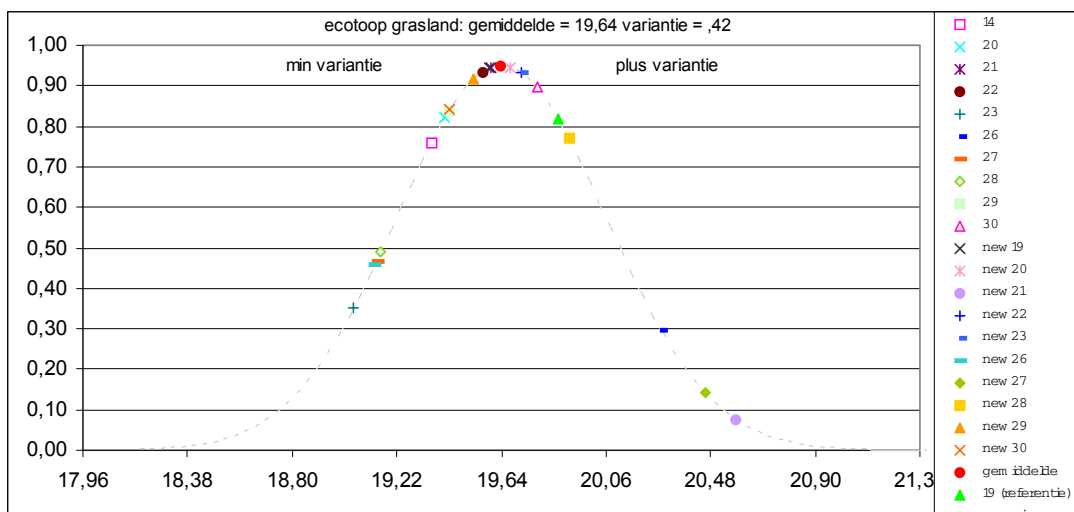
Bij het genereren van een ecotopenkaart zijn er in principe twee vrijheidsgraden. De eerste is de onderlinge verhouding van de ecotopen, de tweede de uiteindelijke ligging van de ecotopen. De eerste vrijheidsgraad wordt in principe door de gebruiker vastgelegd zodat er slechts enkel in de tweede vrijheidsgraad (de ligging van de ecotopen) onderscheid zou mogen zijn tussen verschillende ecotopenkaarten.

Bij controle van de onderlinge verhoudingen van de ecotopen in verschillende ecotopenkaarten bleek echter dat deze verhouding niet constant was maar varieerde tussen de verschillende ecotopenkaarten. Hierdoor zouden verschillen in resultaten op basis van deze ecotopenkaarten niet alleen door de ligging van de ecotopen kunnen worden veroorzaakt, maar ook doordat de onderlinge verhouding afwijkend is. In overleg met De Maaswerken is daarom besloten om de negen te gebruiken ecotopenkaarten niet willekeurig te kiezen uit de gemaakte negentien ecotopenkaarten maar de keus te baseren op een statistische analyse.



De eerste stap in de analyse was het bepalen van de verdelingen van de vier ecotopen uit de verschillende ecotopenkaarten. Het resultaat van deze verdeling staat in de volgende tabel. De berekende waarden wijken (met name voor bos) soms fors af van de ingestelde waarden.

Hoe zijn de verschillende ecotopen nu precies verdeeld? Daartoe zijn voor de vier ecotopen grafieken van de verdelingen gemaakt op basis van de hierboven gevonden gemiddeldes en afwijkingen. Voor de vier ecotopen levert dit de volgende figuren op:



In de vier figuren is de rode stip het gemiddelde, terwijl de groene driehoek de verdeling is van de ecotopenkaart die gebruikt als basis voor het Voorkeursalternatief 2003 ('19 (referentie)'). Duidelijk zichtbaar is dat de ecotopenkaart van het Voorkeursalternatief 2003 afwijkt van het gemiddelde. Van de ecotopen 'ruigte' en 'grasland' bevat de referentie ecotopenkaart teveel, en van de ecotopen 'bos' en 'grind' te weinig.

