

Opdrachtgever: Waterschap Vechtstromen

# **Reductie opstuwing bij Ommen**

## **Onderzoek verruiming doorstroomprofiel**



Auteur: P. Termes  
J. Udo

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1.1	Aanleiding .....	1
1.2	Doel van het onderzoek.....	2
1.3	Aanpak .....	2
<b>2</b>	<b>Analyse huidige situatie.....</b>	<b>3</b>
2.1	Gegevens .....	3
2.2	Beschouwing situatie in traject km 32 – km 34 .....	4
<b>3</b>	<b>Bepalen opstuwing .....</b>	<b>11</b>
3.1	Herijking Sobek-model Vecht .....	11
3.2	Reductie opstuwing door profielverruiming .....	13
3.2.1	Inleiding .....	13
3.2.2	Effect maximale profielverruiming .....	14
3.2.3	Effect minimale profielverruiming .....	16
3.3	Conclusies .....	18
<b>4</b>	<b>Aanleg haven .....</b>	<b>20</b>
4.1	Beschrijving van de maatregel .....	20
4.2	Resultaten HKV 2009 en haven .....	21
<b>5</b>	<b>Samenvatting en aanbevelingen .....</b>	<b>22</b>
5.1	Samenvatting .....	22
5.2	Aanbevelingen .....	24

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Bij Ommen is de uiterwaard van de Overijsselsche Vecht smal als gevolg van de stedelijke bebouwing aan weerszijden van de rivier. Bovenstrooms van de verkeersbrug (Hesselmulertbrug) bij Ommen vernauwt de uiterwaard zich van enkele honderden meters tot circa 100 m nabij de verkeersbrug. Benedenstrooms van de verkeersbrug is de doorstroomruimte tussen de oevers langs het oude stadhuis (noordzijde) en restaurant de Zon (zuidzijde) beperkt tot circa 60 m. Tijdens de hoogwatersituatie van 1998 trad als gevolg van het beperkte doorstroomprofiel een geschat verval van circa 0,3 m op over dit smalle traject. Bovenstrooms van de verkeersbrug bij de Zeesserweg, zie Figuur 1-1 (links) is tijdens het hoogwater van 1998 een hoogste waterstand geregistreerd van NAP+5,65 m (water tot de kruin van de weg), dat is meer dan 3 m hoger dan het winterstreefpeil in het stuwpand.



Figuur 1-1 Overzicht Vecht bij Ommen (links) en versmalling langs de Vecht bij Ommen (rechts)

De gemeente Ommen wil het stadsfront langs de rivier versterken door het verleggen van de N34 rond de stad waardoor de huidige weg een andere functie kan krijgen. De plannen laten nieuwe bebouwing toe langs de noordelijke oever, de aanleg van een kadefront en mogelijk een jachthaven benedenstrooms van het oude stadhuis.

Het beperkte doorstroomprofiel rond Ommen is een hydraulisch knelpunt. Om het hydraulisch knelpunt te reduceren ziet de gemeente mogelijkheden het zomerbed in dit traject te verbreden inclusief het doorstroomprofiel onder de brug. De aanpassingen zouden in combinatie met de plannen voor een versterkt stadsfront kunnen worden uitgevoerd. De uit de plannen voortkomende onderzoeksvragen zijn:

- Hoeveel vermindert de opstuwing rond Ommen bij een verruiming van het dwarsprofiel in het traject voor een hoogwatersituatie zoals die in 1998 is voorgekomen?
- Wat is de maatgevende waterstand langs het traject met de voorgestelde verruiming van het doorstroomprofiel?
- Is de beoogde verruiming van het doorstroomprofiel voldoende, is meer verruiming nodig of kan met minder verruiming worden volstaan?

## 1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is het onderzoeken van de hydraulische opstuwing in de Vecht rond Ommen in de huidige situatie en situatie met verruimd dwarsprofiel, waardoor de onderzoeksvragen kunnen worden beantwoord.

## 1.3 Aanpak

Het onderzoek bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Startoverleg en bezoek aan het traject van de Vecht nabij Ommen. Analyse van de beschikbare gegevens.
2. Analyse van de opstuwing zoals geconstateerd tijdens de hoogwatersituatie in oktober 1998 op de Overijsselsche Vecht. De analyse is door een eenvoudige analytische hydraulische beschouwing ondersteund. Uit de analyse volgt de bijdrage aan de opstuwing van de verschillende trajecten rond de brug om inzicht te verkrijgen in de verdeling van de opstuwing tussen km 32 en km 34. Het bestaande stromingsmodel (Sobek) van de Vecht is voor deze afvoersituatie in het traject langs Ommen herijkt.
3. Analyse van de opstuwing in de toekomstige situatie, verdeeld over het traject, voor twee profielverruiming. Onderzocht is de reductie van de opstuwing bij de grootst mogelijke verruiming (boven- en benedenstreams van de brug en onder de brug) en bij een minimale profielverruiming waarbij het profiel onder de brug gehandhaafd blijft. De analyse is uitgevoerd met het herijkte Sobek-model van de Vecht.
4. Rapportage van het onderzoek en advies. Tijdens een eindoverleg zijn de resultaten van het onderzoek gepresenteerd en besproken.

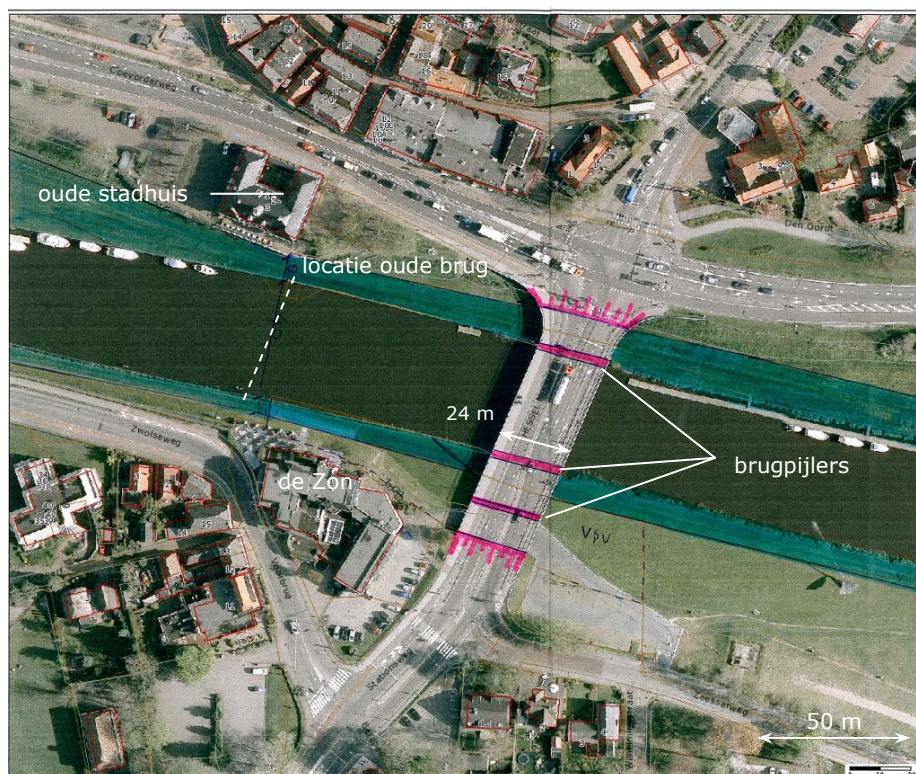
## 2 Analyse huidige situatie

De situatie rond de Hesselmulertbrug bij Ommen en de versmalling tussen het oude stadhuis en restaurant de Zon is in dit hoofdstuk onderzocht evenals andere versmallingen in het traject tussen km 32 en km 34. Met behulp van google earth beelden, het Algemene Hoogtebestand Nederland (AHN) en de gemeten doorstroomprofielen (opname uit 2008, elke 200 m) uit het Sobek-model van de Vecht zijn de knelpunten geïdentificeerd.

### 2.1 Gegevens

In 1248 kreeg Ommen stadsrechten van Bisschop Otto en in 1492 kreeg Hessel Mulert toestemming om een brug te bouwen over de Vecht. Bij de brug werd het bruggehuis gebouwd, dat later in gebruik werd genomen als stadhuis van Ommen. Nu huisvest dit pand, na een aantal renovaties, onder meer het nationaal tinnen figuren museum.

Tot 1936 was er een ophaalbrug die in het verlengde van de Brugstraat lag, tussen het bruggehuis en het restaurant De Zon. De ophaalbrug is vervangen tijdens de zomerbedverbreding van de Vecht, uitgevoerd tussen 1932 en 1957. In 1966 is deze brug gesloopt en is een nieuwe verkeersbrug circa 80 m bovenstrooms aangelegd.

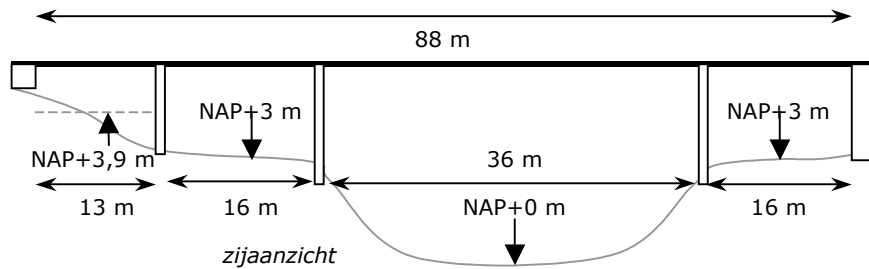


Figuur 2-1 Locatie van de historische brug en huidige brug over de Vecht bij Ommen

De huidige verkeersbrug heeft een totale overspanning van 88 m. Het wegdek steunt op drie pijlers en twee landhoofden. De pijlers zijn 1,5 m breed en 24 m lang gemeten in stromingsrichting. De afstanden tussen de pijlers en landhoofden zijn aangegeven in Figuur 2-2. De onderzijde van de brug ligt op een niveau van NAP+5,9 m. Bij het ontwerp is rekening gehouden met enkele decimeters speling tussen brugdek en waterspiegel voor een waterstand



ter plaatse van de brug van NAP+5,5 m. Deze waterstand komt ongeveer overeen met een afvoersituatie met een terugkeertijd van 100 jaar.



Figuur 2-2 Afstanden tussen de pijlers en landhoofden van de brug, stroomafwaarts gezien

Nabij de locatie van de oude brug is een digitale niveaumeter (DNM) geplaatst en een akoestische debietmeter (ADM), zodat vanaf 14 oktober 2001 tot heden een reeks van 10 minutengemiddelde waarden van waterstanden en afvoeren beschikbaar is.

Hoeveel opstuwing de brug en het smalle doorstroomprofiel tussen de brug en de locaties oude raadhuis – restaurant de Zon, kan veroorzaken is nooit gemeten. Wel zijn er in de situatie van voor 1966, dus voordat de nieuwe verkeersbrug is gebouwd, stroombaanberekeningen uitgevoerd waaruit bleek dat het verval per 100 m in dit traject kon oplopen tot 0,05 m bij een afvoerniveau van circa 420 m<sup>3</sup>/s bij Ommen.

Tijdens het hoogwater van oktober 1998 is geconstateerd dat de waterstand langs de zuidelijke Vechtoever nabij de Zeesserweg, circa 200 m bovenstrooms van de brug (km 32,3) tot de kruin van de weg was gestegen, zie Figuur 1-1. Later is ingemeten dat de kruin op NAP+5,65 m ligt. Het verval van de waterstand over het traject van bovenstrooms van de brug tot benedenstrooms van het stadhuis is geschat op circa 0,3 m.

