



WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM

FLANDERS HYDRAULICS  
RESEARCH

# **BRUG OVER DE ZEESCHELDE TE TEMSE/BORNEM**

HYDRAULISCHE EN NAUTISCHE STUDIE  
VAN HET VOORONTWERP



05 - 14

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap  
Waterwegen en Zeekanaal N.V.  
**Afdeling Zeeschelde**

## **Model 785**

# **BRUG OVER DE ZEESCHELDE TE TEMSE/BORNEM** HYDRAULISCHE EN NAUTISCHE STUDIE VAN HET VOOR- ONTWERP

AUGUSTUS 2005

project nr 005\_142 en 005\_1072

## INHOUDOPGAVE

1	Inleiding .....	1
2	Metingen in situ .....	2
3	Wiskundige modellering .....	3
4	Nautische analyse .....	4
5	Algemene conclusie .....	5

BIJLAGE A: Metingen in situ

BIJLAGE B: Hydraulische evaluatie van het plaatsen van een tweede brug over de Schelde naast de brug te Temse

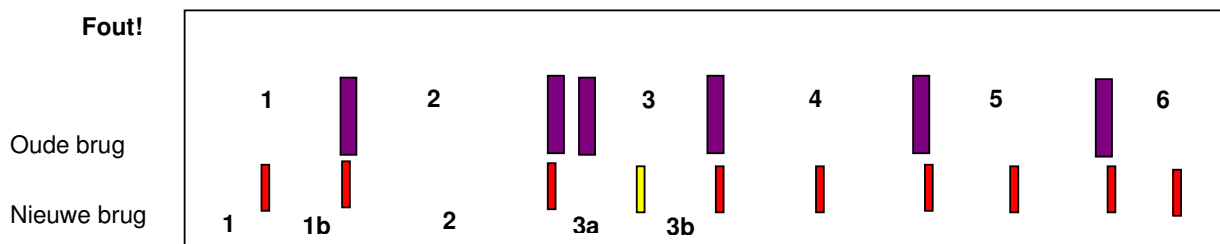
BIJLAGE C: Nautische evaluatie van het plaatsen van een tweede brug over de Schelde naast de brug te Temse

## INLEIDING

De afdeling Zeeschelde heeft per brief met ref. 16EI-U-05-1880, die werd toegelicht op de vergadering van 12 mei 2005, de afdeling WLH verzocht om tegen 15 augustus 2005 hydraulisch en nautisch advies te verlenen inzake de voorgenomen nieuwe brug over de Zeeschelde te Temse/Bornem.



*Figuur 1 : Schematische voorstelling van bestaande en nieuwe brug*



*Figuur 2 : Pijlers oude en nieuwe brug*

Daartoe werd een projectteam samengesteld:

- ir. Eric Taverniers (metingen in situ)
- ir. E. Laforce (nautische studie)
- ir. K. Verelst (numeriek modellering hydraulische studie)
- dr.ir. T. De Mulder (hydraulische studie en coördinatie)

Het projectteam heeft de verzamelde gegevens, resultaten en analyses geïnterpreteerd en komt tot conclusies en aanbevelingen vermeld in onderhavig rapport.

## METINGEN IN SITU

Er zijn continue metingen gebeurd aan Temse brug middenin openingen 1 en 4, telkens op een peil van TAW -1m (zie Bijlage A).

Uit de metingen blijkt dat de stroomsnelheden van vloed en eb quasi loodrecht op de as van de brug staan, dus vanuit hydraulisch en nautisch standpunt is er geen gevaar voor schuine aanstroming, waarvoor aanvankelijk gevreesd was.

Voor de scheepvaart zijn maximum stroomsnelheden van belang (gemiddelde snelheid over de bovenste 3 m) gaande van 1.50 m/s (doodtij) tot 1.90 m/s (springtij), telkens bij maximum vloed en bij gemiddelde omstandigheden. Bij stormvloeden vergroten deze maximum snelheden met ongeveer 20%.

## WISKUNDIGE MODELLERING

Wiskundige modellering is uitgevoerd aan de hand van een 2DH model van de Rupelmonding tot de Durmemonding, met een zeer fijn rekenrooster (2.5m x 2.5m) ter hoogte van Temse-brug.

Een uitvoerige beschrijving van de hydraulische evaluatie is gegeven in Bijlage B.

Het algemene stroombeeld toont geen toename van de snelheid, met uitzondering van de directe omgeving van de nieuwe pijlers, en dit vooral de pijler in het midden van doorvaartopening 3 (geel in

Figuur 2). Daar ontwikkelt zich een ongunstige situatie: er doen zich in de openingen 3a en 3b (over de dwarssectie bekeken) behoorlijke snelheidsverschillen (zowel verhoging als verlaging) voor die ongunstig zijn voor de scheepvaart.

De bijkomende pijlers veroorzaken geen significante veranderingen van stroomrichting.

Uit het algemene stroombeeld volgt tevens dat geen significante morfologische verandering te vrezen is in de naburige slikken en schorren.

De nieuwe kade (Losplaats aan de Schelde te Temse ter hoogte van de Meulebroekpolder) ligt zo ver van de brug dat geen van beide elkaar beïnvloeden.

## NAUTISCHE ANALYSE

Een uitvoerige beschrijving van de nautische evaluatie is gegeven in Bijlage C.

Voor 2020 voorspelt men 40 000 passages per jaar, waarvan 18 000 door schepen met containers.

De invloed van de verlenging van de pijlers is gering. De breedte van de doorvaartopening van de basculebrug volstaat voor klasse VIb schepen (vierbaks duwkonvoeien) overeenkomstig de CEMT klasse van de waterweg. De vaste doorvaartopening voldoet voor klasse V schepen.

De pijler waarmee overspanning 3 van de nieuwe brug in twee wordt verdeeld, maakt deze vaste doorvaartopening ongeschikt voor beroepsvaart en moet vermeden worden.

Als een lange termijn optie, en rekening houdend met de CEMT 92/2 resolutie, is het realiseren van een doorvaarthoogte van 7 m boven hoogwater van gemiddeld springtij aan te bevelen.

Voor de stabiliteit van de brugpijlers of de remmingswerken die deze beschermen, moet men rekenen met de aanvaring door een Vb of VIb konvoi. Volgens de Eurocode komt dit overeen met een pseudo-statische belasting van 15 MN.

## ALGEMENE CONCLUSIE

De tweede brug stoort noch hydraulisch noch nautisch, met uitzondering van de nieuwe brugpijler in het midden van opening 3 (=gele pijler in *Figuur 2*).

Borgerhout, Augustus 2005

ir. Eric Taverniers  
Projectingenieur

ir. Kristof Verelst  
Projectingenieur

ir. Erik Laforce  
Projectingenieur

dr. ir. Tom De Mulder  
Projectingenieur

Gezien,

dr. Frank Mostaert  
Afdelingshoofd



# BIJLAGE A

## BIJLAGE A: METINGEN IN SITU

### 1. Algemeen

Er werden gedurende twee-en-een-halve maand continue metingen in situ uitgevoerd. Het doel was vnl. een idee van de stroomsnelheden te krijgen, meerbepaald:

a) uit nautisch oogpunt:

- de grootte van de vloed- en ebstromingen doorheen de doorvaartopeningen;
- de richting van de vloed- en ebstromingen, om na te gaan of schepen al dan niet een dwarse stroomcomponent ondervinden bij doorvaart van de brug;

b) uit oogpunt van mogelijke erosie van de bodem of de oevers:

- de grootte van de vloed- en ebstromingen over de dwarssectie;

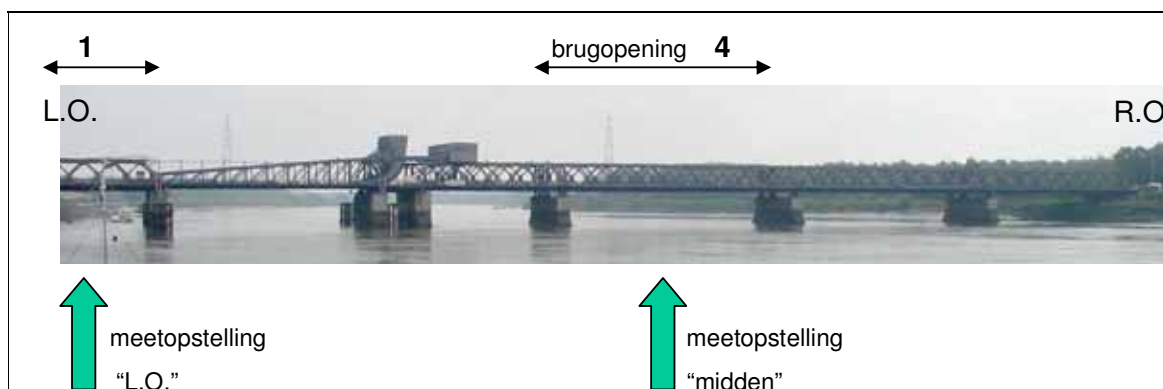
c) uit oogpunt van validatie van het mathematisch model:

- om via gemeten stroomgegevens het model te kunnen valideren.

Gezien de beschikbaarheid van degelijke meettoestellen en een noodzakelijk snelle aanvang van de monitoring, werden twee Aanderaa RCM-9-toestellen opgesteld, nl. halverwege de kleine brugoverspanning langs de linkeroever (tussen de kade te Temse en de brugpijler waarop de top van het beweegbaar bruggedeelte in gesloten toestand op rust, opening nr. 1 genoemd), en halverwege de grote brugoverspanning (opening nr. 4 genoemd) in het midden van de dwarssectie. Gezien de scheepvaart niet kan beperkt worden, en een monitoring vlakbij brugpijlers niet aangewezen was, konden geen toestellen in de beide doorvaartopeningen opgesteld worden.

Er werd geopteerd voor een “vaste” opstelling van de meettoestellen. Wegens tijdsgebrek kon inderdaad niet worden overgegaan tot bvb. een opstelling waarbij de meettoestellen met het getij op en neer zouden gaan, met dus een veranderlijke hoogte t.o.v. de bodem (vooropgesteld dat zulke meetopstelling in onderhavige monitoring dienstig zou zijn). De meettoestellen kwamen aldus, gelet op enerzijds het kunnen optreden van lage laagwaterstanden, en anderzijds de relatief ondiepe ligging van de rivierbodem op beide meetplaatsen, met hun meetsondes te hangen op T.A.W. (- 1,00 m), op een constante hoogte boven de bodem.

De navolgende figuur geeft een langsfoto van Temsebrug, met aanduiding van de opstelling der beide meettoestellen:



De toestellen werden omwille van een goede bereikbaarheid vanaf de brug, en omdat de nieuwe brug aan de opwaartse kant van de huidige wordt voorzien, aan die opwaartse kant van de brug geplaatst. Op de positie "L.O." (*overspanning 1*) is de bodemdiepte aan het meettoestel T.A.W. (- 4,00m), en op positie "midden" (*halverwege overspanning 4*) T.A.W. (- 5,00m). De beide toestellen werden op vaste hoogte T.A.W. (-1,00 m) opgesteld. Dit moet vergeleken worden met de gemiddelde tienjarige (1991-2000) getijgegevens van de Zeeschelde te Temse:

	<b>G.H.W.</b>	<b>G.L.W.</b>	<b>G.T.V.</b>
	(in m TAW)	(in m TAW)	(in meter)
bij springtij	+ 5,90	- 0,08	5,98
bij middeltij	+ 5,51	+ 0,08	5,43
bij doodtij	+ 4,99	+ 0,34	4,65

In het decennium 1991-2000 kwam het hoogste hoogwater te Temse op het peil TAW (+ 7,54 m) (*in november 1993*), en het laagste laagwater op TAW (- 0,98 m) (*februari 1994*).

De Aanderaa-RCM-9-toestellen meten om de 10 minuten (*internationale standaard voor "continue" metingen*) zowel de vectoriele watersnelheid (*grootte en richting*), de geleidbaarheid (*maat voor de saliniteit*), de watertemperatuur, de turbiditeit (*maat voor de concentratie aan gesuspendeerde deeltjes, ook kortweg slibgehalte genoemd*), en de druk boven de druksonde (*dus luchtdruk + waterdruk*). De toestellen werden vast opgesteld aan een verticale ketting, bovenaan vastgemaakt aan de brug, en onderaan verankerd aan een voldoende zware betonsteen op de rivierbodem. Zodoende kon met zekerheid op de ingestelde meethoogte betrouwd worden, maar werd ook voorkomen dat de meettoestellen om hun as zouden tollen of schuin zouden hangen. Op zich is een bepaalde schuinite toegelaten, aangezien het meettoestel voor de snelheidsmeting compenseert voor een schuinite tot 30° vanaf de verticale.

De Aanderaa-toestellen werken autonoom, d.w.z. beschikken over eigen inwendige elektrische voeding, en plaatsen alle meetdata rechtstreeks op een interne data-blok. Zij hebben dus geen externe voeding- of meetkabels, hetgeen hun opstelling handiger maakt. Voeding en data-opslag kunnen zonder ingrijpen zeker twee maand werken, indien –zoals hier– alle parameters en per tien minuten worden ingewonnen.