Hoewel de keus voor de referentie ecotopenkaart (achteraf gezien) misschien niet gunstig is levert het wel een 'uitschieter' in de resultaten op. In overleg met De Maaswerken is besloten om voor de negen andere ecotopenkaarten situaties te kiezen die dichterbij het gemiddelde liggen. Uit bovenstaande figuren volgt dat dit zijn:

20, 21, 22, 30, nw19, nw22, nw23, nw30

Met deze ecotopenkaarten zijn WAQUA-ruwheidsbestanden gemaakt en hiermee zijn vervolgens negen berekeningen uitgevoerd in het model van het Voorkeursalternatief 2003 met een 1/250 hoogwatergolf. De resultaten van deze negen berekeningen worden vergeleken met die van het WAQUA-model dat is gebaseerd op de referentie ecotopenkaart.

ecotoop	instelling	ecotopen verdeling (%)	
		gemiddelde	standaard afwijking
ruigte	49,00	53,87	2,10
bos	20,00	16,56	1,79
grasland	21,00	19,64	0,42
grind	10,00	9,93	0,29



rkm	19	20	21	22	30	nw19	nw20	nw22	nw23	nw30	gemiddelde	std. afw.
15	46,00	45,92	46,05	46,02	45,96	45,92	45,94	45,95	45,95	45,95	45,97	0,044
16	45,32	45,36	45,32	45,36	45,44	45,34	45,38	45,38	45,33	45,36	45,36	0,037
17	44,86	44,86	44,88	44,88	44,88	44,89	44,94	44,90	44,89	44,91	44,89	0,024
18	44,58	44,60	44,60	44,59	44,59	44,61	44,58	44,60	44,59	44,60	44,59	0,011
19	44,50	44,52	44,52	44,50	44,51	44,53	44,50	44,52	44,50	44,52	44,51	0,012
20	43,89	43,87	43,87	43,86	43,81	43,87	43,83	43,82	43,90	43,88	43,86	0,030
21	43,97	43,93	43,95	43,96	43,93	43,93	43,95	43,93	43,95	43,95	43,95	0,013
22	43,97	43,94	43,96	43,96	43,94	43,93	43,96	43,94	43,95	43,95	43,95	0,014
23	43,41	43,36	43,43	43,38	43,40	43,37	43,42	43,38	43,40	43,39	43,39	0,024
24	42,84	42,74	42,82	42,75	42,81	42,76	42,84	42,75	42,79	42,77	42,79	0,040
25	42,36	42,19	42,24	42,19	42,34	42,24	42,27	42,24	42,20	42,28	42,26	0,058
26	42,11	41,99	42,00	42,03	42,07	42,04	42,07	42,00	41,99	42,10	42,04	0,042
27	41,99	41,85	41,88	41,92	41,93	41,90	41,91	41,87	41,87	41,95	41,91	0,045
28	41,73	41,51	41,62	41,56	41,59	41,68	41,66	41,49	41,54	41,59	41,60	0,079
29	40,68	40,50	40,51	40,49	40,43	40,46	40,44	40,47	40,49	40,49	40,50	0,075
30	40,02	40,03	40,00	40,00	39,96	39,97	39,96	39,99	40,02	40,00	39,99	0,024
31	38,34	38,37	38,29	38,30	38,40	38,38	38,32	38,31	38,32	38,30	38,33	0,040
32	38,34	38,40	38,33	38,31	38,43	38,41	38,36	38,34	38,35	38,34	38,36	0,040
33	38,15	38,18	38,11	38,12	38,24	38,24	38,15	38,12	38,15	38,13	38,16	0,049
34	37,93	37,97	37,94	37,96	38,04	38,10	37,99	37,94	37,98	37,93	37,98	0,056
35	37,66	37,66	37,66	37,69	37,70	37,79	37,78	37,67	37,70	37,59	37,69	0,063
36	37,23	37,24	37,33	37,35	37,36	37,43	37,53	37,31	37,30	37,29	37,34	0,093
37	36,81	36,84	36,85	36,91	36,94	37,01	37,08	36,82	36,91	36,88	36,91	0,091
38	36,45	36,41	36,39	36,44	36,39	36,45	36,42	36,48	36,43	36,33	36,42	0,045
39	35,72	35,71	35,65	35,77	35,69	35,74	35,80	35,77	35,77	35,64	35,72	0,056
40	35,17	35,26	35,17	35,31	35,16	35,25	35,23	35,19	35,20	35,26	35,22	0,051
41	34,49	34,63	34,53	34,52	34,54	34,53	34,55	34,49	34,47	34,49	34,53	0,043
42	33,70	33,94	33,77	33,91	33,85	33,86	33,81	33,76	33,60	33,88	33,83	0,079
43	33,16	33,12	33,01	33,01	33,09	33,17	32,99	33,06	32,98	33,11	33,08	0,066
44	32,15	32,07	32,25	32,18	32,20	32,19	32,15	32,20	32,17	32,27	32,18	0,059
45	31,87	31,81	31,95	31,81	31,86	31,82	31,85	31,85	31,81	31,95	31,86	0,056
46	31,87	31,80	31,94	31,81	31,87	31,82	31,83	31,84	31,80	31,94	31,86	0,054
47	31,86	31,79	31,93	31,79	31,86	31,81	31,80	31,83	31,78	31,93	31,84	0,055
48	31,74	31,65	31,80	31,65	31,73	31,68	31,67	31,70	31,64	31,81	31,71	0,060
49	31,43	31,40	31,47	31,33	31,43	31,36	31,39	31,36	31,34	31,45	31,40	0,045
50	31,32	31,30	31,34	31,24	31,30	31,25	31,29	31,25	31,24	31,32	31,29	0,038
51	30,71	30,61	30,70	30,58	30,63	30,60	30,65	30,55	30,55	30,61	30,63	0,053
52	30,47	30,40	30,49	30,38	30,35	30,39	30,40	30,34	30,35	30,43	30,41	0,050
53	29,74	29,87	29,89	29,83	29,79	29,81	29,81	29,80	29,81	29,78	29,81	0,047
54	29,11	29,10	29,15	29,14	29,12	29,08	29,14	29,09	29,11	29,14	29,12	0,023
55	28,42	28,44	28,46	28,45	28,46	28,46	28,45	28,44	28,45	28,47	28,45	0,015