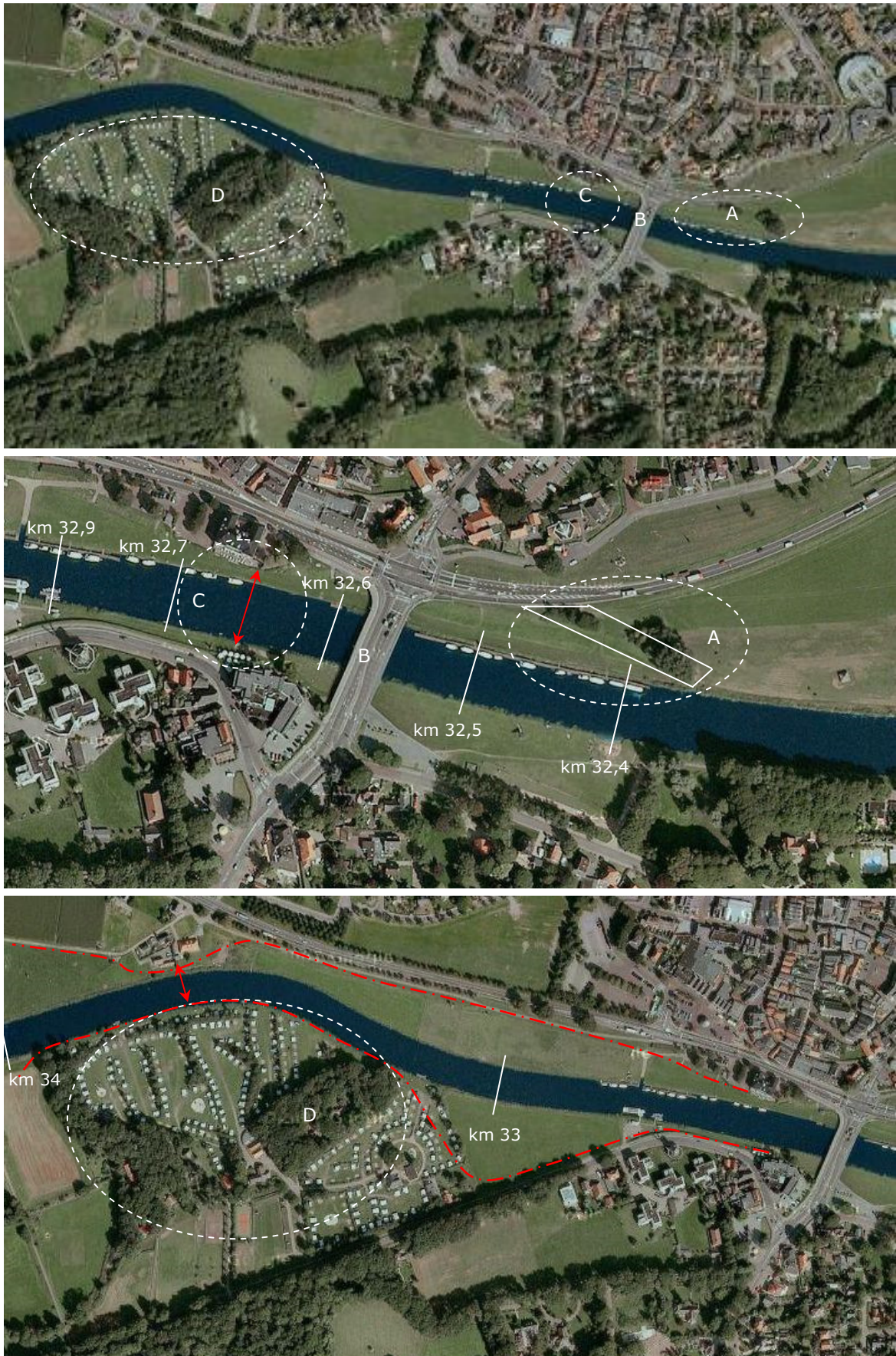
## 2.2 Beschouwing situatie in traject km 32 – km 34

Na een veldbezoek en analyse van topografische kaarten, google earth beelden en dwarsprofielen uit het Sobek-model van de Vecht is de situatie in het traject tussen km 32 en km 34 als volgt te beschrijven. Er zijn vier locaties die een beperkt doorstroomprofiel hebben. Deze locaties zijn aangegeven in Figuur 2-3:

- Een hooggelegen bomenrij op de rechteroever rond km 32,3.
- De Hesselmulertbrug rond km 32,6.
- De vernauwing tussen het oude stadhuis en restaurant de Zon tussen km 32,6 en km 32,7.
- De hooggelegen camping Koeksebelt op de linkeroever tussen km 33 en km 34.

### A. Bomenrij in uiterwaard

Op deze locaties staat een bomenrij op een verhoogde oever. De verhoging loopt vanaf de weg naar de Vechtgeul en ligt relatief hoog ten opzichte van de omringende uiterwaard, zie Figuur 2-4. Het niveau van de verhoging ligt hoger dan NAP+5,5 m waardoor de verhoging tijdens hoogwater meestromen van de uiterwaard belemmert. Boven- en benedenstrooms van de bomenrij ligt het niveau van de uiterwaard op circa NAP+3,5 m. Ter plaatse van de bomenrij ligt het dwarsprofiel dus beperkt ten opzichte van de omringende locaties. Deze locatie vormt de bovenstroomse rand van het hydraulische knelpunt bij Ommen.



Figuur 2-3 Hoge punten en versmallingen in traject langs Ommen





Figuur 2-4 Verhoogd liggende bomenrij bovenstrooms van de brug bij km 32,3

## B. Brug

De opstuwing rond een brug is met een analytische beschouwing bepaald. In Bijlage A is de methode beschreven. Opstuwing rond een brug bestaat uit de volgende componenten:

- obstructie rond de pijlers,
- intreeverliezen,
- wrijvingsverliezen,
- uittreeverliezen.

Gezamenlijk zorgen deze verliezen voor een verval over de brug, of te wel de waterstand bovenstrooms van de brug wordt opgestuwd. De benodigde gegevens voor de analyse zijn opgenomen in Tabel 2-1, zie ook Figuur 2-2.

waterstand t.p.v. brug (hoogwater 1998)	NAP+5,55 m
breedte tussen pijlers (van l. naar r.)	13 / 16 / 36 / 16 m
gem. bodemligging tussen pijlers (van l. naar r.)	3,9 / 3 / 0 / 3 m+NAP
doorstroomoppervlak onder brug	270 m <sup>2</sup>
natte omtrek onder brug	100 m
hydraulische straal onder brug	2,7 m
vormfactor brugpijlers (afgerond, 24 m lang)	1,1
contractiecoëfficiënt stroming tussen pijlers	0,7
ruwheid pijleroppervlak (Nikuradse ruwheid)	0,05 m
doorstroomoppervlak net benedenstrooms brug	300 m <sup>2</sup>

Tabel 2-1 Gegevens Hesselmulertbrug



Voor de vormfactor van de pijlers is de factor 1,1 gekozen. De pijlers zijn gestroomlijnd, maar opgebouwd uit gemetselde stenen. In bijlage A is aangegeven dat gestroomlijnde pijlers een vormfactor 1 hebben en meer hoekige pijlers een vormfactor 1,3. Overigens is de gevoeligheid van de opstuwing voor een vormfactor tussen 1 en 1,3 gering.

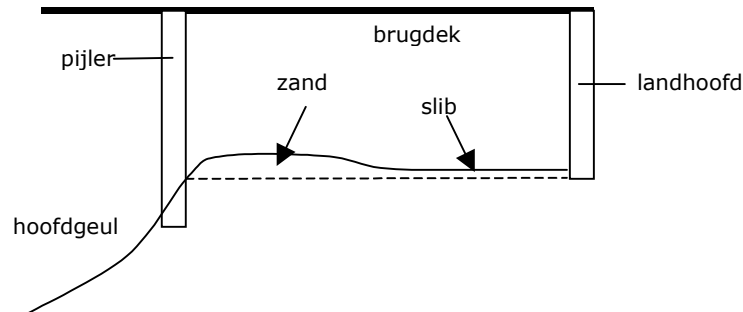
Voor de contractiecoëfficiënt is 0,7 gekozen. Rechthoekige pijlers veroorzaken een sterke contractie waarvoor een coëfficiënt van 0,6 wordt gegeven, zie bijlage A, terwijl bij recht aangestroomde pijlers een coëfficiënt van 0,8 kan worden gehanteerd. De pijlers van de Hesselmulertbrug zijn gestroomlijnd maar de pijlers langs de hoofdgeul staan op de overgang van geul naar uiterwaard. Op die locatie is er stromingsuitwisseling tussen geul en uiterwaard die scheve aanstroming tot gevolg heeft. Verder zal door de sterk afnemende breedte van de uiterwaard op de linkeroever net bovenstrooms van de brug en obstakels (lage hekjes) de pijlers scheef worden aangestroomd. Dit alles leidt tot een schatting voor de contractiecoëfficiënt van 0,7.



*Figuur 2-5 Teruglopende uiterwaardbreedte en obstakels voor de brug, bovenstroomse zijde brug*

Een ander proces dat tijdens hoogwater optreedt, is de afzetting van zand en slib onder de brug. Op de uiterwaard onder de brug aan de rechter zijde (oever Ommen) ligt langs de pijler een laag zand over een breedte van circa 5 m, zie Figuur 2-6. Dichter bij het landhoofd ligt een dunne laag slib. Dit wijst erop dat de stroming vanuit de hoofdgeul op de uiterwaard onder de brug vertraagt en daardoor sediment achterlaat. Het zand dat vanuit de Vechtgeul wordt meegevoerd, bezinkt direct onder de brug op de uiterwaard, hetgeen wijst op stroomvertraging. Het afzetten van slib kan twee oorzaken hebben. De eerste is dat tijdens hoogwater een neer onder de brug voorkomt waarin slib wordt afgezet. De tweede oorzaak is dat na een hoogwater het enige tijd duurt voordat de waterstand is gedaald tot onder het uiterwaardniveau. In die tijd

(enkele dagen) kan het slib uitzakken. Hoogst waarschijnlijk wordt de aanslibbing door uitzakken na een hoogwater veroorzaakt. De schuine aanstroming naar de uiterwaard en de stroomvertraging hebben beide invloed op de vormfactor en de contractiecoëfficiënt waardoor de ideale waarde van de coëfficiënten (1,0 respectievelijk 0,8) niet worden bereikt en dus lagere waarden worden gehanteerd in de berekeningen.



Figuur 2-6 Aanzanding en aanslibbing onder de brug

De methode om de opstuwing rond de brug te bepalen evenals de onderliggende formules, zijn opgenomen in bijlage A. In Tabel 2-2 is het resultaat van de berekening samengevat. Voor de hoogwatersituatie van oktober 1998 is het verval over de brug 0,06 m. Deze waarde is in het Sobek-model van de Vecht gebruikt voor de brug bij de stromingssituatie tijdens het hoogwater van 1998.

vormfactor $\beta$	1,1
vernuwing $A_{pijlers}/A_0$	0,085
opstuwingsverliescoëfficiënt $\xi_o$	0,078
contractiecoëfficiënt $\mu$	0,7
contractiecoëfficiënt $\xi_i$	0,184
ruwheid pijlers $k_N$	0,05 m
Chézy-coëfficiënt brugpijlers	50,6 m <sup>1/2</sup> /s
wrijvingscoëfficiënt $\xi_w$	0,068
profielfactor $A_{brug}/A_{benedenstrooms}$	0,9
uittreeverliescoëfficiënt $\xi_u$	0,193
totale verliescoëfficiënt ( $\xi_{tot} = \xi_o + \xi_i + \xi_w + \xi_u$ )	0,522
gemiddelde stroomsnelheid $v_{brug}$	1,56 m/s
<b>verval over de brug (<math>\xi_{tot} \cdot v_{brug}^2 / 2g</math>)</b>	<b>0,06 m</b>

Tabel 2-2 Bepaling opstuwing rond Hesselmulertbrug tijdens de hoogwatersituatie van oktober 1998

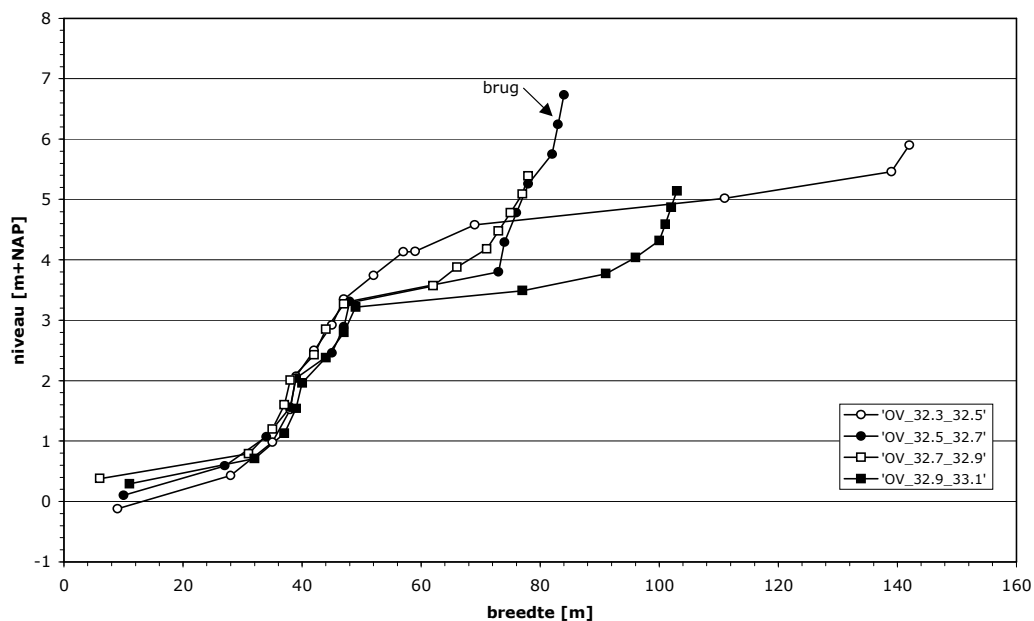
### C. Vernauwing in uiterwaard

De vernauwing van de uiterwaard tussen het oude stadhuis en restaurant de Zon benedenstrooms van de brug is in het Sobek-model over twee dwarsprofielen verdeeld. Beide profielen zijn schematisaties van het zomerbed en de uiterwaard voor een strook van 200 m breed dwars op de rivieras van oever tot oever. De totale breedte op uiterwaardniveau is op deze locatie beperkt tot circa 60 m, waarvan circa 40 m tot de hoofdgeul behoort, zie Figuur 2-7. De dwarsprofielen tussen km 32,4 en km 33 zijn opgenomen in Figuur 2-8. Uit de profielen is op te maken dat bovenstrooms van de brug de uiterwaard op een niveau tussen NAP+4 m en NAP+5 m ligt, zie profiel km 32,3-32,5. In dat profiel is de verhoogde bomerrij opgenomen zoals hierboven besproken. Ter plaatse van de brug is de breedte van het profiel beperkt, profiel km 32,5-32,7, het uiterwaardniveau ligt op circa NAP+3,5 m. Benedenstrooms van de brug is

de breedte ook beperkt, profiel km 32,7-32,9 en zelfs nog wat smaller dan ter plaatse van de brug. In dit profiel is de vernauwing tussen het oude raadhuis en de Zon opgenomen. Verder benedenstrooms neemt de stroomvoerende breedte snel toe en ligt het uiterwaardniveau wat lager dan NAP+3,5 m.