Onderstaande foto's geven een idee van toestel en opstelling:



Aanderaa + ketting aan boord van meetschip



Aanderaa met neerwaartse ketting naar betonsteen (die op de rivierbodem wordt gezet)



*Een Aanderaa-RCM-9-meettoestel, omvattende cilindrisch lijf (waarin elektronica, voeding en datablok) en de vijf meetsondes bovenaan (de rode "paddestoel" bovenaan meet via Doppler-effect de vectoriele watersnelheid)*

Het toestel op positie "midden" (halverwege de middelste brugoverspanning) werd geplaatst op 26 mei 2005, en het tweede toestel, op positie "L.O." (halverwege de korte overspanning aan de kade te Temse) op 8 juni 2005. De plaatsing was telkens afhankelijk van een laagwater te Temse rond het middaguur, teneinde het schip dat de apparatuur met ketting en betonsteen uitzette, veilig en goed in vaste positie te houden, manoeuvre waarbij het schip immers zelf niet kon ankeren of niet aan bvb. de brug kon vastleggen.

Een eerste uitlezing van beide toestellen gebeurde op 24 juni 2005, waarbij de toestellen werden teruggeplaatst. De tweede en tevens laatste uitlezing was op 5 augustus 2005, waarbij de toestellen niet meer werden teruggezet gezien einde van de monitoring. Deze duurde dus in totaal 71 dagen, zijnde praktisch twee-en-een-halve maand, dus ook zoveel maal een volledige (= dubbele) springtij-middeltijd-doodtij-cyclus (maan-maand). Weliswaar werd het tweede toestel (positie "L.O.") twee weken later dan het eerste toestel (positie "midden") geplaatst, maar ook daar werd dus over een periode van twee maanden gemeten. Alle metingen verliepen voorspoedig, zodat over de ganse periode volwaardige meetresultaten voorhanden zijn.

De bijlage A toont tien figuren die deze monitoring goed weergeven. Figuur A.1 toont het getij van de Boven-Zeeschelde te Temse voor de ganse meetperiode. Zoals verwacht zijn heel duidelijk vijf periodes van springtij en vijf periodes van doortij te zien. Het bereik van alle laagwaters ging in die periode van TAW (-0,50m) tot (+0,68m), en het bereik van alle hoogwaters van TAW (+4,75m) tot (+6,26m). Er trad dus een breed gamma van het getij op, zodat de meetgegevens zeer representatief voor alle mogelijke getijden, uitgezonderd bij vorstperiodes en stormvloeden.

## **2. Stroomsnelheid**

Figuren A.2 t/m 5 tonen de resultaten van de snelheidsmetingen, zowel naar grootte (fig. A.2 en A.4) als naar stroomrichting (fig. A.3 en A.5), en dat voor de meetpositie "midden" (halverwege brugopening nr. 4) (fig. A.2 en A.3 hebben daarop betrekking) als voor de meetpositie "L.O." (halverwege brugopening nr. 1) (fig. A.4 en A.5).

De stroomsnelheden correleren volop met het opgetreden getijverschil: bij doortij blijven de snelheden bij vloed en eb meestentijds (doorheen het getij) en op de meetplaats "midden", tussen ongeveer 0,75 en 0,90 m/s, met bij elk getij uitschieters naar 0,95 à 1,15 m/s in de periode van "maximum-vloed" (periode van één uur voor hoogwater). Bij springtij zijn vloed- en eb-snelheden aldaar meestentijds

(doorheen het getij) begrepen tussen 0,80 en 1,10 m/s, en bij elk getij uitschieters naar 1,15 à (een enkele keer) 1,75 m/s bij "maximum-vloed". Op de meetplaats "L.O." zijn de stroomsnelheden -zoals verwacht- steeds kleiner dan in de meetpositie "midden", en variëren tussen 0,60 m/s à bijna 1,50 m/s (ook één keer, nl. bij het opgetreden hoogwater op peil TAW (+6,26m)). Bij elke kentering van hoog- en laagwater gaat de watersnelheid even (gedurende enkele tot soms vijftien minuten) naar een waarde kleiner dan 0,10 m/s, om van stroomrichting te wisselen. Bij de figuren A.2 en A.4 over de stroomsnelheden is dit in mindere mate te zien, aangezien de "continu"-metingen handelen om metingen over telkens een vijftal seconden en dit om de tien minuten.

Het verloop van de stroomsnelheid gedurende een vloed- en gedurende een eb-periode is telkens zeer typisch: bij vloed zet de stroomsnelheid flink in, om gedurende een tweetal uren te verkleinen, en om bij maximum-vloed gedurende ongeveer een uur flink te vergroten, tot soms meer dan anderhalve maal de gemiddelde vloedsnelheid. Uiteraard heeft dit alles te maken van de stijgsnelheid van het waterniveau per bvb. 10 minuten, nog versterkt met het feit dat bij hogere waterstand het achterliggend tijgebied een vergrootte komberging kent dus nog extra watervolume per tijdseenheid vereist.

Het verloop van de stroomsnelheid tijdens een eb-periode is typisch gelijkmatig. Bij aanvang van eb is er gedurende ongeveer een uur een geleidelijke vergroting van de snelheid, om dan gedurende iets meer dan vier uren vrij constant te blijven of maar licht te vermeerderen. Pas net voor kentering van laagwater verkleint de watersnelheid naar het omslagpunt naar vloed. Bij het einde van de vloed duurt dit verkleinen van de watersnelheid naar het moment van kentering hoogwater inderdaad langer, gewoonlijk meer dan uur. Het geheel van deze snelheidsverlopen doorheen het getij, is als voorbeeld te zien op figuren A.9 en A.10 (de volle donkerblauwe lijn), en is bij springtijden uitgesprokener dan bij doottijden.

Uiteraard gaat het hierbij telkens om stroomsnelheden op welbepaalde meetplaatsen, op een vaste hoogte boven de rivierbodem, en met een wisselende hoogte van waterkolom naar het wateroppervlak toe. Gezien de beschikking over andere snelheidsmetingen over de ganse verticale, kan door ervaring een goede schatting gemaakt worden van de gemiddelde stroomsnelheid over de volledige waterkolom, bij elke stand van het getij, of -hetgeen hier uit nautisch oogpunt dienstig is- over de bovenste drie meter van de waterkolom, en zulks in bvb. het midden van de beide doorvaartopeningen. Daaruit volgen dan stroomsnelheden die door de binnenscheepvaart daadwerkelijk worden ondervonden.

Die snelheden gaan van een kleine waarde (0,10 à 0,25 m/s) in de perioden van kentering (gedurende ongeveer een half uur bij kentering na hoogwater, en ongeveer een kwartuur bij kentering na laagwater), tot verschillende waarden al naargelang eb of vloed, en al naargelang spring- en doottij. De volgende tabel geeft er een goed idee van:

tijdstep doorheen het getij	gemiddelde stroomsnelheid over bovenste drie meter waterkolom in beide doorvaartopeningen	
	bij doottij <i>(in m/s)</i>	bij springtij <i>(in m/s)</i>
KLW	< 0,20	<0,25
begin vloed	1,00 à 1,15	1,05 à 1,25
midden vloed	0,95 à 1,10	1,00 à 1,15
maximum-vloed	1,40 à 1,50	1,70 à 1,90
HW	0,70 à 0,80	0,80 à 1,00
KHW	< 0,20	< 0,25
begin eb	0,80 à 0,90	0,70 à 0,80
midden eb	0,95 à 1,10	1,00 à 1,25
einde eb	0,80 à 0,95	0,90 à 1,00
LW	0,65 à 0,75	0,80 à 0,95

Deze orde van grootte van stroomsnelheden over de bovenste drie meter van de waterkolom is richtinggevend bij gemiddelde doottijden en gemiddelde springtijden. De stroomsnelheden zijn in de eerste plaats functie van het getijverschil, en in de tweede plaats van de hoogte van laagwater en vooral hoogwater (wat te maken heeft met de toename in opwaartse komberging indien een gelijke stijging per tijdseenheid zich hoger dan een zeer hoog waterpeil situeert (*bvb. boven TAW + 6,00 m dan wel ergens tussen +5,50 en +6,00 m.*))

### **3. Stroomrichting**

Figuren A.3 en A.5 tonen de stroomrichting van beide meetlocaties gedurende de ganse meetperiode. Voor de positie "midden" omvat deze meetperiode 26 mei à 5 augustus 2005, terwijl de metingen in positie "L.O." veertien dagen later begonnen met dezelfde einddag 5 augustus.

Voor de meetlocatie "midden", die ook zeer representatief is voor de beide doorvaart-openingen, is de stroomrichting gedurende vloed 277 à 281 (360-delige) kompasgraden, en gedurende eb 104 à 108°. Het bereik van beide stroomrichtingen is dus zeer nauw, slechts een viertal (soms vijf) kompasgraden. Let wel: in tegenstelling tot het aangeven van windrichting, geldt in oceanografie als richting bij stroomrichtingen, niet de richting waaruit de stroming komt, maar wel naar waar de stroming gaat.

Gezien de lengte-as van de Temsebrug zich ongeveer 10,5° rechts (oostelijk) van het kompas-Noorden situeert, betekent dit dat de vloedstromingen mooi loodrecht op de brug-as aanstromen, en de eb-stromingen onder een hoek van (slechts) 4 à 8 graden, nl. van de kade wégstromend. De rivier biedt zich aan afwaartse zijde van de brug inderdaad over een behoorlijke lengte mooi recht en loodrecht op de brug-as aan, terwijl dit aan opwaartse zijde minder het geval is. De ebstroming komt nl. eerst uit een bocht vanuit zuidwest aan, zodat aan de brug zelf, en zeker aan de kant van de linkeroverkade een schuine component bestaat, al weze benadrukt dat het slechts om een schuinte van 4 à 8 graden gaat.

In praktijk betekent dit, en zeker voor de beide doorvaart-openingen, dat de stromingen bij vloed en bij eb zich loodrecht op de brug-as aandienen, dus dat er geen (of bijna geen) dwarse component op doorgaande scheepvaart bestaat. Dit is een gunstig meetresultaat, aangezien de doorvaartlengte van de Temsebrug bij ontubbeling van de baanbrug, met ongeveer de helft zal vergroten, en de scheepvaart hinderlijke dwarse stroomcomponenten best kan missen.

Bij de meetlocatie "L.O." zijn de stroomrichtingen een vijftal graden groter (noordelijker) bij vloed dan bij het meetpunt "midden", en bij eb een tiental graden groter (zuidelijker). Dit heeft evenwel geen invloed op het gestelde in vorige alinea, aangezien de stroomrichting in de kleine brugoverspanning langs linkerover (langsheen de overslagkade) erg beïnvloed wordt door de nabijheid van de kade aan opwaartse brugzijde, en van in- en uitspringende kadevlakken en taluds aan en afwaarts de brug. Dit is een lokaal fenomeen, zonder betekenis voor de andere overspanningen van de brug.

De figuren A.3 en (vooral) A.5 laten bij kentering soms een afwijkende stroomrichting zien, die als een dunne lijn boven of onder de normale grafieklijn piekt. Dit heeft te maken met het gedurende een zeer korte tijd (enkele minuten) over 180° draaien van de stroomrichting, en over het toeval dat het meettoestel (dat dus om de tien minuten een waarde meet) precies op dergelijk draaimoment een meting doet.

### **4. Andere gemeten parameters**

Alhoewel niet meteen voor de studie van een ontubbeling van Temsebrug benodigd, worden ook resultaten getoond van andere parameters die door de Aanderaa-toestellen zijn gemeten geworden.

Figuur A.6 toont het verloop van de watertemperatuur over de ganse periode (26 mei t/m 5 augustus 2005). In de eerste plaats komt dit verloop uiteraard overeen met de luchttemperatuur, zie *bvb.* de warme periode einde juni jl. Ten overstaande van de -koudere- periode er voor (einde mei t/m midden juni), was het Scheldewater te Temse toen een vijftal graden warmer. Er blijkt ook duidelijk dat de responstijd van opwarming en afkoeling vrij kort is: na de warmteperiode einde juni jl. volgende een beduidend minder warme (zelfs relatief koude) periode, en het Scheldewater toont zulks in een snelle en flinke afkoeling.

In de tweede plaats valt ook de invloed van het getij op: bij hoogwater is de watertemperatuur een halve tot anderhalve graad minder warm dan bij laagwater. Dit is veroorzaakt door het sneller opwarmen van het in het opwaartse gebied, minder diep zijnde Schelde- en Durmewater, dan zulks in het afwaartse gebied het geval is. Dit is wel een typisch zomers kenmerk, omdat het fenomeen in de winter net andersom speelt: alsdan is het Scheldewater in de regio Antwerpen door thermische lozingen relatief minder koud dan het water in het opwaartse tijbekken.

Figuur A.7 toont de geleidendheid (conductiviteit) van het Scheldewater. Ook hier is er een behoorlijk variabel verloop te zien. Het moet onderstreept dat de gemeten (en hier getoonde) conductiviteit deze is bij heersende watertemperatuur, en dus niet naar een standaard-temperatuur is gecompenseerd. Aldus hangt het getoonde verloop nauw met dat van de watertemperatuur samen, zie de grote geleidendheid einde juni jl. Er is uiteraard ook een verband met een verder landinwaarts indringen van zeewater, hetgeen (met enkele dagen tijdsvertraging) bij de springtijperiodes einde juni en einde juli te zien is (vooral dan in grote verschillen van conductiviteit bij kentering-hoogwater en kentering-laagwater). Tenslotte is er de (omgekeerde) invloed van het bovendebiet: er waren in de meetperiode inderdaad enkele periodes van aanhouden flinke neerslag in het hydrografisch hinterland, bvb. in de eerste decade van juli jl. Dit gaf primo een flinke reductie van de conductiviteit, en secundo een klein verschil in conductiviteit in functie van het getij zelf (verschilwaarden van de opeenvolgende kenteringen hoog- en laagwater).