## 2. Resultaten gevoeligheidsanalyse

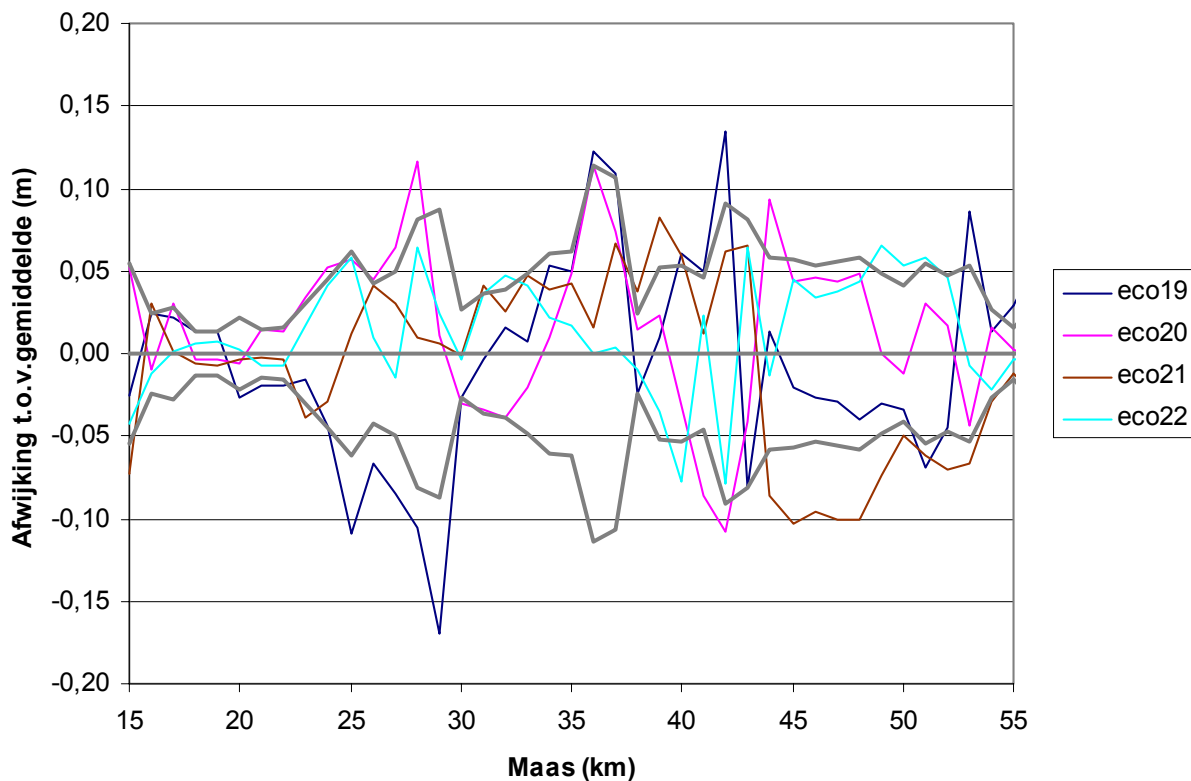
In de tabel hiernaast staat (per rivierkilometer in de Grensmaas) wat in elke berekening de maximale waterstand bij die rivierkilometer is geweest tijdens het passeren van de hoogwatergolf. De twee kolom is de waterstand in het model met de referentie ecotopenkaart. In de één na laatste kolom staat het gemiddelde van de alle tien de berekeningen, de laatste kolom bevat de standaard afwijking per rivierkilometer.