Figuur 2-7 Uiterwaard langs 'De Zon' (links) en langs het oude raadhuis (rechts)



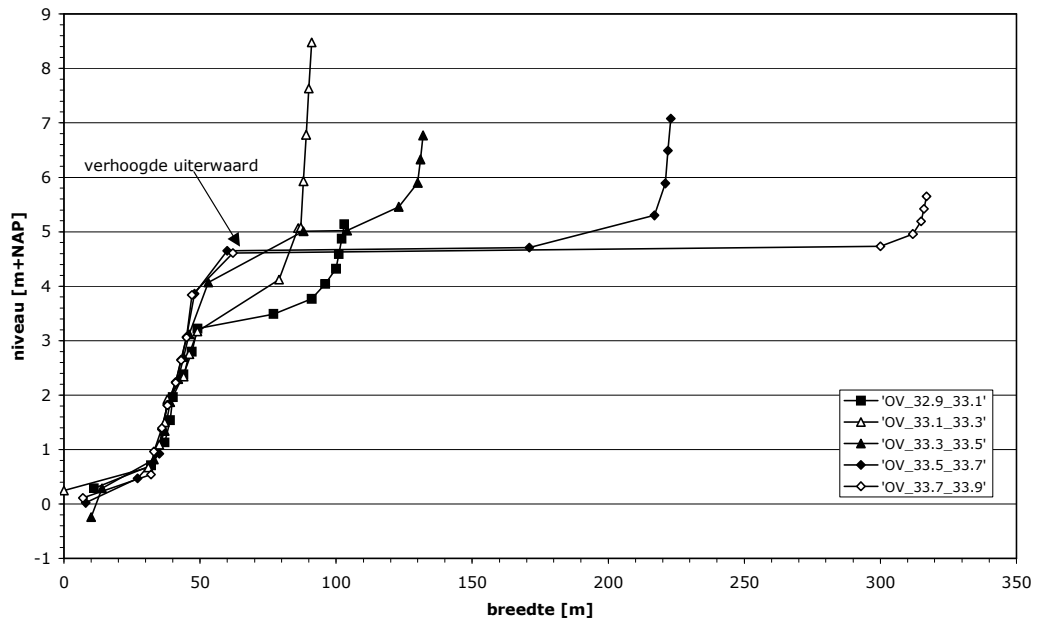
Figuur 2-8 Sobek-dwarsprofielen rond de brug

#### D. Verhoging in uiterwaard

De laatste vernauwing in het traject ligt langs de linkeroever van de Vecht, camping Koeksebelt. Het campingterrein tussen km 33,4 en km 33,8 ligt op een niveau van circa NAP+4,5 en hoger. Rond km 33,6 is bebouwing op de rechteroever tegenover de camping. In Figuur 2-9 zijn de Sobek-dwarsprofielen weergegeven. Duidelijk is dat rond km 33, bovenstrooms van de camping het dwarsprofiel niet breed is, maar een lager uiterwaardniveau heeft dan verder benedenstrooms, zie profiel km 33,1-33,3. Vervolgens neemt de breedte van de profielen weliswaar toe, maar het uiterwaardniveau ligt hoger dan NAP+4,5 m, zie profiel km 33,3-33,5, profiel km 33,5-33,7 en profiel km 33,7-33,9. Pas vanaf een waterstand rond de NAP+5 m



begint de uiterwaard in dit traject enigszins mee te stromen. Deze locatie vormt de benedenstroomse rand van het hydraulische knelpunt bij Ommen.



Figuur 2-9 Sobek-dwarsprofielen rond camping Koeksebelt

### Conclusie

Geconcludeerd wordt dat in een traject van meer dan 1 km lengte bij Ommen, tussen ongeveer km 32,3 en km 33,4, vier hydraulische knelpunten zijn aan te wijzen die voor opstuwing tijdens hoogwater zorgen, zie Figuur 2-3:

- A. Een hooggelegen bomenrij op de rechteroever rond km 32,3.
- B. De Hesselmulertbrug rond km 32,6.
- C. De vernauwing tussen het oude raadhuis en de Zon tussen km 32,6 en km 32,7.
- D. De hooggelegen camping Koeksebelt op de linkeroever tussen km 33 en km 34.

Uit observaties tijdens het hoogwater van oktober 1998 is geschat dat het verval over het traject circa 0,3 m was. Geschat is dat de Hesselmulertbrug 0,06 m van de opstuwing voor rekening neemt, zodat circa 0,24 m wordt veroorzaakt door de andere profielvernauwingen in het traject.

## 3 Bepalen opstuwing

De opstuwing in het traject bij Ommen tussen km 32 en km 34 wordt veroorzaakt door de Hesselmulertbrug en de profielvernauwingen in het traject. In dit hoofdstuk is eerst het bestaande Sobek-model van de Vecht herijkt voor de hoogwatersituatie van oktober 1998 met de beschikbare informatie. Vervolgens is met verruimde dwarsprofielen de reductie van de opstuwing berekend voor de hoogwatersituatie van 1998 en voor de maatgevende hoogwatersituatie met een terugkeertijd van 200 jaar die sinds 2006 van kracht is voor de regionale keringen langs de Vecht tussen de grens en de monding van de Regge.

### 3.1 Herijking Sobek-model Vecht

Het Sobek-model van de Vecht is in 2001 afgeregeld op voorgekomen hoog- en laagwatersituaties tussen 1986 en 1999. In het traject rond Ommen waren geen waterstanden bekend. Om de gemeten waterstanden rond de stuw bij Vilsteren en bij Junne met het model te reproduceren, is bij Ommen een brug in het model geschematiseerd. Voor de hoogwatersituatie van oktober 1998 berekende het model een verval in de waterstand van 0,24 m over de brug. Met de informatie die nu voorhanden is, blijkt dat het verval bij Ommen over een langer traject is uitgesmeerd, zoals in paragraaf 2.2 beschreven.

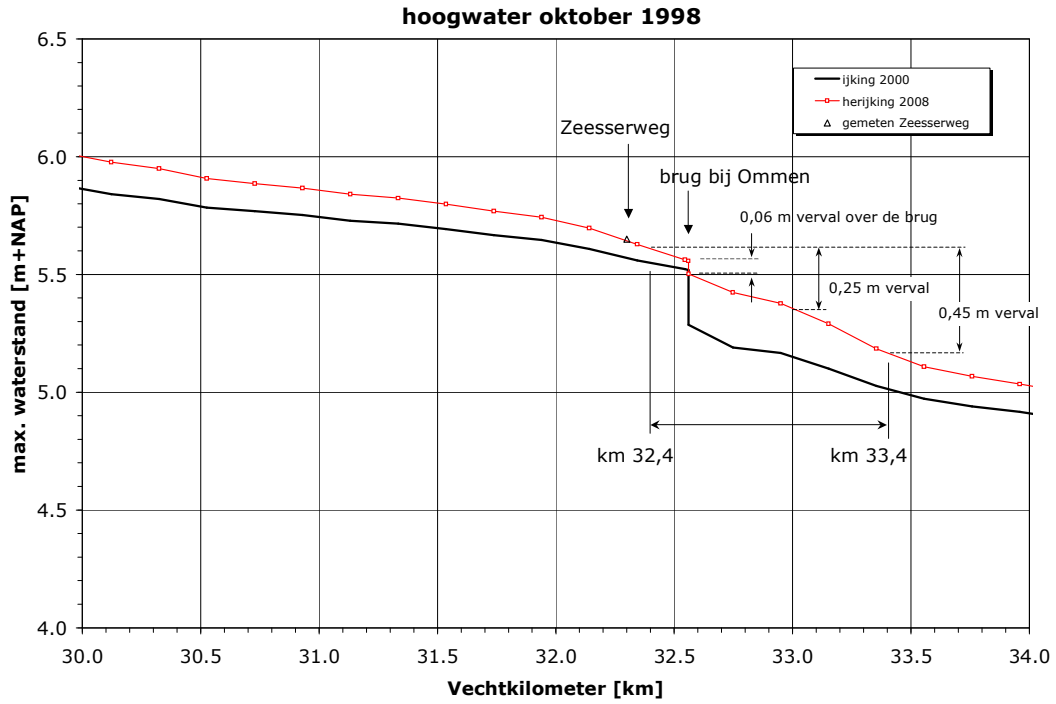
Het model van de Vecht uit 2001 is in het traject tussen km 32 en km 34 herijkt voor de hoogwatersituatie van 1998, ervan uitgaande dat:

- het verval over de brug 0,06 m was (beschouwing paragraaf 2.2),
- het totale verval tussen km 32,4 en km 33 circa 0,3 m was (beschouwing paragraaf 2.2) en
- de maximum waterstand ter plaatse van km 33,3 (Zeesserweg) geregistreerd in 1998 NAP+5,65 m was.

De herijking van het model is gedaan om op bovenstaand verval en registratie uit te komen, door het aanpassen van de weerstand van de brug en door aanpassen van de bodemruwheid in het zomerbed in het traject tussen km 32,4 en km 33,4. In Figuur 3-1 is de maximum waterstand langs het traject bij Ommen weergegeven volgens de ijking uit 2001 en na herijking van het model in 2008.

Bezien over het traject tussen km 32,4 en km 33,4 is het verval 0,45 m, als volgt verdeeld. Het verval over de brug is 0,06 m, over het traject km 32,4 tot km 33 is het verval 0,25 m en over het traject km 33 tot km 33,4 nog eens 0,2 m, zie Figuur 3-1. Uit dit resultaat volgt dat het geobserveerde verval van circa 0,3 m in dit traject past bij de berekeningsresultaten. Hiermee is het Sobek-model van de Vecht voor dit traject afdoende herijkt en kan het model worden gebruikt om het effect van profielverruiming op de maximum waterstanden te bepalen.

Opgemerkt wordt dat deze herijking ook tot een verbetering van de modelresultaten leidt voor de meetpunten bij Junne (bovenstrooms) en Vilsteren (benedenstrooms).



Figuur 3-1 Maximum waterstand model 2001 en herijkt model 2008, detail



## 3.2 Reductie opstuwing door profielverruiming

### 3.2.1 Inleiding

De opstuwing kan worden gereduceerd door het verruimen van het doorstroomprofiel rond de brug, zoals voorgesteld door de gemeente Ommen. Het voorstel is om het dwarsprofiel circa 10% te verruimen door een deel van de uiterwaard 3 m te verlagen tot het bodemniveau van de Vechtgeul. Er zijn twee varianten gedefinieerd, zie ook Figuur 3-2,

- Maximum profielverruiming: profielverruiming tussen km 32,3 en km 33,3 met 10 m tot 20 m, inclusief 10 m verruiming onder de brug. Over het traject is de profielverruiming gemiddeld circa 20%. Verwijderen van een verhoging tussen km 32,4 en 32,3 is onderdeel van de verruiming.
- Minimum profielverruiming: profielverruiming tussen km 32,3 en km 33,3 met 10 m exclusief een verruiming onder de brug. Over het traject is de profielverruiming gemiddeld circa 10%. Verwijderen van een verhoging tussen km 32,4 en 32,3 is onderdeel van de verruiming.