Tenslotte geeft figuur A.8 de turbiditeit van het Scheldewater in de ganse meetperiode weer. Daar waar de watertemperatuur en de conductiviteit op elk moment quasi gelijk over de ganse dwarssectie van de rivier zijn, en er inderdaad geen verschillen zijn tussen de meetwaarden op locatie "midden" en "L.O.", is er wel verschil bij de turbiditeit. Deze wordt (geijkt) gemeten in NTU-waarden, internationale standaard voor turbiditeit. Uit enkele genomen waterstalen waarvan het aanwezige slibgehalte door filtering werd bepaald, kan gesteld worden dat de waarde van het slibgehalte (in mg/l) toen en aldaar, ongeveer anderhalve keer de waarde van de turbiditeit was. Dit is enerzijds een plaatselijk en anderzijds een tijdelijk verband, en mag dus niet meteen veralgemeend worden.

Deze monitoring op zich zal onderwerp van een afzonderlijk en diepgaander verslag vormen, doch gaat dan buiten de bedoeling van deze metingen ten nutte van het ontwerp van een ontdubbeling van de baanbrug.

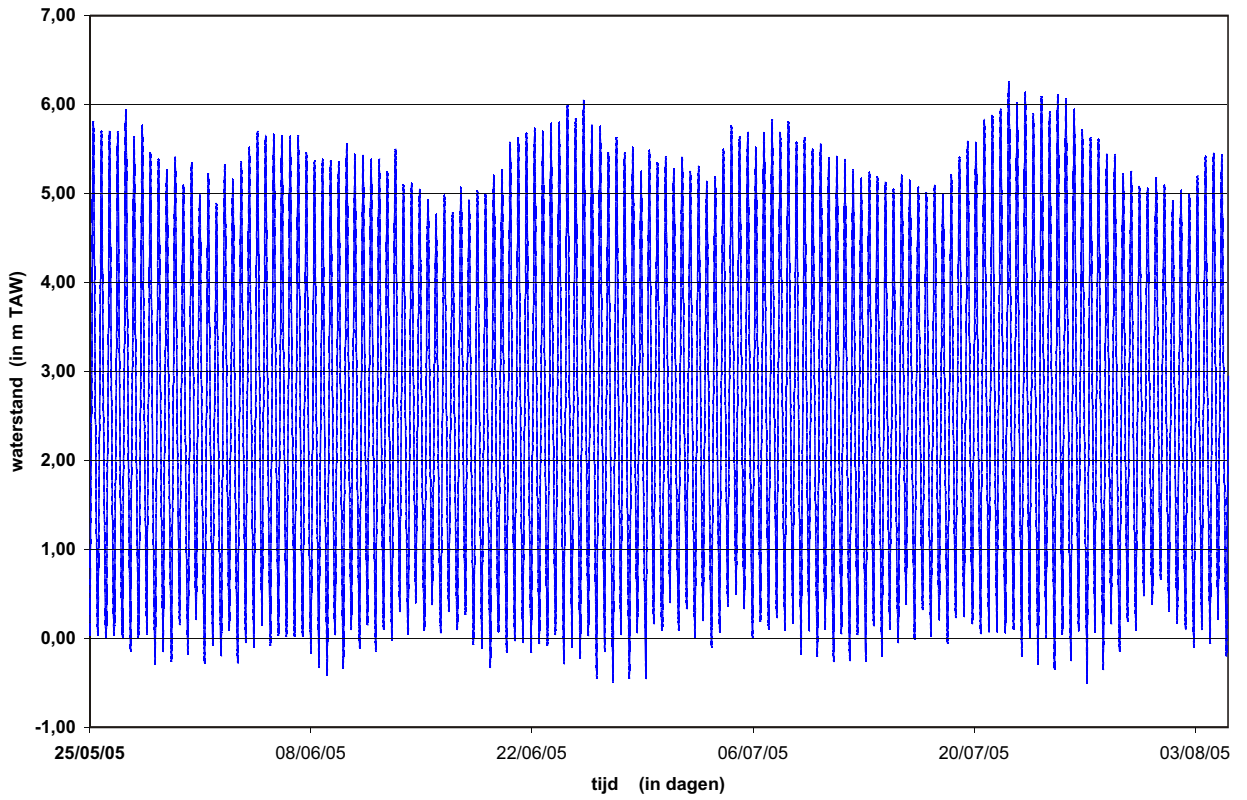


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK  
Borgerhout - Antwerpen

Zeescheide te Temse  
Getij 26 mei à 5 augustus 2005

Mod 785

Bijlage A  
Figuur 1





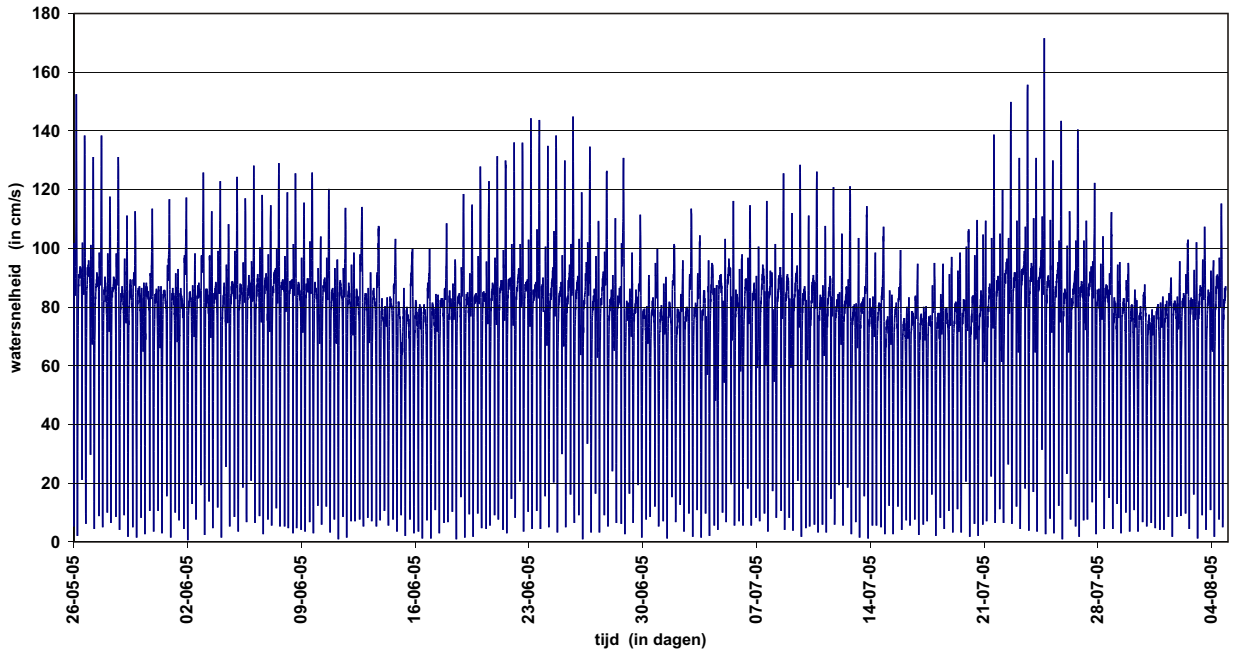


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM**  
**EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**Mod 785**

Bijlage A  
Figuur 2

Zeescheide te Tamse en Bornem  
Monitoring Temsebrug nript. "Midden" op TAW (-1,00m)  
Watersnelheid (in cm/s)



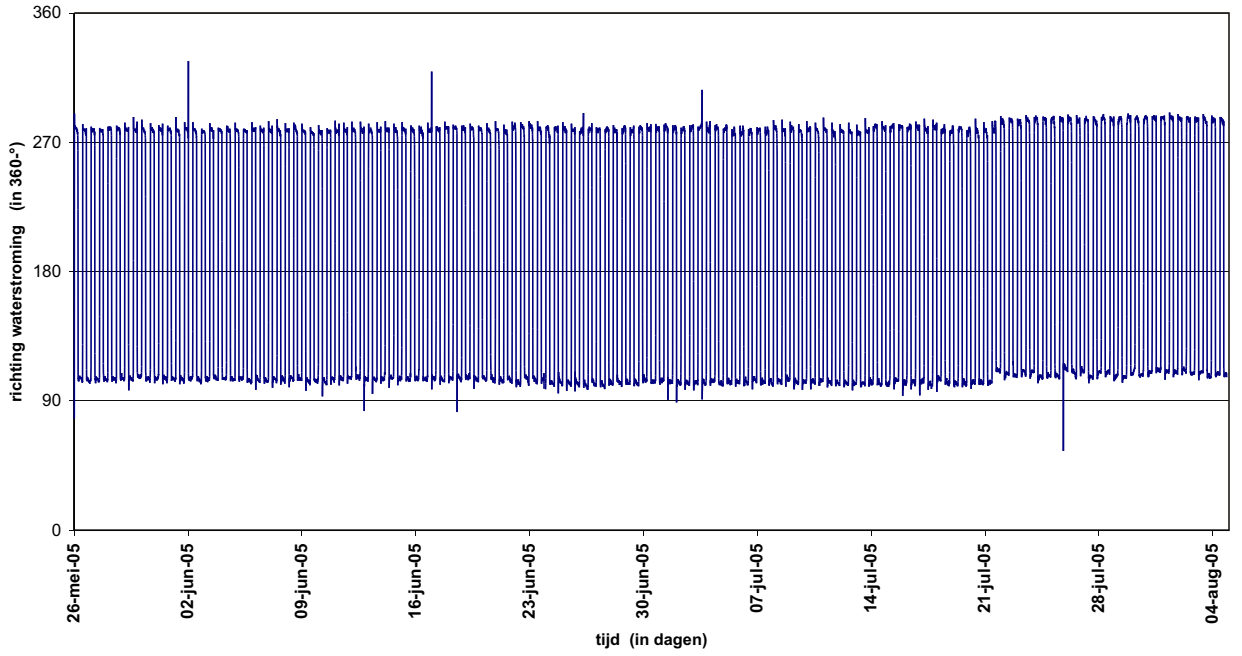


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM**  
**EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**Mod 785**

Bijlage A  
Figuur 3

Zeescheide te Tamse en Bornem  
Monitoring Temsebrug nript. "Midden" op TAW (-1,00m)  
Richting waterstroming (in 360°)



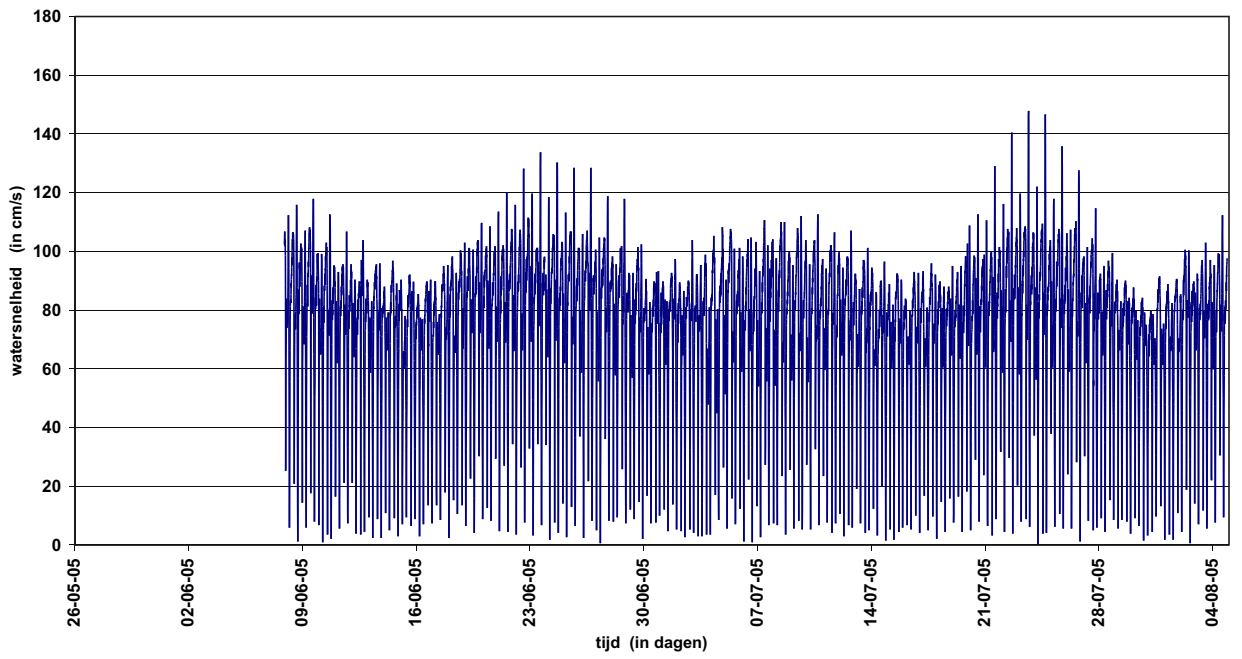


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM**  
**EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**Mod 785**

Bijlage A  
Figuur 4

Zeescheide te Tamse en Bormem  
Monitoring Temsebrug nript. "L.O." op TAW (-1,00m)  
Watersnelheid (in cm/s)