Het is interessant om te zien dat de verschillen waterstanden ten gevolge van de verschillen in ecotopenkaarten zeer groot kunnen. Grafisch wordt dit zichtbaar in het volgende figuur. De donkere nullijn is hier de gemiddelde waterstand per rivierkilometer. De grijze lijnen die daar boven en onder slingeren zijn het gemiddelde plus de standaard afwijking en het gemiddelde min de standaard afwijking. Omdat de standaard afwijking verschilt per rivierkilometer zijn dit geen rechte lijnen.

Wanneer nu gekeken naar het aantal kilometers dat de waterstanden buiten de range van de standaard afwijking vallen kan de volgende tabel worden gemaakt.

	19	20	21	22	30	nw19	nw20	nw22	nw23	nw30
te laag	10	3	13	1	0	9	7	0	0	0
te hoog	7	9	5	4	0	6	3	0	0	0
gemiddelde	-0,0071	0,0157	-0,0070	0,0131	0,0000	-0,0072	-0,0074	0,0000	0,0000	0,0000

Uit deze tabel blijkt dat het moeilijk is te definiëren wanneer een bepaalde ecotopenkaart het gemiddelde goed weergeeft. Wanneer gekeken wordt naar het aantal kilometers waarop de waterstanden dicht bij het gemiddelde zitten lijkt '22' een goede keus en van '19' en '21' af. Wanneer daarentegen het criterium is 'gemiddeld zo dicht bij het gemiddelde zitten' (poehe, wat een zin...) valt '22' af en zijn juist '19' en '21' goede kandidaten.



### 3. Conclusies

De applicatie waarmee ecotopenkaarten worden gemaakt zorgt voor twee verschillende onzekerheden in de ecotopenkaart. De eerste is de verdeling van de ecotopen, de tweede de onderlinge verhouding in percentage oppervlakte van de ecotopen. Om de onzekerheden van het tweede type zo klein mogelijk te houden is in overleg met De Maaswerken een niet willekeurige selectie van negen ecotopenkaarten gemaakt uit negentien beschikbare ecotopenkaarten. Deze selectie bevat ecotopenkaarten waarvan de onderlinge verhouding goed met elkaar in overeenstemming is. De tiende ecotopenkaart is de referentie ecotopenkaarten waarmee de berekeningen voor het Voorkeursalternatief 2003 zijn uitgevoerd.

De negen geselecteerde ecotopenkaarten zijn vervolgens omgezet naar WAQUA-ruwheden en aansluitend zijn negen berekeningen uitgevoerd met het Voorkeursalternatief 2003 voor een 1/250 hoogwatergolf. De resultaten laten een grote invloed zien. Wanneer per rivierkilometer de gemiddelde maximale waterstand wordt berekend blijkt dat lokaal verschillen t.o.v. het gemiddelde van 0,15 m kunnen optreden. Locaties die gevoelig lijken voor veranderingen in ecotopen zijn rkm 24 – 29 (Aan de Maas), rkm 33 – 37 (Meers - Urmond) en rkm 39 – 53 (Nattenhoven – Roosteren). Binnen deze trajecten zijn bijzonder gevoelige gebieden rkm 28 – 29 (de flessenhals bij Aan de Maas), rkm 36 – 37 (de flessenhals bij Urmond) en rkm 42 – 43 (de flessenhals bij Grevenbicht).

## **Bijlage 5 Snelheidsvelden alternatieven**