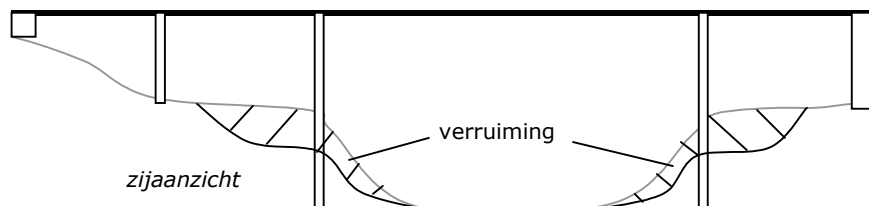


Figuur 3-2 Traject met maximum (boven) en minimum (onder) profielverruiming bij Ommen

De huidige situatie en beide varianten zijn met drie afvoersituaties doorgerekend, namelijk de hoogwatersituatie 1998 (HW98), afvoergolven met herhalingsstijd van 200 jaar (T200) en afvoergolven met klimaatverandering met herhalingsstijd van 200 jaar (T200-klimaat). De afvoergolven met een terugkeertijd van 200 jaar op de belangrijkste zijtakken van de Vecht zijn afgeleid uit de afvoergolven met een terugkeertijd van 100 en van 500 jaar, die zijn vastgesteld in HKV (2002). In bijlage B zijn alle opgelegde afvoergolven en waterstanden op de modelranden opgenomen.

### 3.2.2 Effect maximale profielverruiming

Met de maximale profielverruiming neemt het doorstroomoppervlak in de Vechtgeul met circa 20% toe. Onder de brug is het profiel met 10% verruimd zoals aangegeven in Figuur 3-3. De brugpijlers moeten worden aangepast en beschermd bij een verruimd dwarsprofiel.



Figuur 3-3 Principe verruiming profiel onder de Hesselmulertbrug

Voor de onderzochte hoogwatersituaties (hoogwater oktober 1998, T200 en T200-klimaat) treedt bij maximale profielverruiming een maximum waterstandsverlaging op van circa 0,15 m bovenstrooms van de brug. De waterstandsverlaging neemt langzaam af tot aan de stuw bij Junne. Het verval over de Hesselmulertbrug is in dit geval gereduceerd tot 0,03 m.

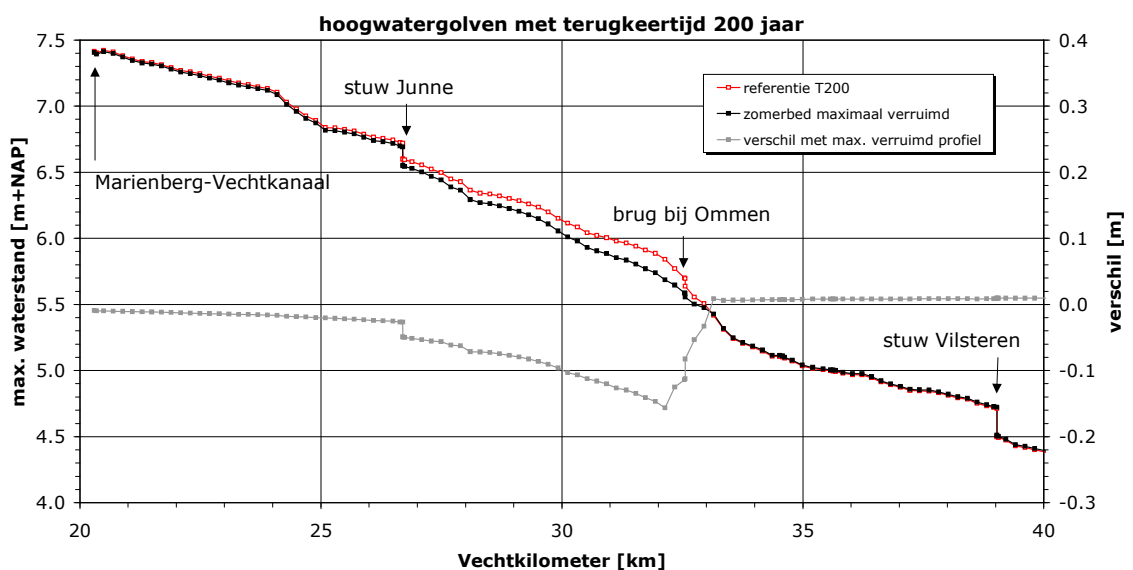
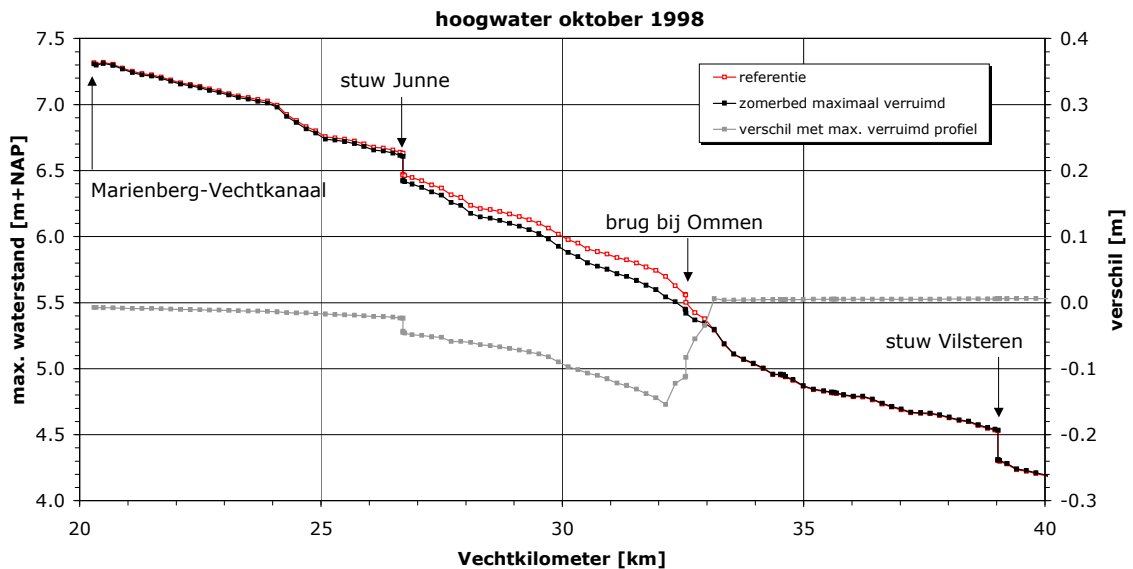
Het effect van de profielverruiming is alleen merkbaar bovenstrooms van km 33,3 waar de profielverruiming eindigt stroomafwaarts gezien. In bovenstroomse richting neemt de maximum waterstand ongeveer lineair af tot aan het begin van de profielverruiming bij km 32,3. Bovenstrooms van de verruiming vanaf km 32,3 neemt de waterstandsverlaging langzaam af tot circa 0,05 m benedenstrooms van de stuw bij Junne. Bovenstrooms van de stuw, mits deze gestreken is, werkt de waterstandsverlaging door tot aan de instroom van het Mariënborg-Vechtkanaal. In Tabel 3-1 is de waterstandsverlaging met verruimd dwarsprofiel weergegeven ten opzichte van de situatie zonder verruiming (referentie) op enkele locaties en voor de drie verschillende afvoersituaties.

Voor de hoogwatersituatie T200-klimaat wordt opgemerkt dat de waterstand bovenstrooms van de brug (NAP+6 m) hoger is dan de onderzijde van het brugdek, dus hoger dan NAP+5,9 m. Daardoor wordt het brugdek aangestroomd en zal de hydraulische weerstand van de brug nog hoger zijn. In de berekening is hiermee geen rekening gehouden. Zie ook hoofdstuk 5 onder aanbevelingen.

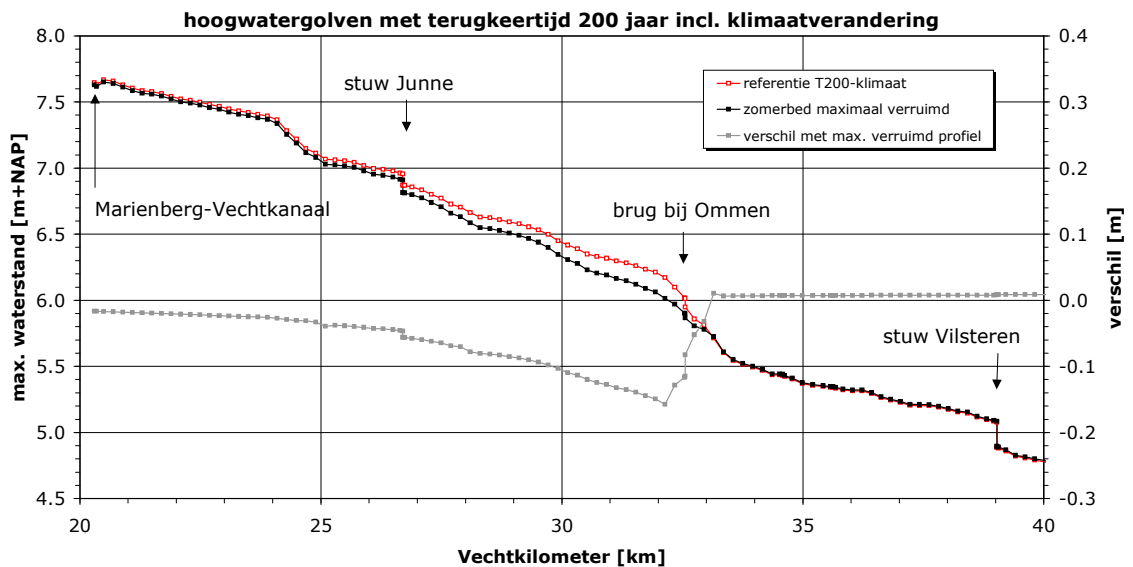
afvoersituatie	Ommen raadhuis - de Zon km 32,7	Ommen bovenstrooms brug km 32,1	stuw Junne benedenstrooms km 26,7	mond Mariëberg- Vechtkanaal km 20,5
	waterstand [m+NAP]	waterstand [m+NAP]	waterstand [m+NAP]	waterstand [m+NAP]
HW oktober 1998	5,37	5,54	6,42	7,30
T200 (maatgevend)	5,50	5,69	6,55	7,40
T200-klimaat	5,81	6,01	6,82	7,65
	verschil t.o.v. ref.	verschil t.o.v. ref.	verschil t.o.v. ref.	verschil t.o.v. ref.
HW oktober 1998	-0,06 m	-0,15 m	-0,05 m	-0,01 m
T200 (maatgevend)	-0,05 m	-0,16 m	-0,05 m	-0,01 m
T200-klimaat	-0,05 m	-0,16 m	-0,06 m	-0,02 m

Tabel 3-1 Waterstand en waterstandsaling voor maximum profielverruiming t.o.v. referentie

De verruiming van het dwarsprofiel in het traject heeft geen waarneembare invloed op de looptijd van de hoogwatergolven in het verruimde traject en benedenstrooms van Ommen.



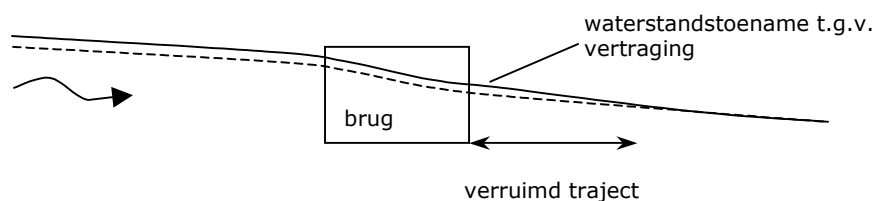




Figuur 3-4 Verandering maximum waterstand met maximaal verruimd profiel

### 3.2.3 Effect minimale profielverruiming

Met de minimale profielverruiming neemt het doorstroomoppervlak in de Vechtgeul met circa 10% toe. Onder de brug is het profiel niet verruimd. Voor de onderzochte hoogwatersituaties (hoogwater oktober 1998, T200 en T200-klimaat) treedt bij minimale profielverruiming een maximum waterstandsverlaging op van circa 0,07 m bovenstrooms van de brug. De waterstandsverlaging neemt langzaam af tot aan de stuw bij Junne. Het verval over de Hesselmulertbrug is in dit geval 0,07 m, iets groter dan in de referentiesituatie (0,06 m) zonder verruiming. Het grotere verval over de brug is een gevolg van het verschil in doorstroomprofiel ter plaatse van de brug en benedenstrooms ervan. Een deel van de snelheidshoogte wordt door de snelheidsvertraging benedenstrooms van de brug omgezet in een waterstandsverhoging. Daardoor wordt de waterstand bovenstrooms van de brug 'opgetild'. In formulevorm betekent een (veel) ruimer dwarsprofiel dat het uittreeverlies groter wordt, zie bijlage A.



Figuur 3-5 Principe waterstandstoename benedenstrooms brug bij verruimd profiel

Het effect van de profielverruiming is alleen merkbaar bovenstrooms van km 33,3 waar de profielverruiming stroomafwaarts gezien eindigt. In bovenstroomse richting neemt de maximum waterstand ongeveer lineair af tot aan het begin van de profielverruiming bij km 32,3. Bovenstrooms van de verruiming vanaf km 32,3 neemt de waterstandsverlaging langzaam af tot circa 0,03 m benedenstrooms van de stuw bij Junne. Bovenstrooms van de stuw, mits deze gestreken is, werkt de waterstandsverlaging door tot aan de instroom van het Marienberg-Vechtkanaal.