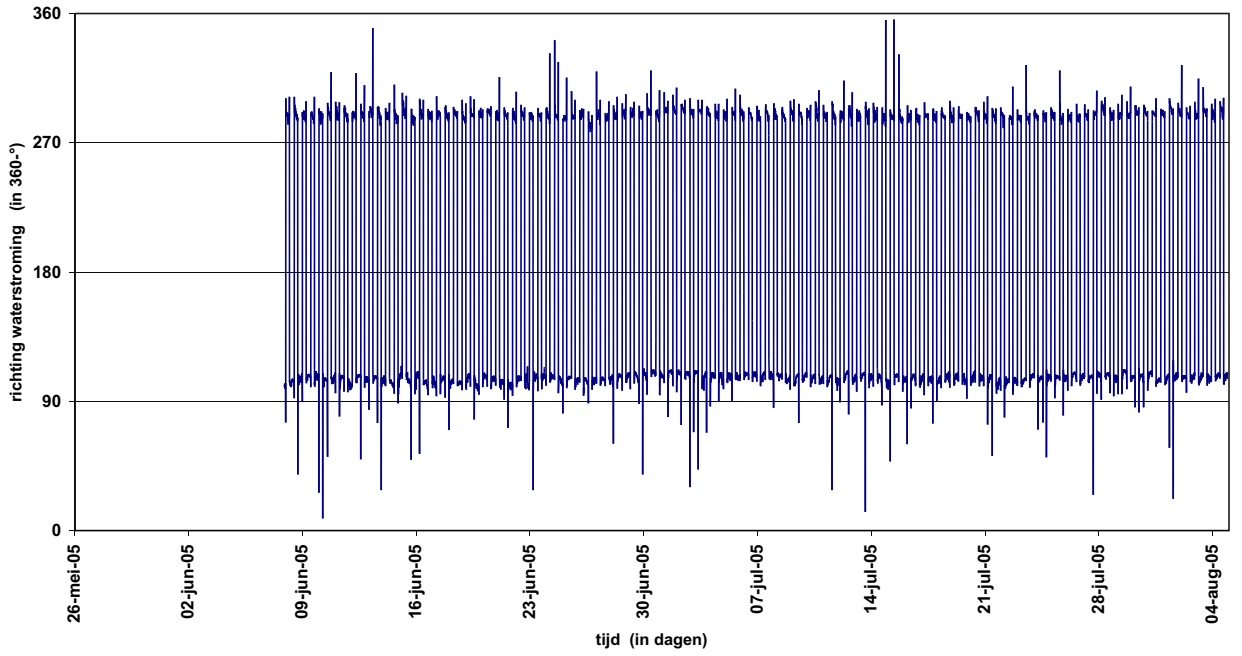


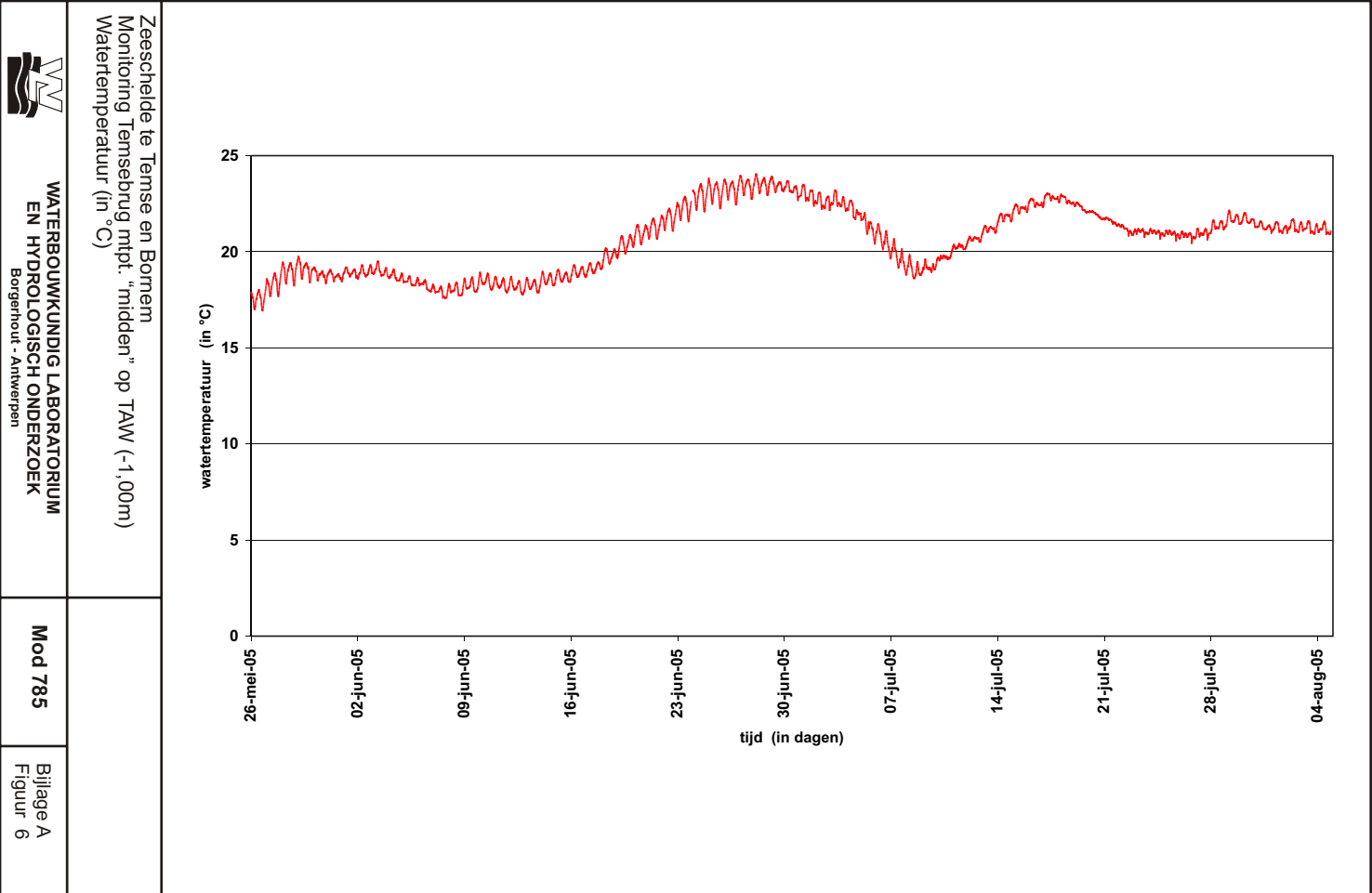
**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM**  
**EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**Mod 785**

Bijlage A  
Figuur 5

Zeescheide te Tamse en Bormem  
Monitoring Temsebrug nript. "L.O." op TAW (-1,00m)  
Richting waterstroming (in 360-°)





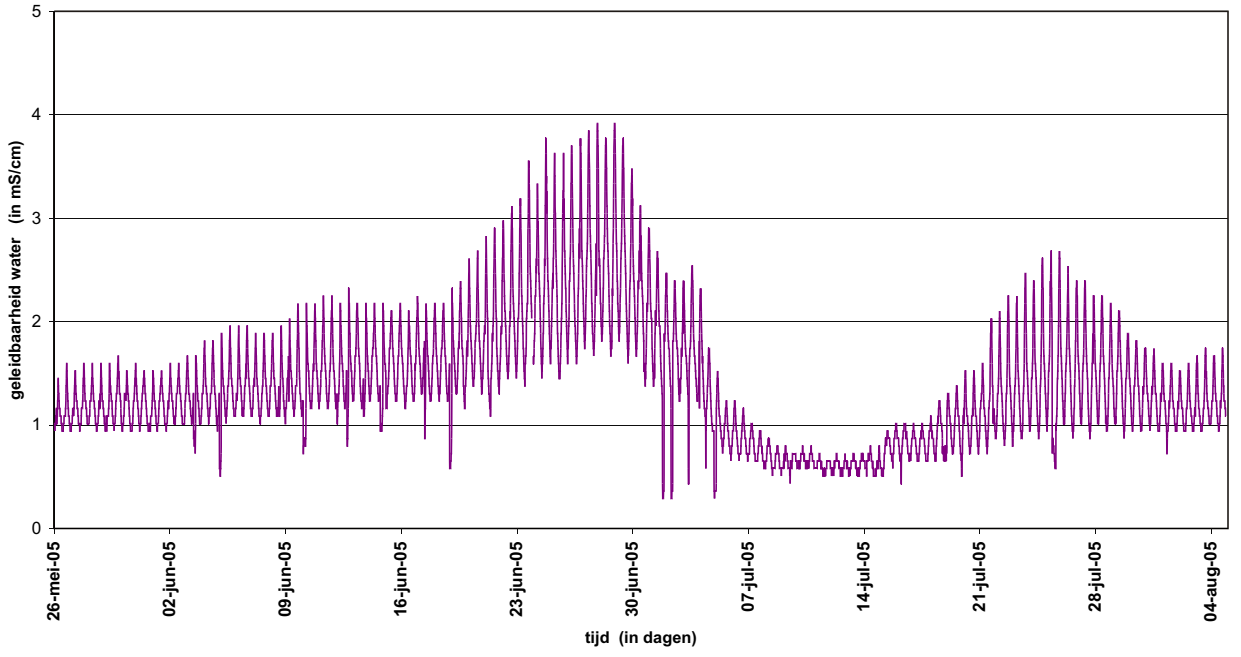


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM**  
**EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**Mod 785**

Bijlage A  
Figuur 7

Zeescheide te Temse en Bornem  
Monitoring Temsebrug nript. "midden" op TAW (-1,00m)  
Geleidbaarheid water (in mS/cm)



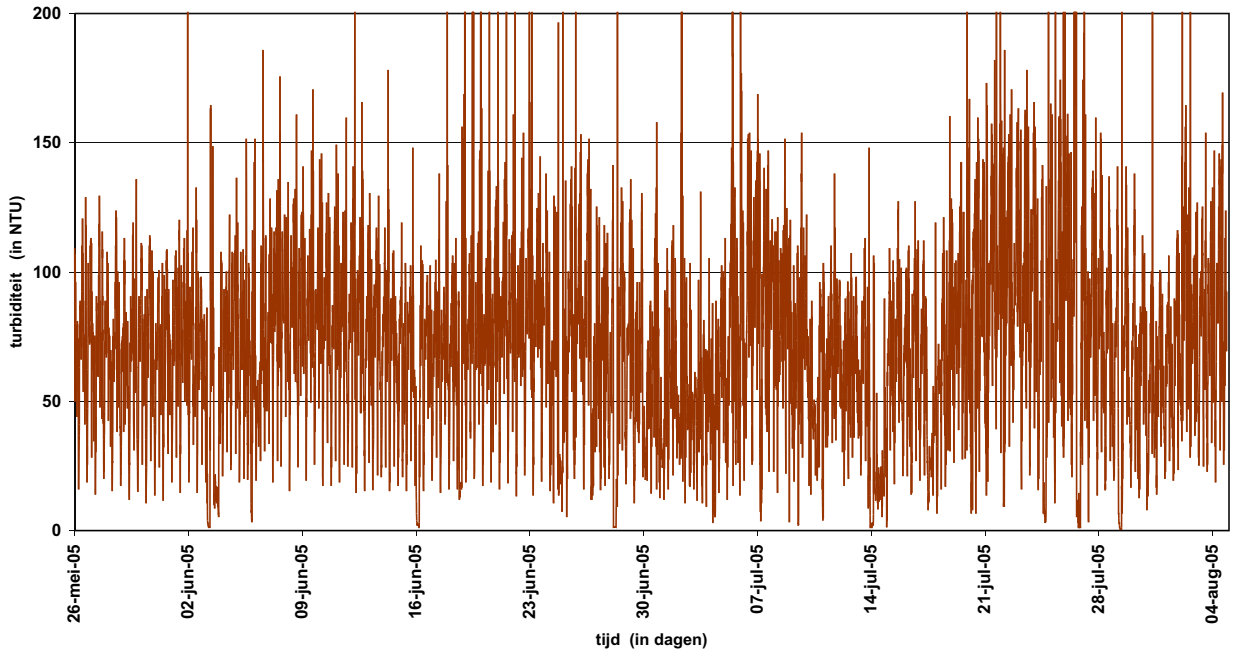


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**Mod 785**

Bijlage A  
Figuur 8

Zeescheide te Tamse en Bornem  
Monitoring Temsebrug mtpkt. "midden" op TAW (-1,00m)  
Turbiditeit (in NTU)



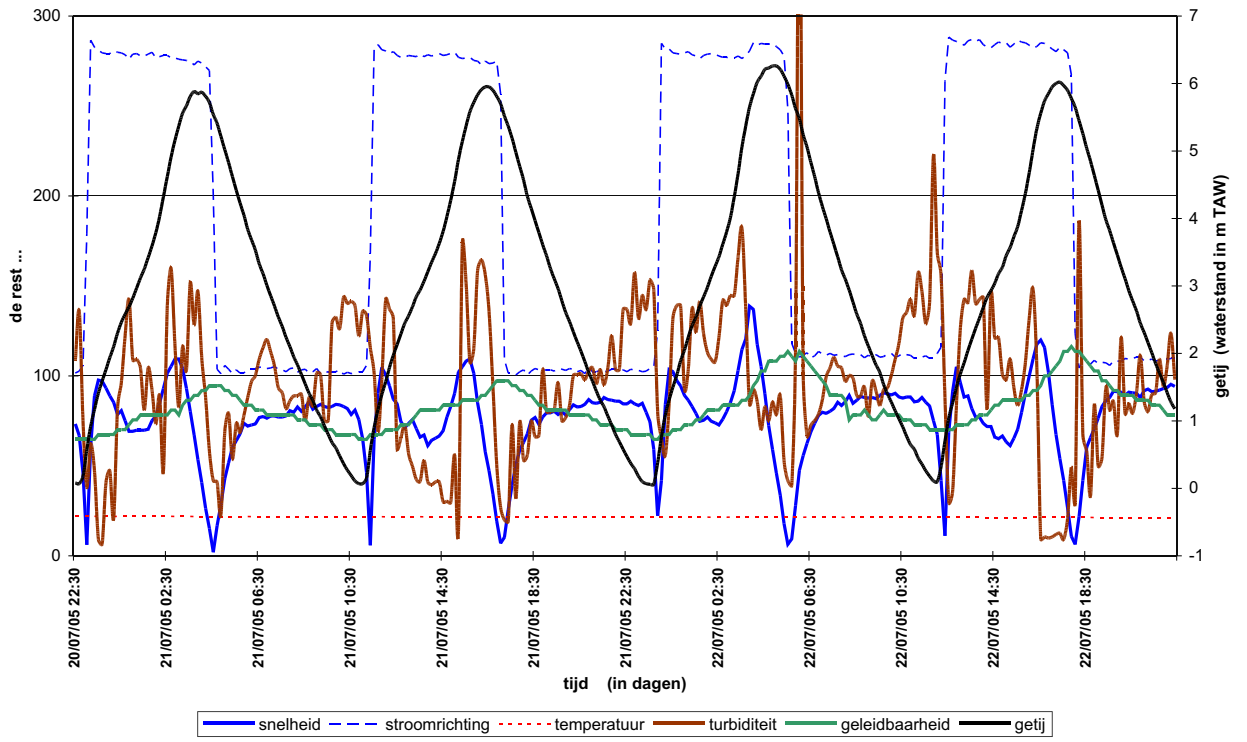


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**Mod 785**

Bijlage A  
Figuur 9

Zeescheide te Tamse en Bornem  
Monitoring Temsebrug mtpkt. "midden" op TAW (-1,00m)  
Typisch springtij





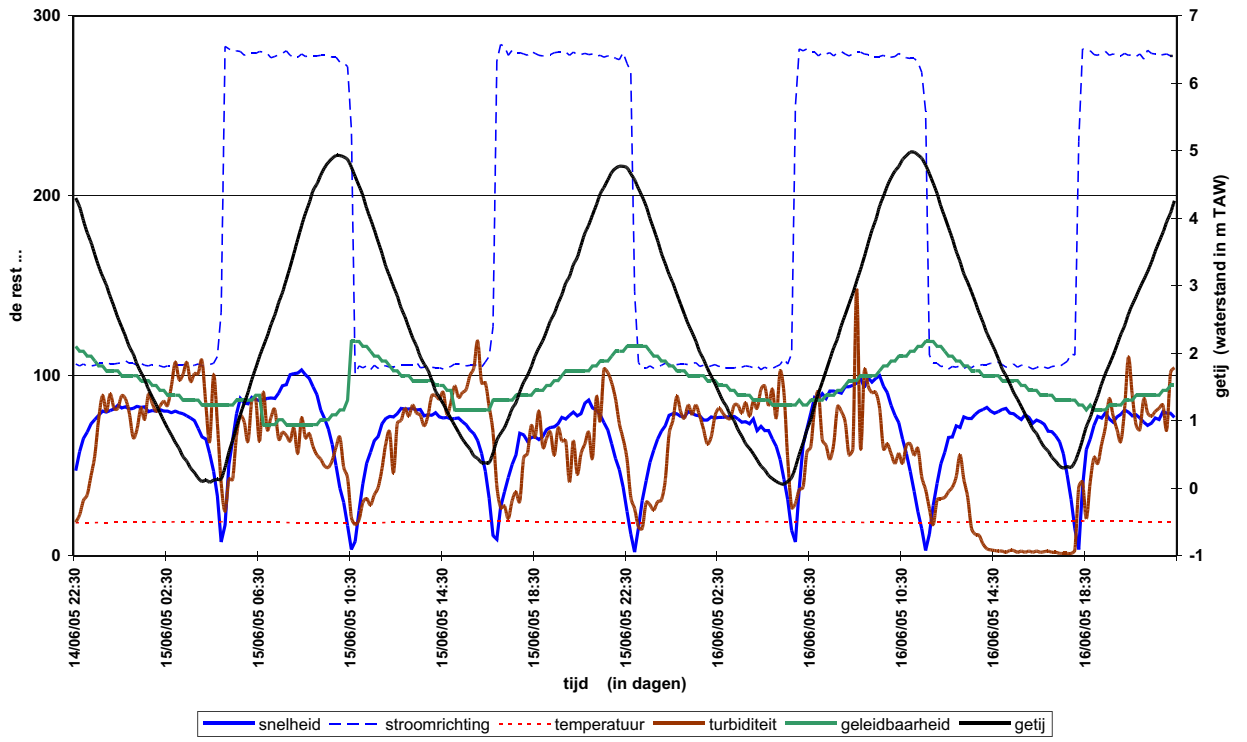


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**Mod 785**

Bijlage A  
Figuur 10

Zeescheide te Tamse en Bornem  
Monitoring Temsebrug mtpkt. "midden" op TAW (-1,00m)  
Typisch doodlij



## **BIJLAGE B**

## **BIJLAGE B: HYDRAULISCHE EVALUATIE VAN HET PLAATSEN VAN EEN TWEEDE BRUG OVER DE SCHELDE NAAST DE BRUG TE TEMSE.**

### **1. Vraagstelling**

Bij het ontwerp van een nieuwe brug te Temse voorziet men de overspanningen 1, 3, 4, 5 en 6 van de nieuwe brug te halveren door het plaatsen van extra pijlers. De overige pijlers worden geplaatst ter hoogte van de pijlers van de bestaande brug. Alle pijlers zouden uitgevoerd worden als buispalen. Hierbij zou de dubbele pijler ter plaatse van de basculebrug vervangen worden door een enkele pijler.

Met betrekking tot de hydraulica werd gevraagd de volgende consequenties te onderzoeken:

- Wijzigingen van stroomsnelheid en richting ten gevolge van de plaatsing van de nieuwe pijlers
- De invloed van een mogelijke wijziging van de stroomsnelheid en -richting op erosie en sedimentatie van schorren op de rechteroever van de Schelde te Temse.

### **2. Numeriek model**

Om de invloed van het bouwen van de nieuwe pijlers te onderzoeken is een 2D numeriek model gebouwd van de Schelde in de omgeving van Temse. Het numeriek model strekt zich uit juist opwaarts de monding van de Rupel tot afwaarts de monding van de Durme in de Schelde. Het numeriek model is een uitsnede uit het Nevla-2D-model voor de volledige Schelde.

Voor de calibratie van het model is het bestaande rooster verfijnd tot een resolutie van 15m x 15m ter plaatse van Temse. Dit rooster is voorgesteld in figuur B.1 bovenaan. Naar dit rooster zal in de tekst verwezen worden met de term "grof numeriek model". Omdat het de bedoeling is om in dit model zowel de nieuwe als de huidige brugpijlers in te bouwen, die een breedte hebben van 1.4 m tot 4 m, is het rooster van 15m x 15m verder verfijnd ter plaatse van de brug van Temse tot een resolutie bekomen is van 2.5 m bij 2.5 m. Dit rooster is voorgesteld in figuur B.1 onderaan. Naar dit rooster zal in de tekst verwezen worden met de term "fijn numeriek model". Deze verfijning is gerealiseerd door gebruik te maken van domein-decompositie. Hierbij is het numeriek model opgedeeld in 5 deeldomeinen waarbij het middelste deeldomein (deeldomein3, voorgesteld in rood in figuur B.1) een resolutie heeft van 2.5m x 2.5m. Deeldomeinen 2 (voorgesteld in zwart) en 4 (voorgesteld in groen) zijn 2 x vergroefd in de M-richting ten opzichte van deeldomein 3. Deeldomeinen 1 (voorgesteld in blauw) en 5 (voorgesteld in geel) zijn nog eens een factor 3 vergroefd in de M-richting. De celgrootte in N-richting van de verschillende deeldomeinen varieert gelijkmatig van 2.5m in deeldomein 3 tot 50 meter in deeldomeinen 1 en 5.

De bathymetrie van het numeriek model is samengesteld uit 3 reeksen lodingen:

- lodingen van mei 2002 tussen Temse en Rupelmonde
- lodingen van 2001 tussen Temse en de monding van de Durme
- multibeammetingen van 21/03/2005 in de omgeving van de brug van Temse

Figuur B.2 geeft een voorstelling van de bathymetrie van het numeriek model en een detailvoorstelling van de omgeving van de brug over de Schelde te Temse.

Om de invloed van de bijkomende pijlers op de stroming te onderzoeken zijn de bestaande en de nieuwe pijlers ingebouwd in het numeriek model. De pijlers zijn in het numeriek model ingevoerd als droge punten (roostercellen die continu droog blijven). De wijze waarop de huidige pijlers en de pijlers van de nieuwe brug in het numeriek model zijn ingebouwd is voorgesteld in figuur B.3. Dit maakt dat

de pijlers van de bestaande brug met een breedte van 4 meter benaderd worden door 2 roostercellen met totale breedte van 5 meter en dat de pijlers met een breedte van 3.5 meter benaderd worden door 1 roostercel met breedte 2.5 meter. De nieuwe pijlers worden allemaal benaderd door één roostercel van het numeriek model met breedte 2.5 meter.

### **3. Vergelijking numeriek model met meetgegevens**

Van 26 mei 2005 tot en met 25 juni 2005 zijn stroommetingen uitgevoerd in het midden van overspanning 1 ("Locatie Linkeroever") en overspanning 4 ("Locatie Midden"), op een constante diepte van -1 m TAW. Voor de vergelijking van de resultaten van het numeriek model met deze meetgegevens zijn 2D-simulaties uitgevoerd voor de periode van 1 juni 2005 tot en met 15 juni 2005. Deze vergelijking is voorgesteld in figuren B.4 tot en met B.11.

In figuur B.4 is de waterstand berekend met het numeriek model ter plaatse van de tijpost te Temse vergeleken met de gemeten waterstand. Uit de figuur volgt een onderschatting van de waterstand tussen 1 en 6 juni, gevolgd door een relatief goede overeenkomst voor 6 en 7 juni. Tussen 7 en 10 juni volgt een overschatting van de waterstand door het numeriek model gevolgd door een goede overeenkomst van de gemeten en berekende waterstand tussen 10 en 15 juni.

Figuren B.5 tot en met B.11 vergelijken voor meetlocatie Midden en meetlocatie Linkeroever de gemeten stroomsnelheid en stroomrichting met deze berekend met het numeriek model. Voor beide locaties is telkens een figuur gegeven van de volledige periode (01 tot en met 15 juni), gevolgd door een voorstelling voor de periode van 1 tot 7 juni en de periode van 7 tot 15 juni. Daarnaast is voor meetlocatie Midden een detailvoorstelling gegeven voor 6 en 7 juni (een gemiddeld springtij) en voor meetlocatie Linkeroever een detailvoorstelling voor 8 en 9 juni.

Uit de vergelijking van de gemeten en berekende stroomrichtingen volgt dat zowel voor meetlocatie Midden als voor meetlocatie Linkeroever de gemeten stroomrichting door het numeriek model goed benaderd wordt. Er is nog een verschuiving van 15 tot 30 minuten in de tijd merkbaar tussen de gemeten en berekende stroomrichting.

De stroomsnelheid berekend met het numeriek model is een dieptegemiddelde stroomsnelheid. Deze dieptegemiddelde stroomsnelheid is vervolgens omgerekend naar de snelheid op -1 m TAW, gebruik makend van de formules voor een logaritmisch snelheidsprofiel volgens Van Rijn. Deze snelheid is voorgesteld in figuren B.5 tot en met B.11. Uit deze figuren volgt dat zowel voor meetlocatie Linkeroever als voor meetlocatie Midden de stroomsnelheid berekend met het numeriek model een onderschatting is van de stroomsnelheid gemeten tijdens de meetcampagne. Ook hier is dezelfde verschuiving in de tijd merkbaar als bij de vergelijking van de stroomrichting.

### **4. Vergelijking stroming in de huidige toestand met stroming na inbouwen van de nieuwe pijlers.**

Voor de vergelijking van het stroompatroon in de huidige toestand met het stroompatroon na het bouwen van de nieuwe brug, zijn zowel de pijlers van de huidige brug als de pijlers van de nieuwe brug ingebouwd in het numeriek model (deze zijn voorgesteld in figuur B.3).

Om de invloed van de nieuwe brugpijlers te onderzoeken zijn met het fijn 2D-numeriek model met resolutie 2.5m x 2.5m ter plaatse van Temse 2 simulaties uitgevoerd (één simulatie voor de huidige toestand en één simulatie na het inbouwen van de pijlers van de nieuwe brug). Deze simulaties zijn uitgevoerd voor de periode van 06 juni 2005 12:00:00 tot en met 07 juni 2005 08:00:00. Het stroompatroon voor beide simulaties is vergeleken voor de periode van 06 juni 16:00 tot en met 07 juni 08:00. Deze periode betreft 1 tijkromme van hoogwater tot het daaropvolgende hoogwater.