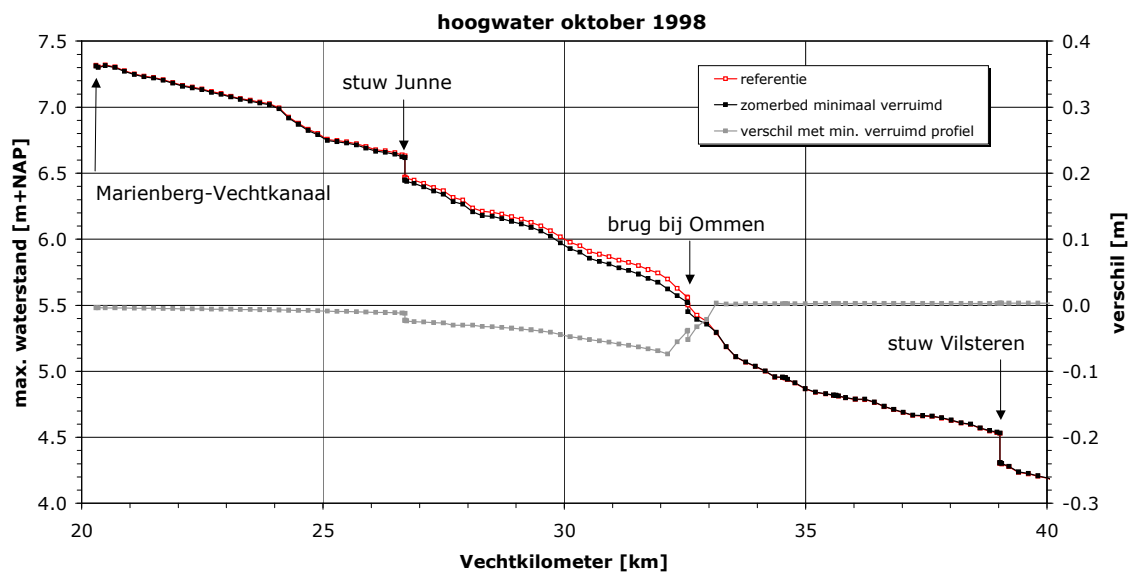
In Tabel 3-2 is de waterstandsverlaging met verruimd dwarsprofiel weergegeven ten opzichte van de situatie zonder verruiming (referentie) op enkele locaties en voor de drie verschillende afvoersituaties. Voor de hoogwatersituatie T200-klimaat wordt opgemerkt dat de waterstand

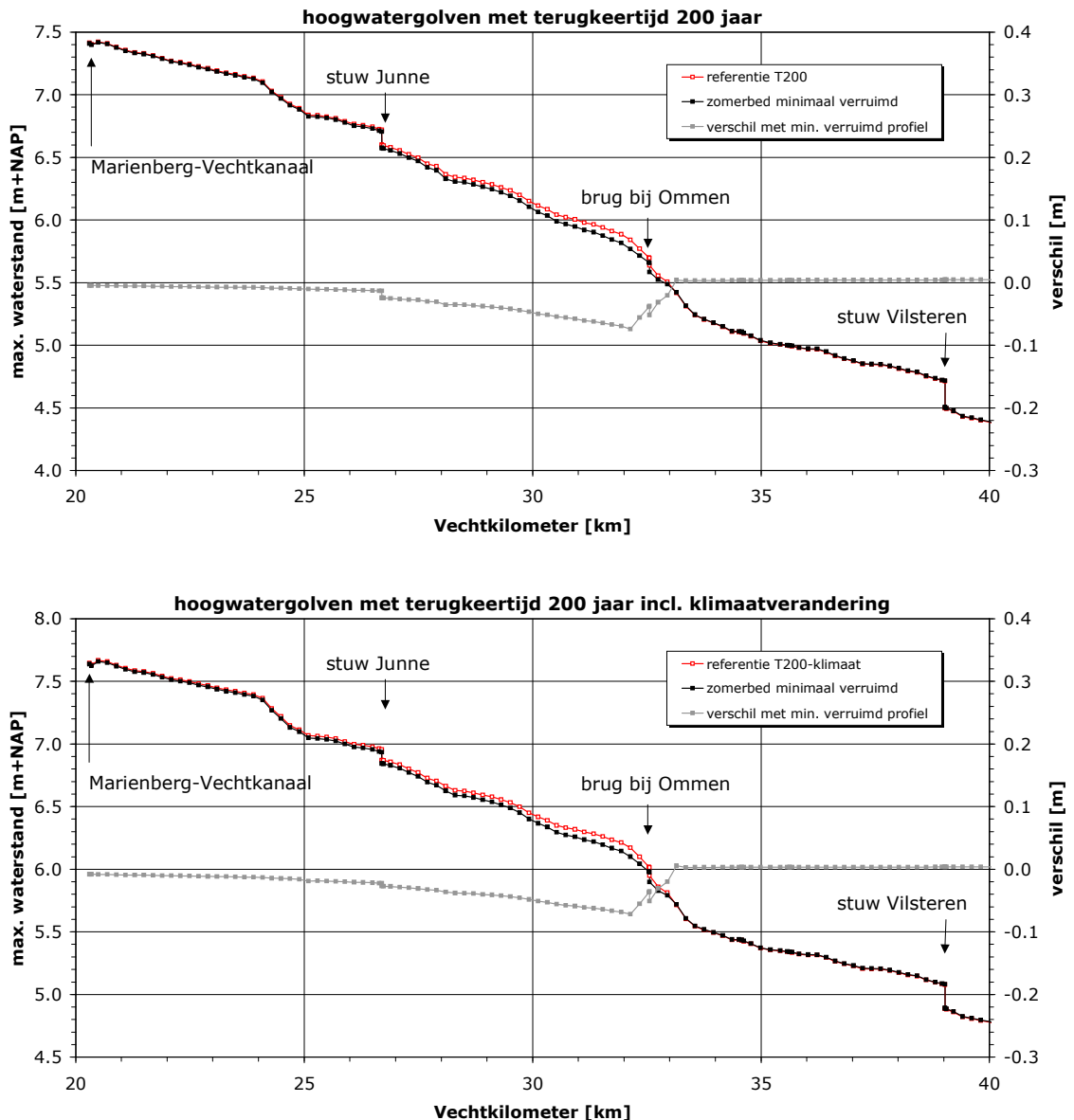
bovenstrooms van de brug (NAP+6 m) hoger is dan de onderzijde van het brugdek, dus hoger dan NAP+5,9 m. Daardoor wordt het brugdek aangestroomd en zal de hydraulische weerstand van de brug nog hoger zijn. In de berekening is hiermee verder geen rekening gehouden. Zie ook hoofdstuk 5 onder aanbevelingen.

afvoersituatie	Ommen raadhuis - de Zon km 32,7	Ommen bovenstrooms brug km 32,1	stuw Junne benedenstrooms km 26,7	mond Mariënberg- Vechtkanaal km 20,5
	waterstand [m+NAP]	waterstand [m+NAP]	waterstand [m+NAP]	waterstand [m+NAP]
HW oktober 1998	5,39	5,62	6,44	7,31
T200 (maatgevend)	5,52	5,77	6,57	7,41
T200-klimaat	5,83	6,10	6,84	7,65
	verschil t.o.v. ref.	verschil t.o.v. ref.	verschil t.o.v. ref.	verschil t.o.v. ref.
HW oktober 1998	-0,03 m	-0,07 m	-0,02 m	-0,00 m
T200 (maatgevend)	-0,03 m	-0,07 m	-0,03 m	-0,00 m
T200-klimaat	-0,03 m	-0,07 m	-0,03 m	-0,01 m

Tabel 3-2 Waterstand en waterstandsdeling voor minimum profielverruiming t.o.v. referentie

De verruiming heeft geen waarneembare invloed op de looptijd van de hoogwatergolven in het verruimde traject en benedenstrooms van Ommen.





Figuur 3-6 Verandering maximum waterstand met minimaal verruimd profiel

### 3.3 Conclusies

In hoofdstuk 2 zijn vier hydraulische knelpunten geïdentificeerd tussen km 32,3 en km 33,4 rond de Hesselmulertbrug. In hoofdstuk 3 is vervolgens beschreven wat het effect van deze knelpunten is en in hoeverre rivierruiming aan de noordelijke oever en onder de brug de knelpunten oplost:

- Verruimen van het dwarsprofiel in een traject dat loopt van bovenstrooms van de Hesselmulertbrug tot aan de Koeksebelt, van km 32,3 tot km 33,3, heeft een waterstandsval tot gevolg die lineair toeneemt van km 33,3 tot een maximum verlaging bij km 32,3. Bovenstrooms van de brug neemt de waterstandsverlaging langzaam af tot bij de stuw bij Junne.
- Het maximaal verruimen van het dwarsprofiel met circa 20% tussen km 32,3 en km 33,3 (10% profielverruiming onder de brug) levert een maximale waterstandsverlaging op van circa 0,15 m tijdens een hoogwatersituatie met een terugkeertijd van 200 jaar en ook voor

- de hoogwatersituatie van oktober 1998 en de hoogwatersituatie met effect van klimaatverandering.
- Het minimaal verruimen van het dwarsprofiel met circa 10% tussen km 32,3 en km 33,3 (geen profielverruiming onder de brug) levert een maximale waterstandsverlaging op van circa 0,07 m tijdens een hoogwatersituatie met een terugkeertijd van 200 jaar en ook voor de hoogwatersituatie van oktober 1998 en de hoogwatersituatie met effect van klimaatverandering.
  - Het niet verruimen van het dwarsprofiel onder de brug heeft tot gevolg dat het verval over de brug tijdens hoogwater 1 cm groter is dan voor hetzelfde hoogwater in de huidige situatie zonder verruiming. Dit is een gevolg van een groter uittreeverlies van de brug.
  - Het verruimen van het dwarsprofiel over het traject tussen km 32,3 en km 33,3 heeft geen waarneembare gevolgen voor de looptijd van een hoogwatergolf benedenstrooms van het traject.

**Opmerking:**

Morfologische ontwikkelingen in en rond het traject van de Vecht bij Ommen zijn niet onderzocht. Op basis van de beperkte informatie over het sedimenttransport in de Vecht wordt opgemerkt dat bij profielverruiming enige aanzanding kan worden verwacht. Als het loskorrelig materiaal betreft, zal dat tijdens perioden met hoge afvoeren weer worden getransporteerd. Als de oevers van de Vecht op termijn worden ontsteend, zal er veel meer sedimenttransport in de Vecht optreden. De bodemligging in de hoofdgeul zal daardoor langs de gehele Vecht veranderen, ook in het traject nabij Ommen. De morfologische ontwikkelingen langs de Vecht moeten voor die situatie apart worden onderzocht.