De vergelijking is op de volgende wijzen voorgesteld:

- Vectoriële voorstelling van beide stroompatronen
- Het verschil in snelheid tussen de stroming met nieuwe brug en de stroming in de huidige toestand.
- Het verschil in richting tussen de stroming met nieuwe brug en de stroming in de huidige toestand.

Voor elk van deze 3 voorstellingswijzen is in figuren B.12 tot en met B.23 de vergelijking gemaakt voor 2 uur tijdens maximum eb en maximum vloed. Bij de figuren die het verschil tussen de toestand met de nieuwe pijlers en de huidige toestand weergeven, moet opgemerkt worden dat voor de berekening van het verschil de grootte in de huidige toestand is afgetrokken van de grootte in de nieuwe toestand. Dit heeft tot gevolg dat een negatieve waarde voor een verschil in snelheid, respectievelijk een verschil in richting aanduidt dat de snelheid, respectievelijk de richting in de nieuwe toestand lager is dan in de huidige toestand.

Uit de vergelijking van het stroompatroon in de huidige toestand met het stroompatroon na het inbouwen van de bijkomende pijlers volgt dat, uitgezonderd van lokale effecten ter plaatse van de nieuwe pijlers, geen invloed op de stroomrichting merkbaar is. De stroomrichting ter plaatse van de brug van Temse na het inbouwen van de nieuwe pijlers is dezelfde als de stroomrichting in de huidige toestand.

Wat de stroomsnelheid betreft volgt uit de figuren dat de bijkomende pijlers aanleiding geven tot een verlaging van de stroomsnelheid in de aanstromende richting van de brug. De verlaging van de snelheid treedt dus afwaarts de brug op bij vloed en opwaarts de brug bij eb. Deze invloed is het grootst bij de nieuwe pijler in het midden van doorvaartopening 3. Hierdoor ontstaan snelheidsverschillen tussen het noordelijk deel van de doorvaartopening, het middendeel en het zuidelijk deel van de doorvaartopening. In figuur B.24 is een voorstelling gegeven van de snelheid in het midden, het noordelijk en het zuidelijk deel van deze doorvaartopening (in de toestand na inbouwen van de nieuwe pijlers). Uit de figuur volgt dat het bouwen van de pijler in het midden van doorvaartopening 3 aanleiding geeft tot 0.1 tot 0.2 m/s lagere snelheid in het midden van de doorvaartopening ten opzichte van de snelheid in het noordelijk en het zuidelijk deel van de doorvaartopening. Hierbij moet opgemerkt worden dat het numeriek model een 2D-model is en dat in deze figuur de gemiddelde snelheid over de volledige diepte is voorgesteld.

Uit figuur B.14 en B.15 volgt ook een lagere snelheid tussen de nieuwe pijler ter plaatse van de huidige dubbele pijler en de nieuwe pijler in het midden van doorvaartopening 3. In het zuidelijk deel van doorvaartopening 3 echter treedt een stijging van de snelheid op die groter is dan in de stijging in de andere openingen.

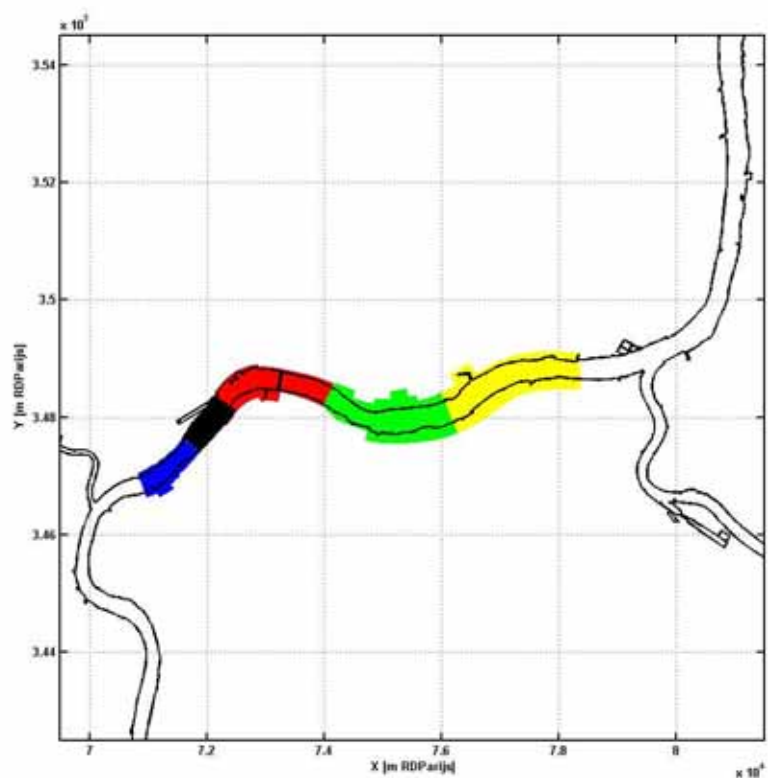
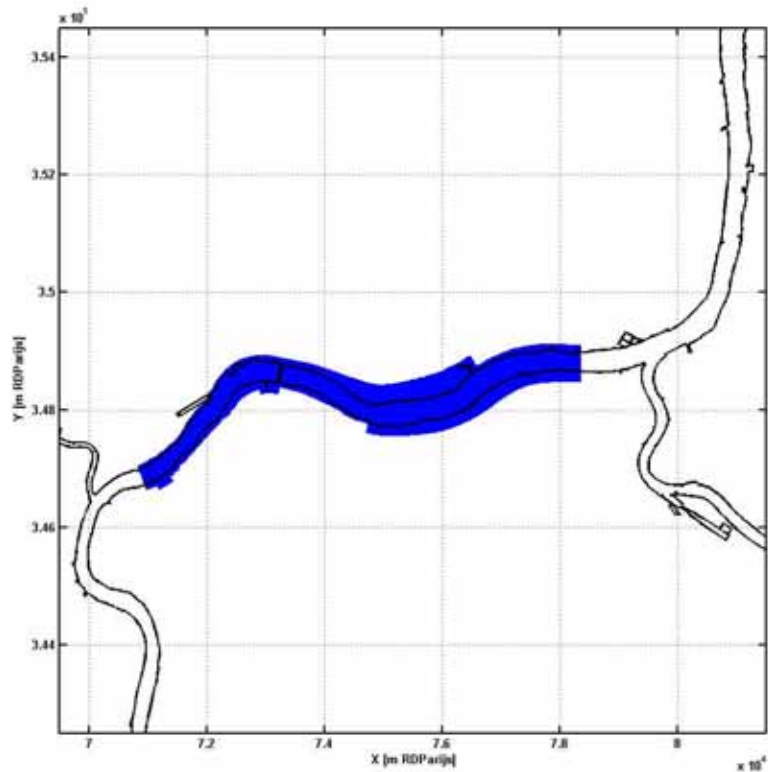
Deze snelheidsverschillen tussen het noordelijk deel, het midden en het zuidelijk deel van doorvaartopening 3 kan nadelig zijn voor de scheepvaart. .

## **5. Conclusie**

Bij het ontwerp van een nieuwe brug te Temse voorziet men de overspanningen 1, 3, 4, 5 en 6 van de nieuwe brug te halveren door het plaatsen van extra pijlers in het midden van de huidige overspanningen. Om de invloed van deze bijkomende pijlers te onderzoeken is een numeriek model gebouwd van de Schelde in de omgeving van Temse, dat zich uitstrekt juist opwaarts de monding van de Rupel tot afwaarts de monding van de Durme.

Uit een vergelijking van waterstand, stroomsnelheid en -richting berekend met het numeriek model met de meetgegevens volgt een relatief goede overeenkomst tussen numeriek model en meetgegevens voor waterstand en stroomrichting. De gemeten stroomsnelheid wordt echter onderschat door het numeriek model.

Om de invloed van de bijkomende pijlers op het stroompatroon te onderzoeken, zijn deze pijlers ingebouwd in het verfijnde numeriek model met een resolutie van 2.5m x 2.5m in de omgeving van de brug van Temse. Vergelijking van het stroompatroon na inbouwen van de nieuwe pijlers met het stroompatroon in de huidige situatie leert dat bijna geen invloed merkbaar is op de stroomrichting. Er is ook geen wijziging van de stroomsnelheid of -stroomrichting die zorgen voor significante morfologische veranderingen de naburige slikken en schorren. Onder invloed van de bijkomende pijler in doorvaartopening 3 ontstaan snelheidsverschillen tussen het noordelijk deel, het middendeel en het zuidelijk deel van de doorvaartopening, dewelke nadelig zouden kunnen zijn voor de scheepvaart.



Boven: numeriek model - volledig domein  
 Beneden: numeriek model - opbouw DD-rooster

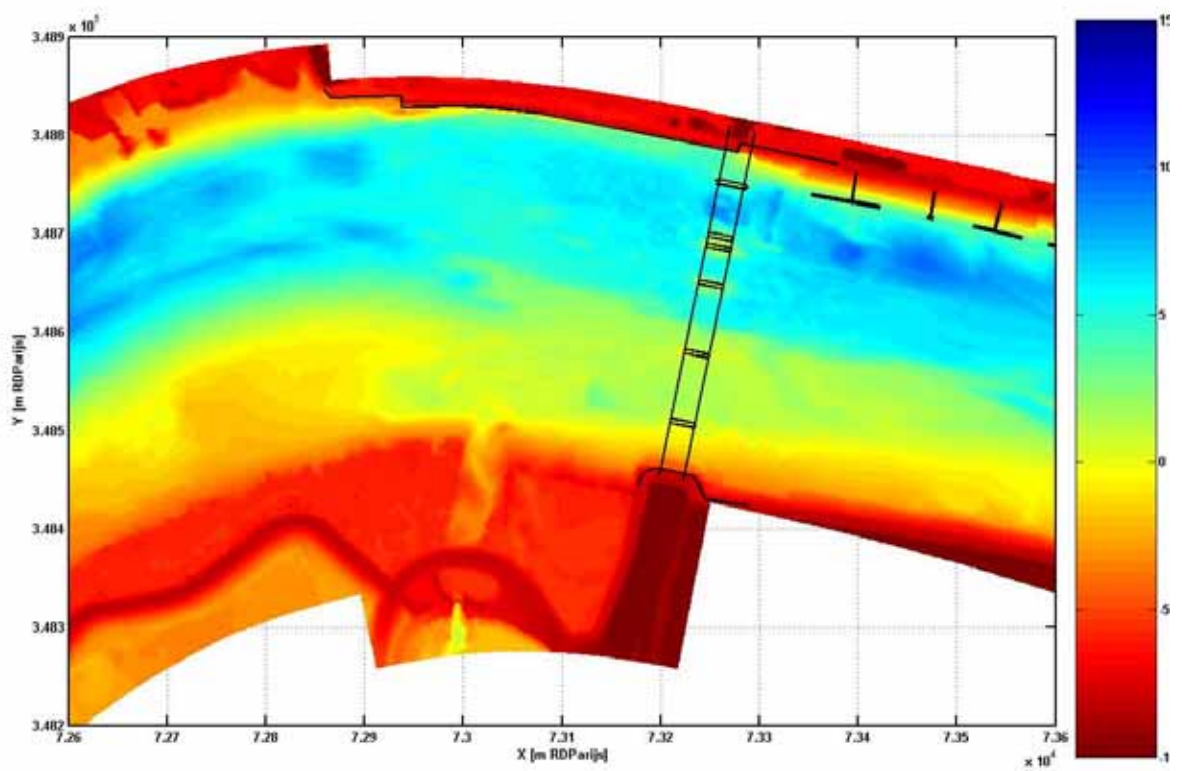
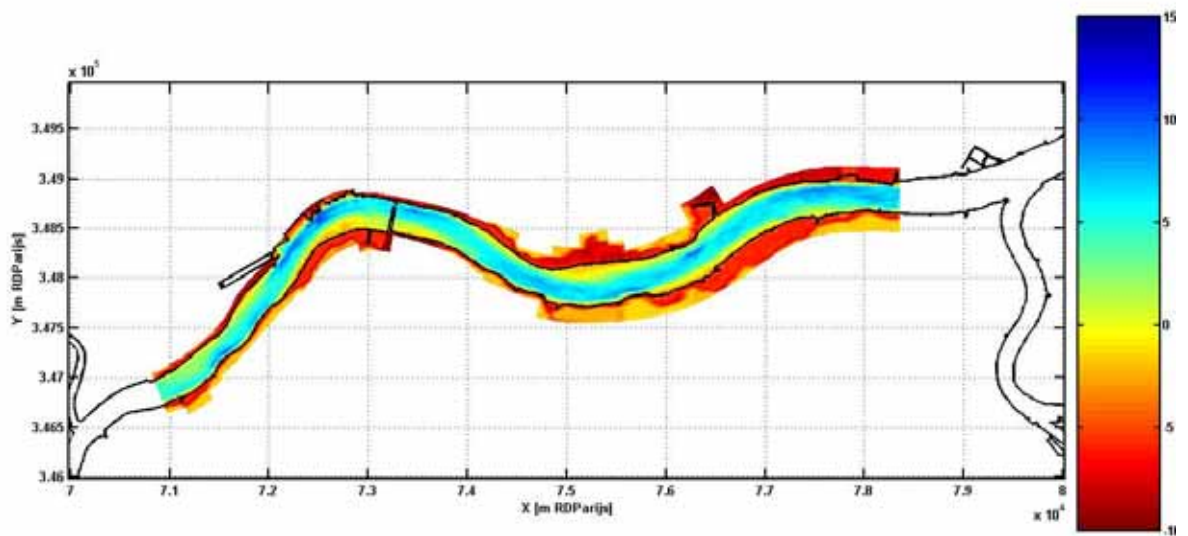
WL 2005.0224