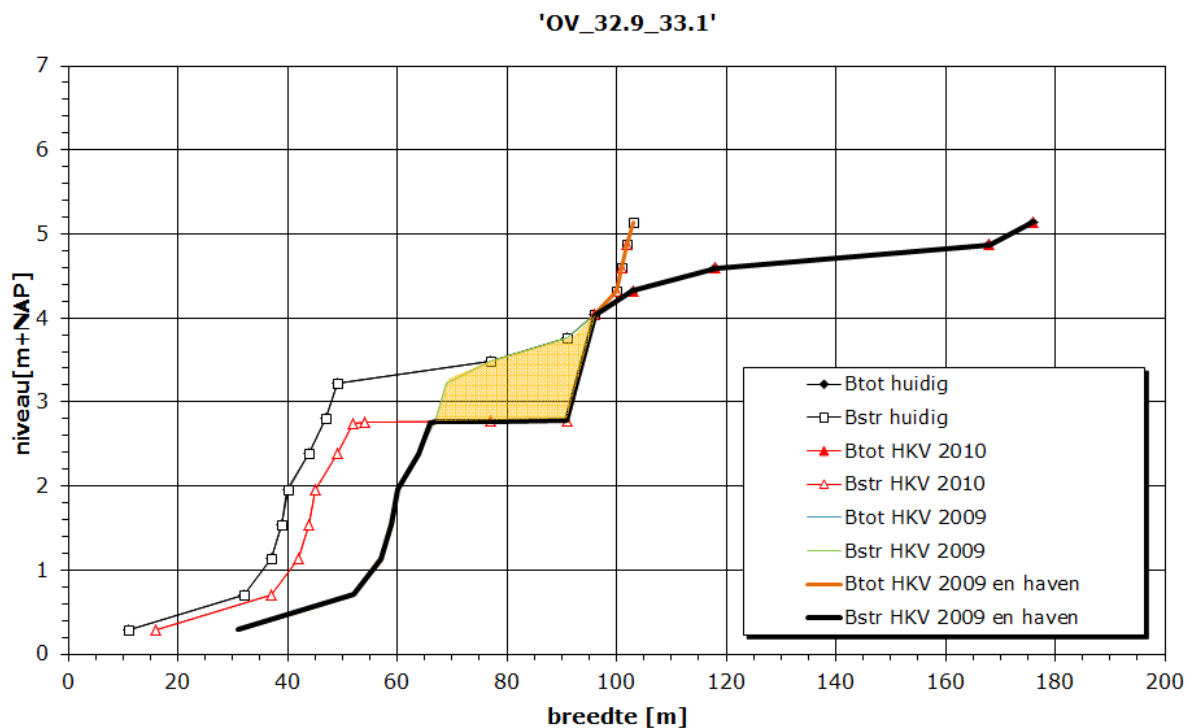


## 4 Aanleg haven

### 4.1 Beschrijving van de maatregel

In HKV 2010 wordt de maatregel van de aanleg van de haven beschreven: *Tussen km 32,8 en km 33,1 loopt het verbrede zomerbed geleidelijk terug naar de huidige 40 m breedte. Tussen km 32,9 en km 33,1 wordt op de noordelijke (rechter) uiterwaard een 25 meter brede en circa 200 m lange zijtak aangelegd die aan de benedenstroomse zijde in open verbinding staat met de hoofdgeul van de Vecht. Deze tak zal dienen als jachthaven. Aan de stroomopwaartse zijde van deze tak wordt het maaiveld afgegraven tot een niveau van NAP+2,75 m over een breedte van 30 m, dit dient als overlaat om tijdens hoogwater een deel van de afvoer via deze tak over de uiterwaard te leiden. De lengte van de overlaat in stroomrichting is 40 m. Aanvullend zal de zuidelijke (linker) uiterwaard tussen km 32,8 en km 32,9 over een gemiddelde breedte van 20 m worden afgegraven tot een niveau van NAP+3 m. Tussen km 32,9 en km 33,1 wordt de noordelijke (rechter) uiterwaard over een gemiddelde breedte van 15 meter afgegraven terwijl de zuidelijke uiterwaard over een gemiddelde breedte van 25 meter wordt afgegraven tot een niveau van NAP+2,95 m. De afgegraven delen van de uiterwaard zijn over 20% van de breedte begroeid met ruigte.*

Deze maatregel is geschematiseerd in profiel OV\_32,9\_33,1 en getoond in Figuur 4-1 als HKV 2010. Het effect van de haven gecombineerd met de maatregelen uit HKV 2009 is berekend door deze maatregelen te combineren tot het profiel HKV 2009 en haven zoals getoond in Figuur 4-1. Het gearceerde deel is het extra oppervlak door aanleg van de haven.



Figuur 4-1 Profielverruiming ter hoogte van km 33 voor verschillende varianten.

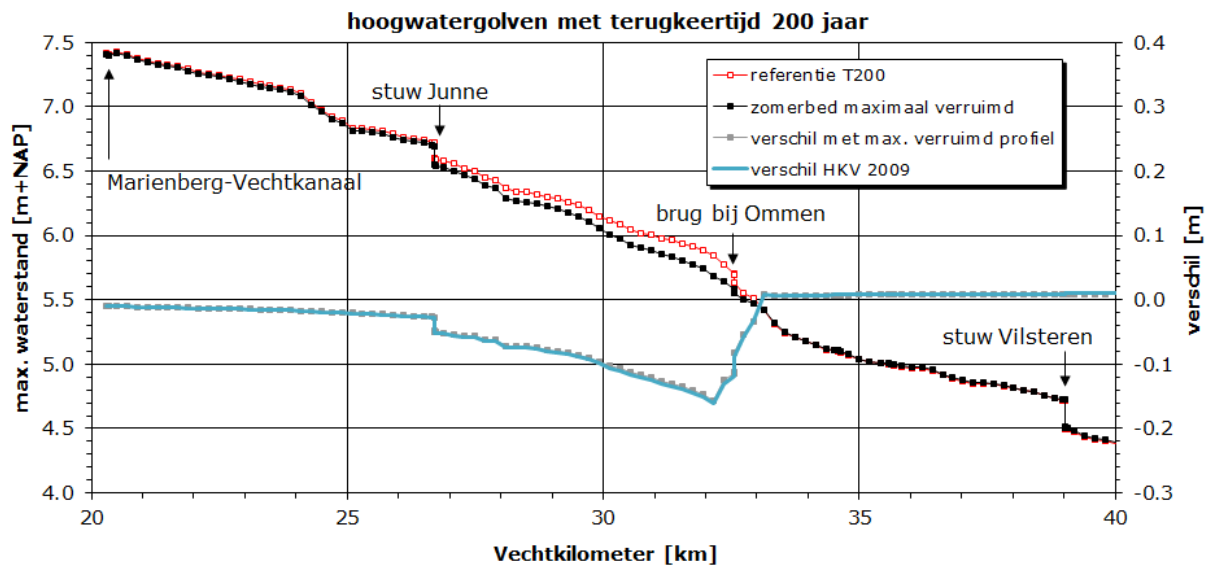
Figuur 4-2 toont schematisch de locatie van de jachthaven en de andere maatregelen.



Figuur 4-2 Schematische weergave maatregelen HKV 2009 en aanleg jachthaven.

## 4.2 Resultaten HKV 2009 en haven

De jachthaven levert een extra verruiming van ongeveer  $15 \text{ m}^2$  op over een traject van 200 m. De verruiming is geschematiseerd zoals weergegeven in Figuur 4-1 en doorgerekend met het Sobek model van de Vecht voor een T200 situatie met maximale verruiming volgens HKV 2009. Het extra verlagende effect is minder dan 1 cm, zoals getoond in onderstaand figuur (verschil HKV 2009).



Figuur 4-3 Effect maximale waterstand bij T200 en aanleg van de jachthaven.

## 5 Samenvatting en aanbevelingen

### 5.1 Samenvatting

Bij Ommen is de uiterwaard langs de Overijsselsche Vecht smal als gevolg van de stedelijke bebouwing. Bovenstrooms van de verkeersbrug (Hesselmulertbrug) bij Ommen vernauwt de uiterwaard zich van enkele honderden meters tot circa 100 m nabij de verkeersbrug. Benedenstrooms van de verkeersbrug is de doorstroomruimte tussen de oever langs het oude stadhuis (noordzijde) en restaurant de Zon (zuidzijde) beperkt tot circa 60 m. Het beperkte doorstroomprofiel rond Ommen is een hydraulisch knelpunt tijdens hoogwatersituaties. Om het hydraulisch knelpunt te reduceren ziet de gemeente mogelijkheden het zomerbed in dit traject te verbreden inclusief het doorstroomprofiel onder de brug. De gemeente Ommen wil het effect van het hydraulisch knelpunt reduceren in combinatie met een plan voor het herinrichten van de noordelijke Vechoever. In dat plan wordt het stadfront langs de rivier versterkt door het verleggen van de N34 rond de stad waardoor de vrijgekomen ruimte een andere functie kan krijgen.

De situatie rond de Hesselmulertbrug bij Ommen en de versmalling tussen het oude stadhuis en restaurant de Zon is onderzocht evenals andere versmallingen in het traject tussen km 32 en km 34. De opstuwing in het traject van de Vecht langs Ommen wordt met name veroorzaakt door, zie Figuur 2-3:

- A. Een hooggelegen bomenrij op de rechteroever rond km 32,3.
- B. De Hesselmulertbrug rond km 32,6.
- C. De vernauwing tussen het oude raadhuis en de Zon tussen km 32,6 en km 32,7.
- D. De hooggelegen camping Koeksebelt op de linkeroever tussen km 33 en km 34.

Tijdens het hoogwater van oktober 1998 is geschat dat het verval over het traject circa 0,3 m was. Geschat is dat de Hesselmulertbrug 0,06 m van de opstuwing voor rekening neemt, zodat circa 0,24 m wordt veroorzaakt door de profielvernauwingen in het traject.

Het Sobek-model van de Overijsselsche Vecht uit 2001 is voor het traject tussen de stuwen bij Vilsteren en Junne herijkt met deze informatie en een geobserveerde maximum waterstand tijdens het hoogwater van 1998 bij de Zeesserweg bovenstrooms van de brug.

Met het herijkte Sobek-model zijn twee toestanden doorgerekend met:

- Een verruiming van 20% van het zomerbedprofiel tussen km 32,3 en km 33,3 en tevens een verruiming van 10% van het doorstroomprofiel onder de brug. Verwijderen van een verhoging tussen km 32,4 en 32,3 is onderdeel van de verruiming.
- Een verruiming van 10% van het zomerbedprofiel tussen km 32,3 en km 33,3 en geen verruiming van het doorstroomprofiel onder de brug. Verwijderen van een verhoging tussen km 32,4 en 32,3 is onderdeel van de verruiming.

De berekeningen zijn uitgevoerd met afvoergolven op de modelranden behorend bij de hoogwatersituatie van oktober 1998, een hoogwatersituatie met een terugkeertijd van 200 jaar en een hoogwatersituatie met een terugkeertijd van 200 jaar inclusief het effect van klimaatverandering.

Het resultaat van de profielverruiming, in vergelijking met de huidige situatie, is:

- Het maximaal verruimen van het dwarsprofiel met circa 20% tussen km 32,3 en km 33,3 (10% profielverruiming onder de brug) levert een maximale waterstandsverlaging op van circa 0,15 m voor de drie onderzochte hoogwatersituaties.
- Het minimaal verruimen van het dwarsprofiel met circa 10% tussen km 32,3 en km 33,3 (geen profielverruiming onder de brug) levert een maximale waterstandsverlaging op van circa 0,07 m voor de drie onderzochte hoogwatersituaties.

### Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen (cursief) met het antwoord zijn:

*Hoeveel vermindert de opstuwing rond Ommen met de voorgestelde verruiming van het dwarsprofiel in het traject voor een hoogwatersituatie zoals die in 1998 is voorgekomen?*

Met een verruiming van circa 20% van het dwarsprofiel in het zomerbed tussen km 32,3 en km 33,3 is voor de hoogwatersituatie van oktober 1998 een maximale waterstandsverlaging van 0,15 m te bereiken. Met een verruiming van circa 10% van het dwarsprofiel in het zomerbed tussen km 32,3 en km 33,3 is voor de hoogwatersituatie van oktober 1998 een maximale waterstandsverlaging van 0,07 m te bereiken. Deze maximale verlaging treedt net bovenstrooms van de brug op. Benedenstrooms van het verruimde traject is de waterstandsverlaging nihil en bovenstrooms van het traject is de waterstandsverlaging bij de stuw Junne (km 26,7) grotendeels uitgewerkt.

*Wat is de maatgevende waterstand langs het traject voor de voorgestelde verruiming van het doorstroomprofiel?*

De maatgevende waterstand, bij een terugkeertijd van 200 jaar, voor de situatie met 20% profielverruiming is weergegeven in Figuur 3-4 en voor enkele locaties in Tabel 3-1. Met 20% profielverruiming kan de maatgevende waterstand maximaal 0,15 m lager uitvallen net bovenstrooms van de brug. Over het bovenstroomse traject tussen km 32,3 en km 26,7 neemt de maatgevende waterstand af van 0,15 m tot 0,05 m.

De maatgevende waterstand, bij een terugkeertijd van 200 jaar, voor de situatie met 10% profielverruiming is weergegeven in Figuur 3-6 en voor enkele locaties in Tabel 3-2. Met 10% profielverruiming kan de maatgevende waterstand maximaal 0,07 m lager uitvallen net bovenstrooms van de brug. Over het bovenstroomse traject tussen km 32,3 en km 26,7 neemt de maatgevende waterstand af van 0,07 m tot 0,03 m.

*Is de beoogde verruiming van het doorstroomprofiel voldoende, is meer verruiming nodig of kan met minder verruiming worden volstaan?*

De mate van verruiming van het dwarsprofiel hangt af van het gestelde doel betreffende de waterstandsvaling. Een profielverruiming met 20%, inclusief een verruimd doorstroomprofiel onder de brug, levert een ongeveer tweemaal grotere waterstandsverlaging op dan een profielverruiming met 10%, exclusief een verruimd doorstroomprofiel onder de brug.

*Wat is het effect van aanleg van de jachthaven zoals beschreven in HKV 2010 in het maatregelenpakket volgens HKV 2009?*

Aanleg van de jachthaven levert een kleine profielverruiming op en voor de T200 situatie een extra verlaging van 1 cm wat leidt tot een verlaging van de maatgeven waterstand bij maximale verruiming van 0,16 m.