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
 EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
 Borgerhout - Antwerpen

**MOD 785**

Bijlage B  
 Figuur 1



Boven: Bathymetrie volledig model  
 Beneden: Bathymetrie - detail ter plaatse van Temse

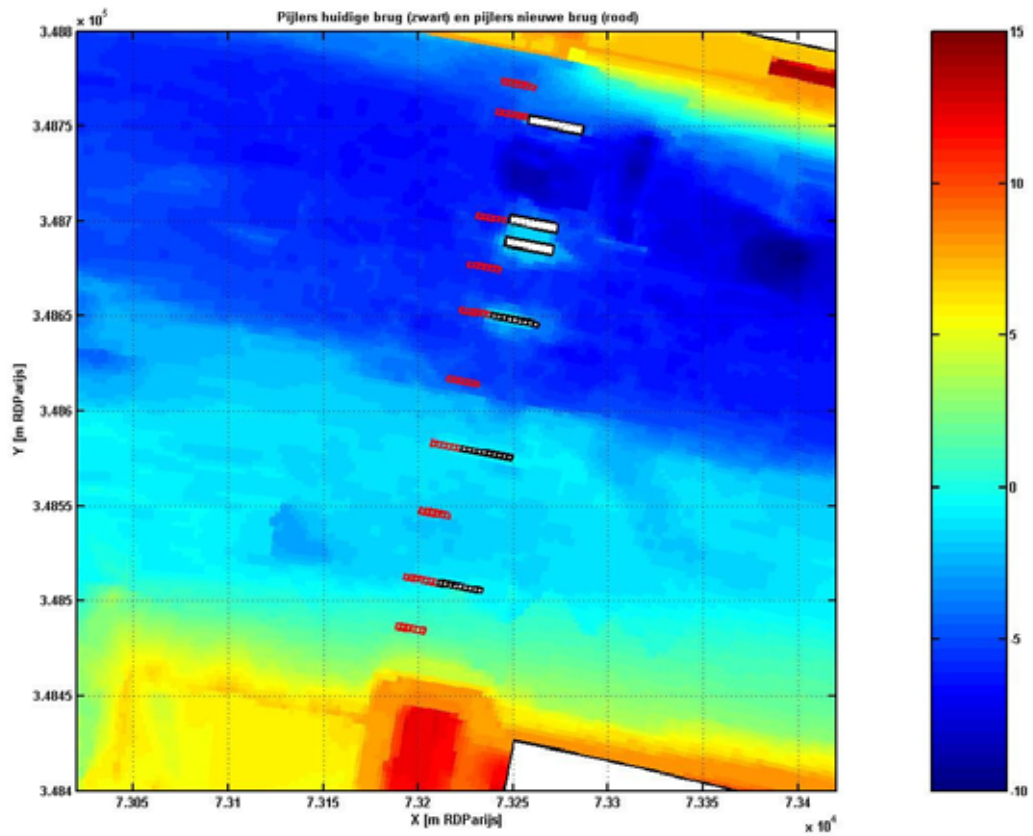
WL 2005.0225



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
 EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
 Borgerhout - Antwerpen

**MOD 785**

Bijlage B  
 Figuur 2



Brugpijlers in het numeriek model.  
Huidige toestand (zwart) en nieuwe brug (rood)

WL 2005.0226

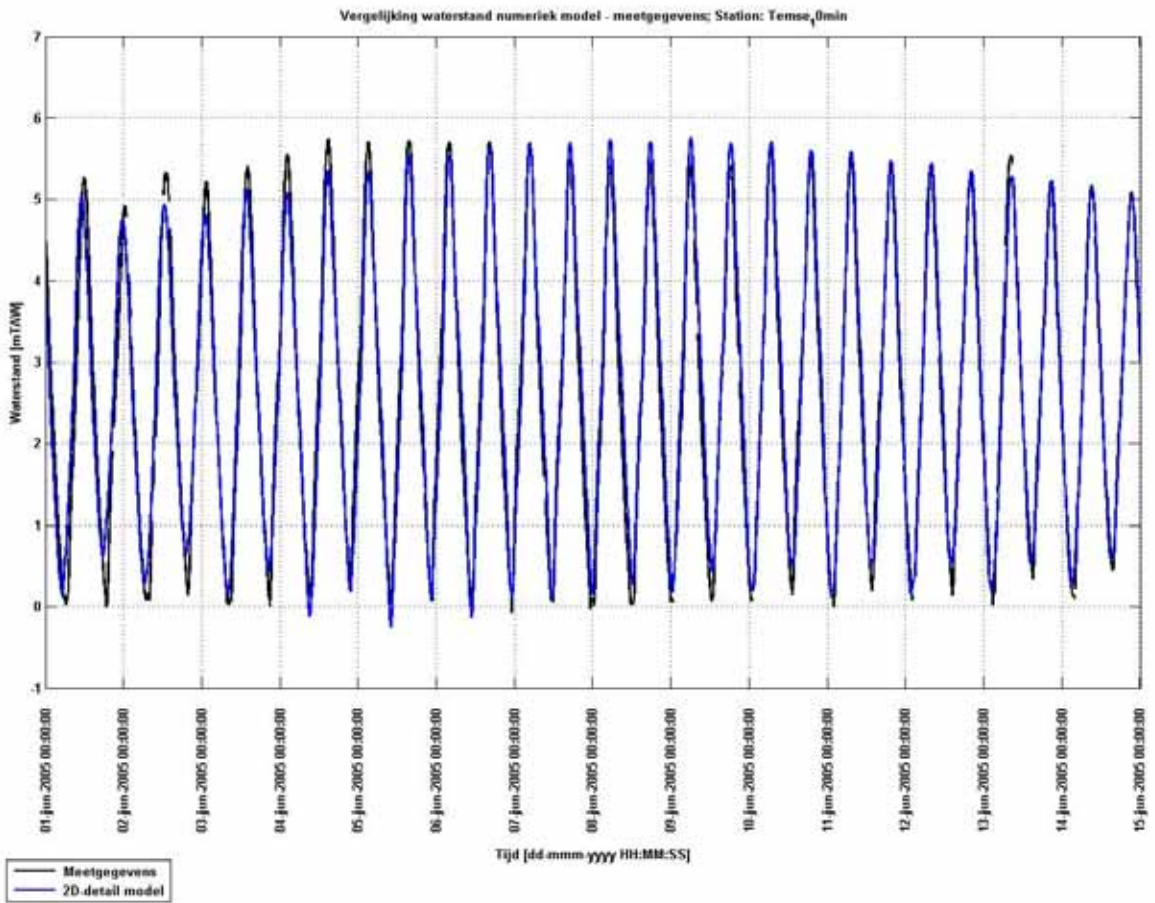


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**MOD 785**

Bijlage B  
Figuur 3





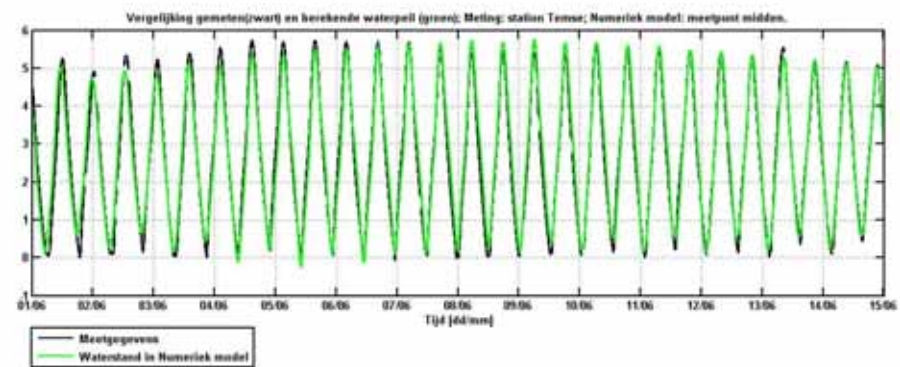
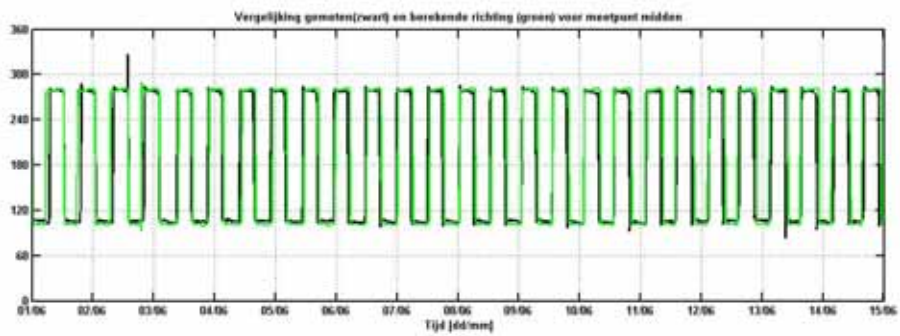
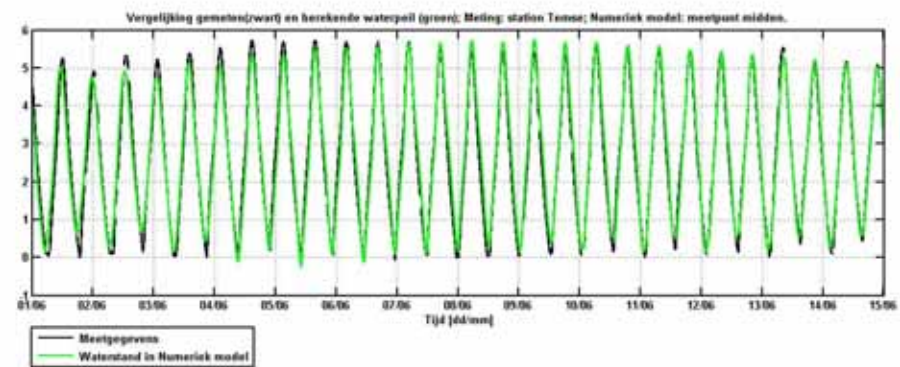
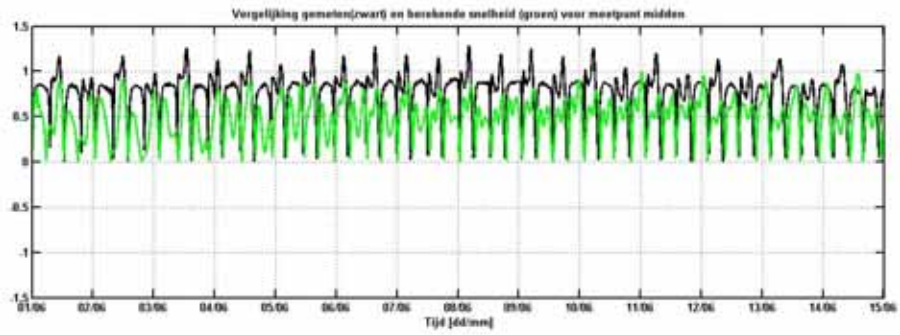
Vergelijking waterstand numeriek model met meetgegevens



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
 EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
 Borgerhout - Antwerpen

**MOD 785**

Bijlage B  
 Figuur 4



Vergelijking numeriek model meetcampagne 26/05/05 t.e.m 25/06/05. Meetpunt midden