## 5.2 Aanbevelingen

- Voor een optimale verlaging van de waterstand in het traject bij Ommen wordt aanbevolen het doorstroomprofiel onder de brug ook te verruimen. Dit geldt voor een 10% of 20% verruimd dwarsprofiel over het traject km 32,3 tot 33,3.
- Aanbevolen wordt te laten onderzoeken wat het verruimen van het zomerbedprofiel en afwerken van de oevers met verticale damwanden voor gevolgen heeft voor de stabiliteit van de achtergelegen oevers en bebouwing. Met name in het geval dat na een hoogwaterperiode de waterstand snel zakt en hoge waterspanningen in de grond kunnen optreden.
- Het T200 met klimaatscenario levert voor de referentie en beide maatregelvarianten een waterstand bovenstrooms van de brug op die hoger is dan de onderzijde van het brugdek. Wanneer de rivierwaterstand de brug raakt kunnen zeer onwenselijke situaties ontstaan. Bovendien levert dit extra opstuwing in bovenstroomse richting op.  
In deze studie is uitgegaan van het effect bij hoogwater 1998 en het effect op de maatgevende waterstand (gevolg van T200), waarbij het brugdek niet geraakt wordt. In de studie is niet expliciet uitgegaan van compensatie bij Ommen voor klimaatscenario's en hier is dan ook verder geen rekening mee gehouden.  
Wanneer bijvoorbeeld binnen de Vecht Visie voor klimaateffecten gecompenseerd dient te worden valt voor het ontzien van de brug te denken aan:
  - o Verdere verruiming van het profiel benedenstrooms van de brug,
  - o Bergende maatregelen bovenstrooms van de brug.Wanneer compensatie niet volledig in verruimende effecten gevonden wordt kan gedacht worden aan het verhogen van het brugdek gecombineerd met een lokale dijkverhoging.

## Referenties

- HKV (2000) Sobek-River model Overijsselsche Vecht. HKV-rapport PR315. April 2000.
- HKV (2002) Maatgevende afvoer en afvoerstatistiek Overijsselsche Vecht bij Dalfsen RVW2006. Deelrapport 8. HKV-rapport-PR204.30. December 2002.
- HKV (2004) Onderzoek speelruimte maatregelen. Stroomgebieden langs de Overijsselsche Vecht. HKV-rapport PR825. November 2004.
- HKV (2005) Reductie opstuwing bij De Haandrik. Onderzoek aanpassing spoorbrug. HKV-rapport PR968. Juni 2005.
- HKV. Ruimte voor de Overijsselse Vecht. Ontwikkeling hydraulisch model en blokkendoos ten behoeve van verkenning rivierverruiming. HKV rapport PR1542. Juni 2009.
- HKV. Verkenning hydraulische berekeningen basisontwerp rivierverruiming bij Ommen. HKV notitie PR1562.12, November 2010.
- HKV. Rivierverruimingsplan Ommen, Onderzoek maatgevende waterstanden. HKV rapport PR1562.20, April 2013.
- Nortier I.W. en P. de Koning. Toegepaste vloeistofmechanica. Hydraulica voor waterbouwkundigen. 7<sup>de</sup> druk. Stam Techniek 1991.

## **Bijlagen**

## Bijlage A: Methode berekenen opstuwing bij brug

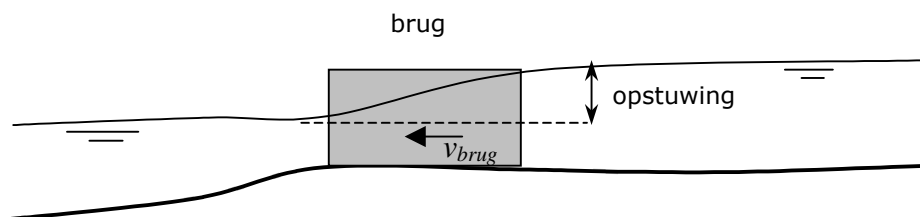
### Algemeen

De gebruikelijke methode voor waterbouwkundige constructies is gebruikt waarbij het energieverlies van de stroming ten gevolge van de constructie wordt berekend. Het energieverlies kan worden uitgedrukt in een verval over de constructie, of wel de opstuwing die een constructie in bovenstroomse richting veroorzaakt. De gebruikte formules zijn gebaseerd op de beschouwing van een stroombuis volgens Bernoulli aangevuld met coëfficiënten uit de literatuur (Nortier en de Koning, 1991).

De stromingsverliezen die leiden tot de opstuwing bovenstrooms van de spoorbrug zijn onder te verdelen in vier soorten verliezen:

- opstuwing rond de pijlers,
- intreeverliezen,
- wrijvingsverliezen,
- uittreeverliezen.

Gezamenlijk zorgen deze verliezen voor een verval over de brug of te wel een opstuwing, de waterstand bovenstrooms van de brug wordt opgestuwd.



Figuur A-1 Principe schets opstuwing rond een brug

De stromingsverliezen in rivieren, kanalen en constructies zijn evenredig met het kwadraat van de stroomsnelheid. Stromingsverliezen in constructies worden uitgedrukt in 'het verlies' van snelheidshoogte  $v^2/2g$ , met  $v$  als een karakteristieke diepte-gemiddelde stroomsnelheid (in dit geval de gemiddelde snelheid onder de brug) en  $g$  als de zwaartekrachtsversnelling ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). De wijze van uitdrukken van de stromingsverliezen is: een factor  $\xi$  maal de snelheidshoogte, of te wel  $\xi \cdot v^2/2g$ . Deze factor is per soort verlies hieronder gekwantificeerd.

### Opstuwing rond de pijlers

Formeel is de opstuwing rond de brugpijlers geen verlies, maar de obstructie die door de pijlers wordt veroorzaakt, zorgt voor een vergroting van het verval over de brugconstructie. Aangezien de intree-, wrijvings- en uittreeverliezen ook in het verval over de constructie worden uitgedrukt, wordt de opstuwing in dit onderzoek ook als een bijdrage aan het verlies gerekend.

De opstuwing rond pijlers in een waterloop wordt veroorzaakt door de vernauwing van het doorstroomprofiel. Door de vernauwing zal het water bovenstrooms van de pijlers opstuw en daarmee het verval over de pijlers toenemen. Deze opstuwing is evenredig met de snelheidshoogte  $v^2/2g$  en hangt verder af van de mate van vernauwing en de vorm van de pijlers. De formule voor de opstuwing  $\Delta s$  bovenstrooms van één of meerdere pijlers luidt:

$$\Delta s = \beta \cdot \frac{A_{\text{pijlers}}}{A_0} \cdot \frac{v_0^2}{2g}, \quad (\text{A-1})$$

waarin  $\beta$  is de vormfactor van de pijlers,  $v_0$  de gemiddelde stroomsnelheid in de ongestoorde situatie zonder brugpijlers,  $A_0$  het ongestoorde doorstroomprofiel zonder pijlers en  $A_{pijlers}$  het aanstroomoppervlak van de pijlers. De vormfactor voor de brugpijlers hangt af van de vorm van de pijler. Enkele waarden zijn,

- $\beta = 1,0$  (gestroomlijnde pijler),
- $\beta = 1,3$  (hoekige pijler),
- $\beta = 2,1$  (rechthoekige pijler).

De gemiddelde ongestoorde stroomsnelheid kan worden uitgedrukt in de gemiddelde stroomsnelheid  $v_{brug}$  onder de brug met pijlers via de relatie:

$$Q = A_0 \cdot v_0 = (A_0 - A_{pijlers}) \cdot v_{brug} \quad \text{of wel} \quad v_0 = \left(1 - \frac{A_{pijlers}}{A_0}\right) \cdot v_{brug} \quad \text{waarin } Q \text{ het debiet is.}$$

Invullen in formule (A-1) voor de opstuwing geeft:

$$\xi_o \cdot \frac{v_{brug}^2}{2g} = \beta \cdot \left(\frac{A_{pijlers}}{A_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{A_{pijlers}}{A_0}\right)^2 \cdot \frac{v_{brug}^2}{2g}, \quad (\text{A-2})$$

waarin  $\xi_o$  de opstuwingsverliescoëfficiënt is.

### Intreeverliezen

Tijdens versnelling van de stroming treden in principe nauwelijks verliezen op. Dat er toch stromingsverliezen optreden bij het instromen van een constructie heeft de volgende oorzaken:

- De stroomlijnen volgen niet precies de wanden van de constructie. Tijdens hoge afvoeren stroomt het water vanuit de uiterwaarden om de landhoofden van de brug. De aanstroming onder de brug in die situaties is niet optimaal, de stroming wordt niet geleid door wanden waardoor loslating van de stroming optreedt.
- Bij het instromen onder de brug treedt contractie van de stroomlijnen op door de versnelling van de stroming. Contractie heeft tot gevolg dat de effectieve breedte waarover het water onder de brug door stroomt kleiner is dan de werkelijke doorstroombreedte ( $\mu \cdot B$  en  $\mu < 1$ ). Het stromingsverlies treedt op door het enigszins vertragen van de stroming na de stromingscontractie. Dit effect treedt zowel langs de landhoofden als langs de pijlers op.



Figuur A-2 Hesselmulertbrug gezien vanaf de bovenstroomse zijde

Voor een scherpe overgang van de waterloop naar de constructie is de contractiecoëfficiënt 0,6 waarin alle verliezen zijn opgenomen. De waarde van deze coëfficiënt is empirisch bepaald, maar wordt algemeen gebruikt voor intreeverliezen van constructies die geen optimale vorm



hebben van het intreegedeelte. In de waarde van de coëfficiënt zijn ook begrepen de verliezen door de vorming van neren. De uitdrukking voor de intreeverliezen is:

$$\xi_i \cdot \frac{v_{brug}^2}{2g} = \left( \frac{1}{\mu} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_{brug}^2}{2g}, \quad (\text{A-3})$$

met  $\mu$  = contractiecoëfficiënt [-] en  $v_{brug}$  = gemiddelde stroomsnelheid [m/s] onder de brug.

### Wrijvingsverliezen

De wrijvingsverliezen onder de brug worden met de Chézy-vergelijking bepaald. Voor gesloten en open leidingen is het wrijvingsverlies, uitgedrukt in het verlies van snelheidshoogte, te schrijven als:

$$\Delta h = \frac{\lambda l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

en met  $\lambda C^2 = 8g$  is het wrijvingsverlies:

$$\xi_w \cdot \frac{v_{brug}^2}{2g} = \left( \frac{2g l}{C^2 R} \right) \cdot \frac{v_{brug}^2}{2g}, \quad (\text{A-4})$$

waarin:  $l$  de lengte in stromingsrichting is,  $\Delta h$  het verval over de brug,  $R$  de hydraulische straal onder de brug,  $v_{brug}$  de gemiddelde stroomsnelheid onder de brug en  $C$  de Chézy-coëfficiënt. De uitdrukking voor de Chézy-coëfficiënt luidt:

$$C = 18 \log \left( \frac{12 \cdot R}{k} \right), \text{ waarin } k \text{ de ruwheidshoogte is.}$$

### Uittreeverliezen

Het water dat onder de brug stroomt zal vertragen als het doorstroomoppervlak benedenstrooms van de brug groter is dan onder de brug. Een deel van de snelheidshoogte (kinetische energie) die is opgebouwd onder de brug zal worden omgezet in potentiële energie (waterstandstijging) benedenstrooms van de brug. Bij de vertraging van de stroming zal een deel van de kinetische energie verloren gaan door wrijving (wervels en neren).

Aangenomen is dat in het ongunstigste geval het verschil tussen de snelheidshoogte onder de brug en benedenstrooms van de brug geheel verloren gaat. Het uittreeverlies is dan te berekenen als:

$$\frac{v_{brug}^2}{2g} - \frac{v_{benedenstrooms}^2}{2g} = \frac{v_{brug}^2}{2g} - \frac{(\alpha \cdot v_{brug})^2}{2g} = (1 - \alpha^2) \cdot \frac{v_{brug}^2}{2g} = \xi_u \cdot \frac{v_{brug}^2}{2g}, \quad (\text{A-5})$$

en met de profielfactor  $\alpha = \frac{A_{brug}}{A_{benedenstrooms}}$ ,

waarin is uitgegaan van de gemiddelde stroomsnelheid benedenstrooms van de brug die een factor  $\alpha$  lager is dan de gemiddelde stroomsnelheid onder de brug.

### Totale verlies

Het totale verlies is de som van deze vier verliezen en levert de opstuwing  $\Delta h$  uitgedrukt als:

$$\Delta h = (\xi_o + \xi_i + \xi_w + \xi_u) \cdot \frac{v_{brug}^2}{2g}. \quad (\text{A-6})$$

## Bijlage B: Randvoorwaarden Sobek-berekeningen

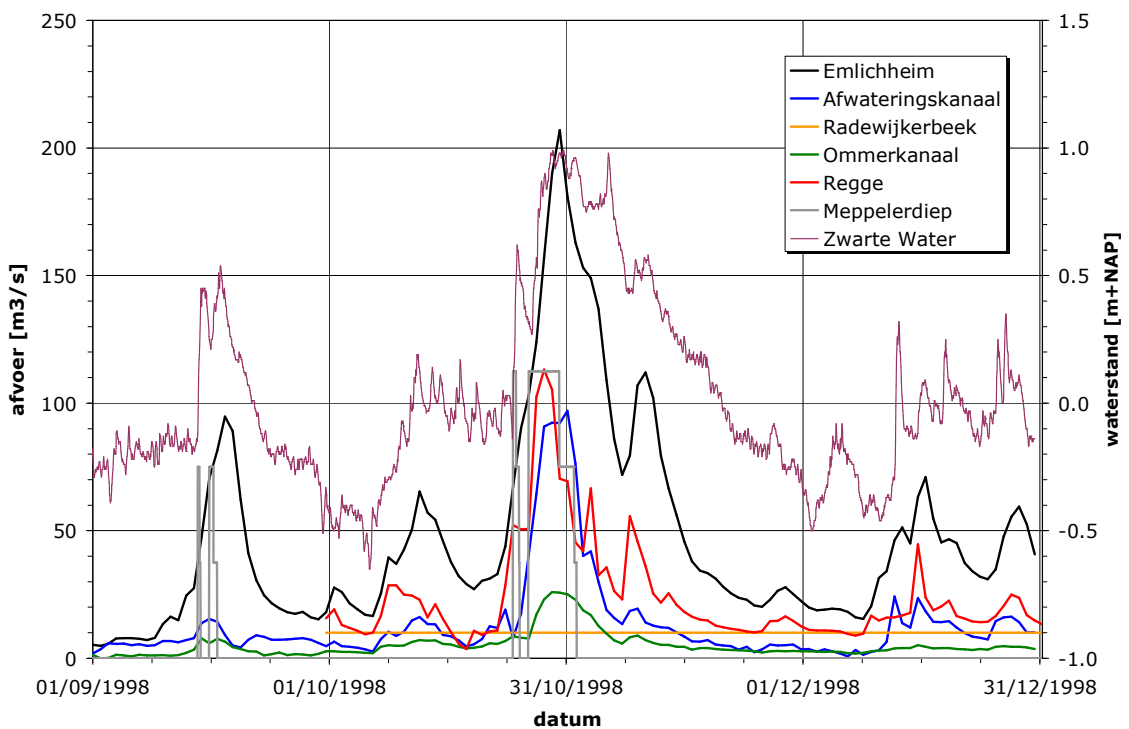
Voor drie omstandigheden zijn randvoorwaarden gebruikt bij de berekeningen met het Sobek-model van de Vecht, namelijk:

- de hoogwatersituatie zoals opgetreden in oktober 1998,
- de hoogwatersituatie met een terugkeertijd van 200 jaar,
- de hoogwatersituatie met een terugkeertijd van 200 jaar inclusief het verwachte klimaateffect.

De randvoorwaarden voor het hoogwater van 1998 zijn overgenomen uit HKV (2000). De hoogwatersituatie met een terugkeertijd van 200 jaar is overgenomen uit HKV (2004).

### Randvoorwaarden hoogwater oktober 1998

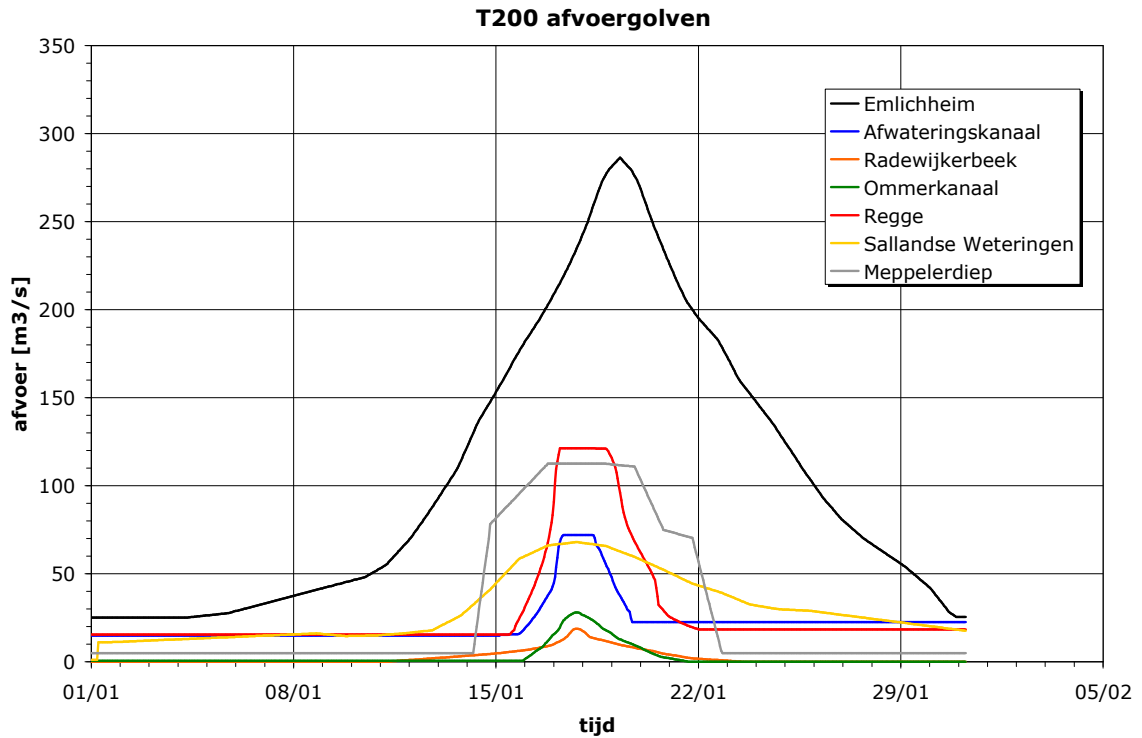
De gemeten afvoer op de modelranden voor de hoogwatersituatie in oktober 1998 zijn weergegeven in Figuur B-1. De gemeten waterstand op het Zwarte Water, weergegeven in Figuur B-1 met de schaal op de rechter as, is op de benedenrand van het model opgelegd.



Figuur B-1 Afvoerverloop en waterstandsverloop op de modelranden hoogwater oktober 1998

### Randvoorwaarden afvoersituatie met terugkeertijd van 200 jaar

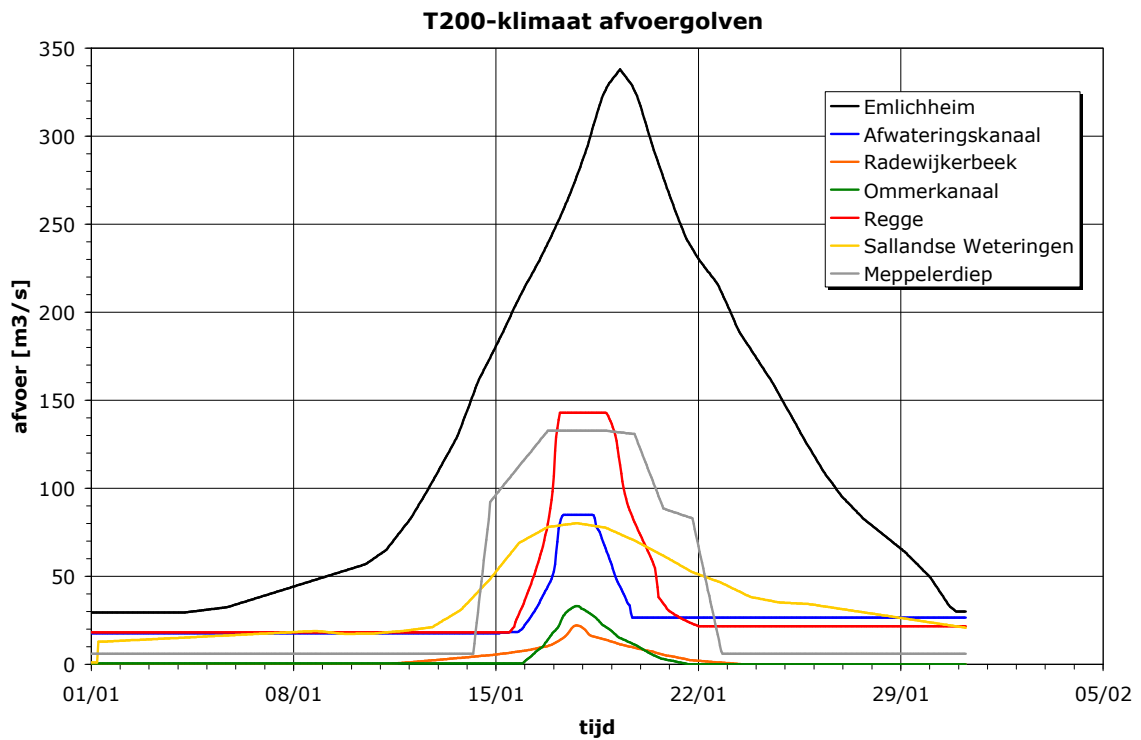
Door interpolatie tussen de afvoergolven met een terugkeertijd van 100 jaar en van 500 jaar zijn de afvoergolven op de modelranden afgeleid voor een terugkeertijd van 200 jaar, zie Figuur B-2. Op de benedenrand in het Zwarte Water bij Genemuiden is een constante waterstand van NAP+0,5 m opgelegd.



Figuur B-2 Afvoerverloop op de modelranden met herhalingstijd van 200 jaar

### Randvoorwaarden afvoersituatie met terugkeertijd van 200 jaar inclusief klimaateffect

Voor het stroomgebied van de Vecht is afgeleid dat het effect van het midden klimaatscenario voor het zichtjaar 2100 een verhoging van de afvoeren met 18%, ten opzichte van de huidige situatie, tot gevolg heeft. De afvoeren uit Figuur B-2 zijn met 18% verhoogd om de modelrandvoorwaarden voor de afvoeren met een terugkeertijd van 200 jaar inclusief klimaateffect te verkrijgen, zie Figuur B-3. Op de benedenrand in het Zwarte Water bij Genemuiden is een constante waterstand van NAP+0,5 m opgelegd.



Figuur B-3 Afvoerverloop op de modelranden met herhalingstijd van 200 jaar met klimaateffect

## Lijst van tabellen

Tabel 2-1	Gegevens Hesselmulertbrug .....	6
Tabel 2-2	Bepaling opstuwing rond Hesselmulertbrug tijdens de hoogwatersituatie van oktober 1998 .....	8
Tabel 3-1	Waterstand en waterstandsdeling voor maximum profielverruiming t.o.v. referentie.....	15
Tabel 3-2	Waterstand en waterstandsdeling voor minimum profielverruiming t.o.v. referentie .....	17

## Lijst van figuren

Figuur 1-1	Overzicht Vecht bij Ommen (links) en versmalling langs de Vecht bij Ommen (rechts).....	1
Figuur 2-1	Locatie van de historische brug en huidige brug over de Vecht bij Ommen .....	3
Figuur 2-2	Afstanden tussen de pijlers en landhoofden van de brug, stroomafwaarts gezien .....	4
Figuur 2-3	Hoge punten en versmallingen in traject langs Ommen.....	5
Figuur 2-4	Verhoogd liggende bomenrij bovenstrooms van de brug bij km 32,3 .....	6
Figuur 2-5	Teruglopende uiterwaardsbreedte en obstakels voor de brug, bovenstroomse zijde brug .....	7
Figuur 2-6	Aanzanding en aanslibbing onder de brug .....	8
Figuur 2-7	Uiterwaard langs 'De Zon' (links) en langs het oude raadhuis (rechts) .....	9
Figuur 2-8	Sobek-dwarsprofielen rond de brug .....	9
Figuur 2-9	Sobek-dwarsprofielen rond camping Koeksebelt.....	10
Figuur 3-1	Maximum waterstand model 2001 en herijkt model 2008, detail .....	12
Figuur 3-2	Traject met maximum (boven) en minimum (onder) profielverruiming bij Ommen .....	13
Figuur 3-3	Principe verruiming profiel onder de Hesselmulertbrug.....	14
Figuur 3-4	Verandering maximum waterstand met maximaal verruimd profiel.....	16
Figuur 3-5	Principe waterstandstoename benedenstrooms brug bij verruimd profiel .....	16
Figuur 3-6	Verandering maximum waterstand met minimaal verruimd profiel .....	18
Figuur 4-1	Profielverruiming ter hoogte van km 33 voor verschillende varianten.....	20
Figuur 4-2	Schematische weergave maatregelen HKV 2009 en aanleg jachthaven. ....	21
Figuur 4-3	Effect maximale waterstand bij T200 en aanleg van de jachthaven.....	21
Figuur A-1	Principe schets opstuwing rond een brug.....	27
Figuur A-2	Hesselmulertbrug gezien vanaf de bovenstroomse zijde.....	28
Figuur B-1	Afvoerverloop en waterstandsverloop op de modelranden hoogwater oktober 1998.....	30
Figuur B-2	Afvoerverloop op de modelranden met herhalingstijd van 200 jaar.....	31
Figuur B-3	Afvoerverloop op de modelranden met herhalingstijd van 200 jaar met klimaateffect .....	32