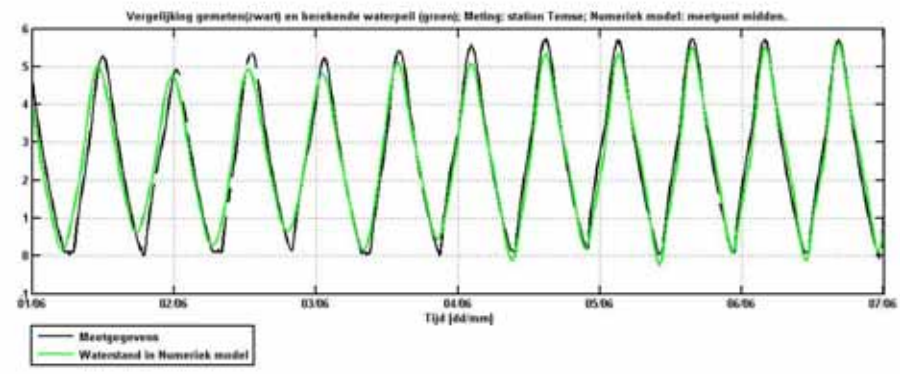
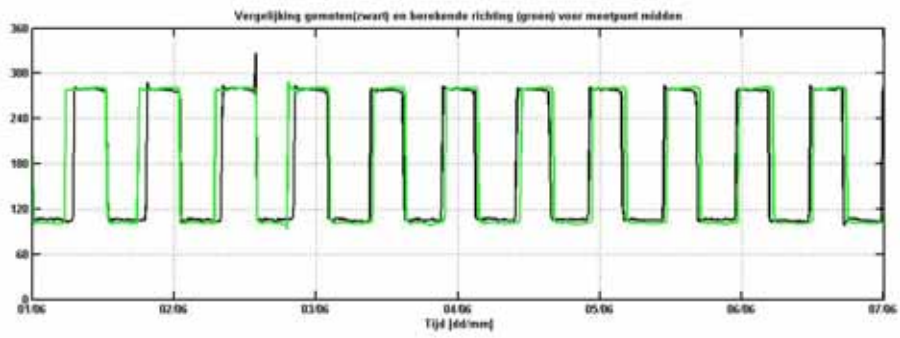
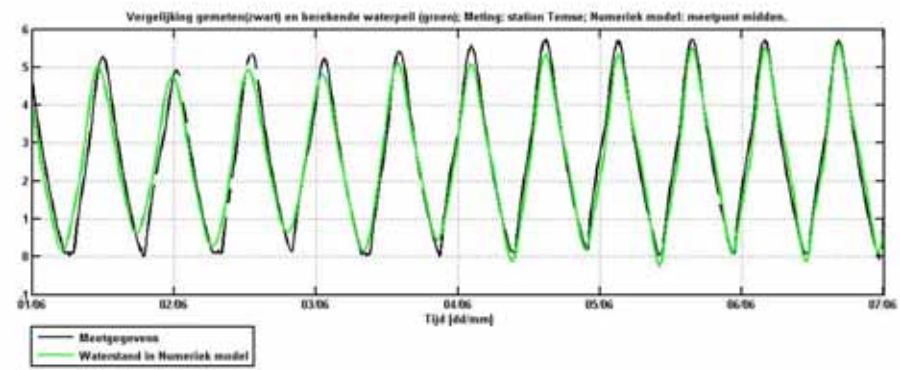
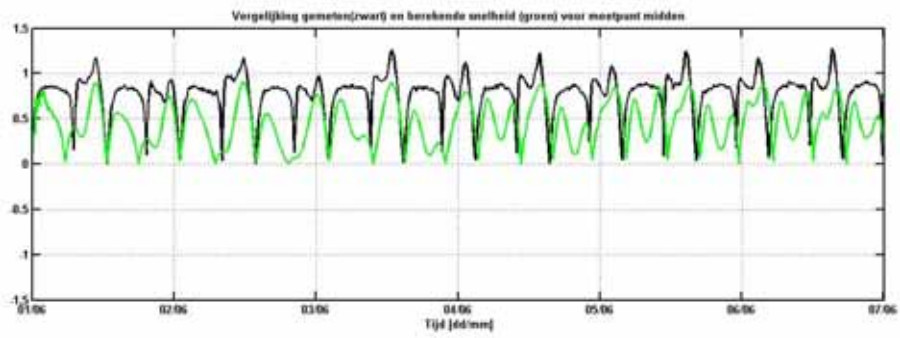
WL 2005.0228



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**MOD 785**

Bijlage B  
Figuur 5



Vergelijking numeriek model meetcampagne 26/05/05 t.e.m 25/06/05. Meetpunt midden

WL 2005.0229

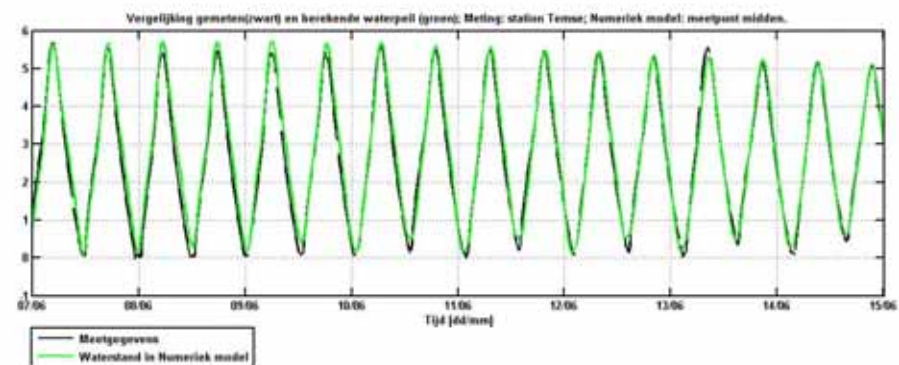
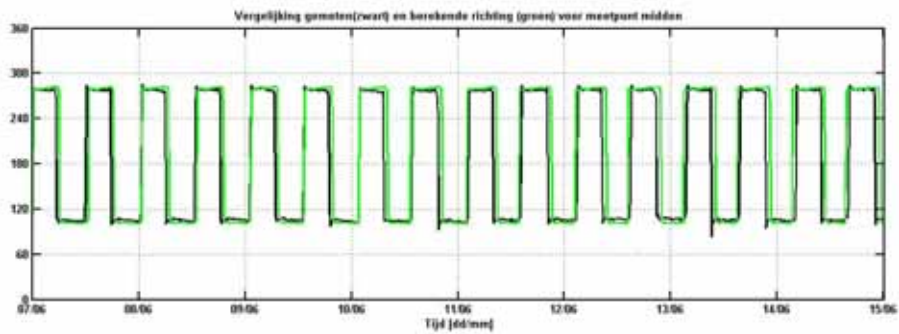
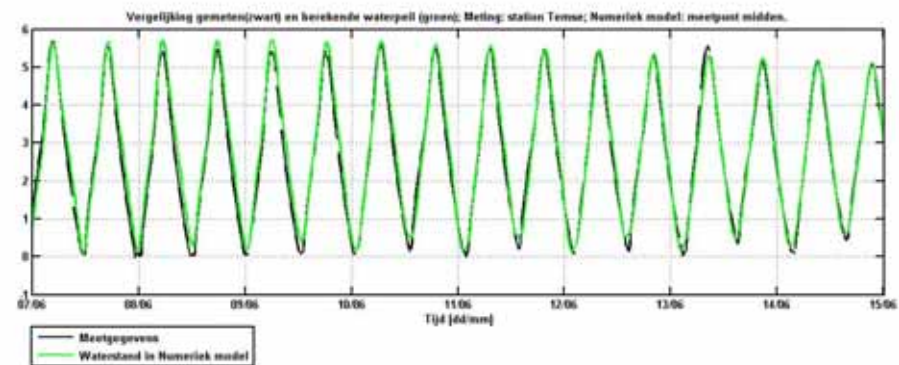
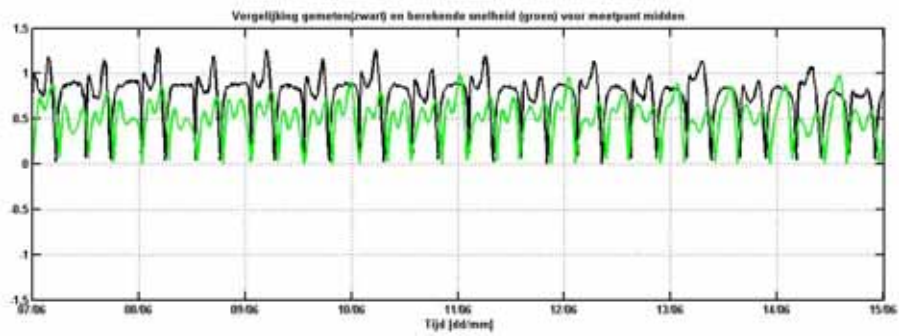


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**MOD 785**

Bijlage B  
Figuur 6





Vergelijking numeriek model meetcampagne 26/05/05 t.e.m 25/06/05. Meetpunt midden

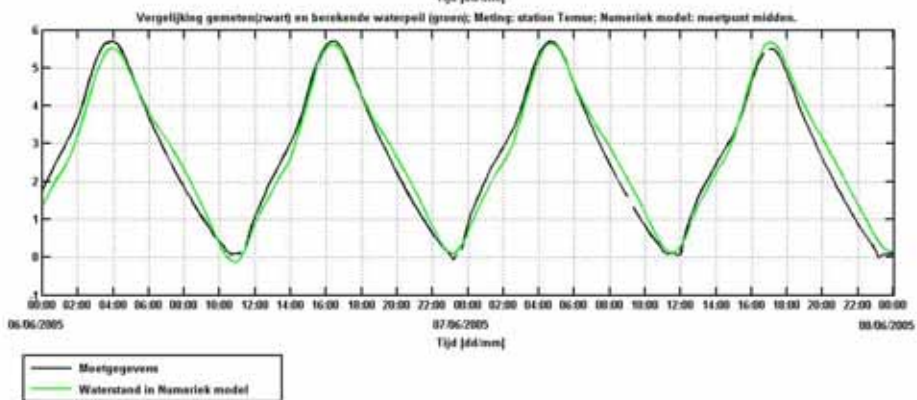
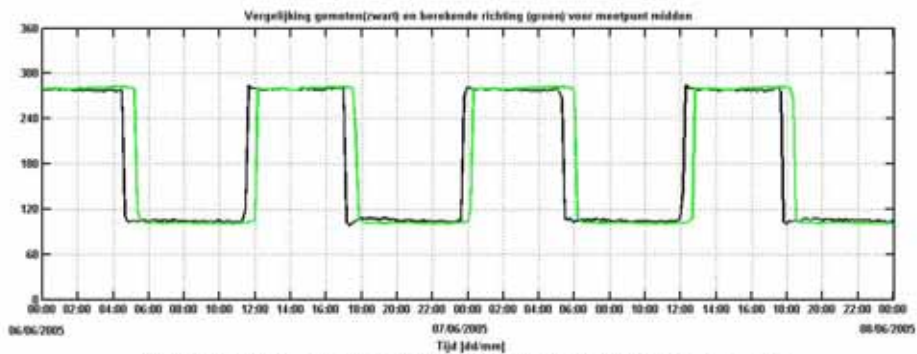
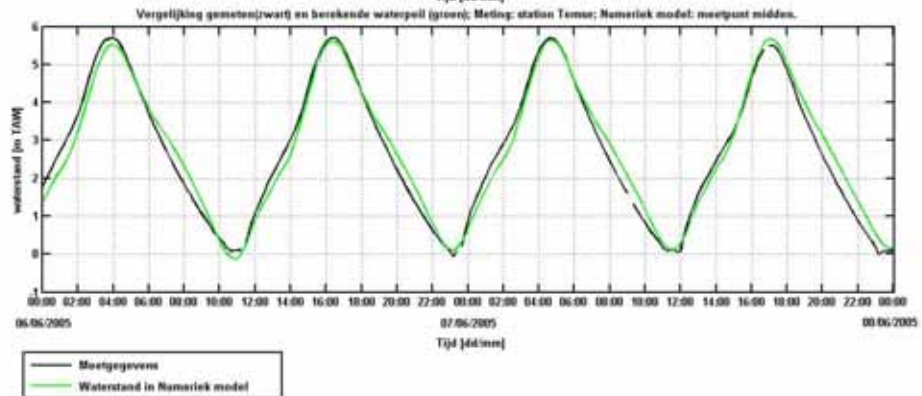
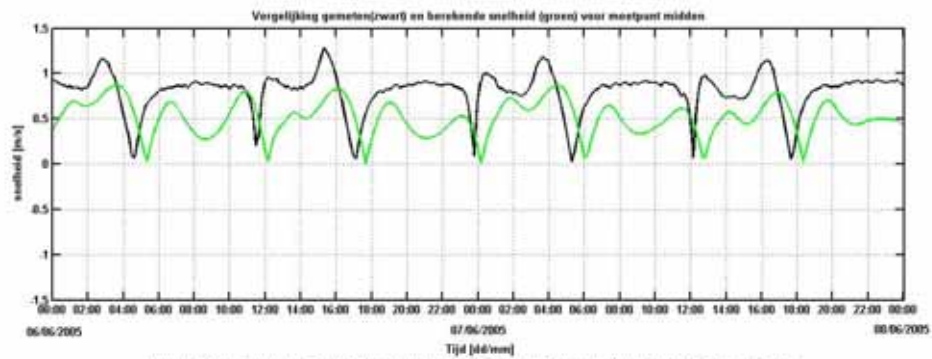
WL 2005.0230



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**MOD 785**

Bijlage B  
Figuur 7



Vergelijking numeriek model meetcampagne 26/05/05 t.e.m 25/06/05. Meetpunt midden

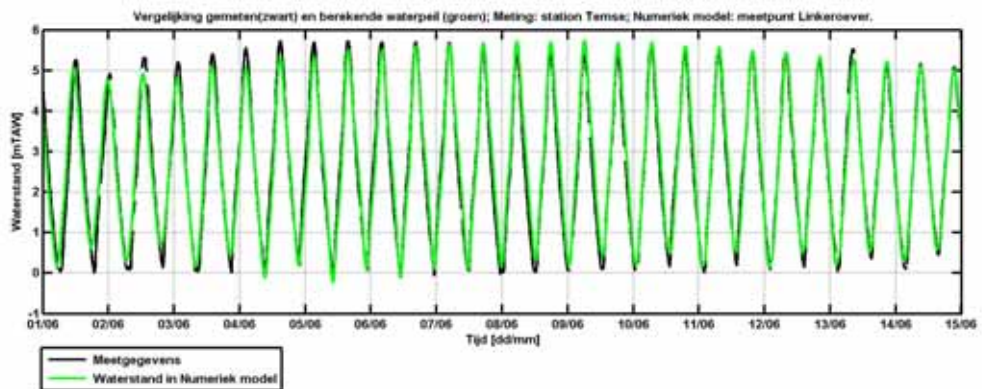
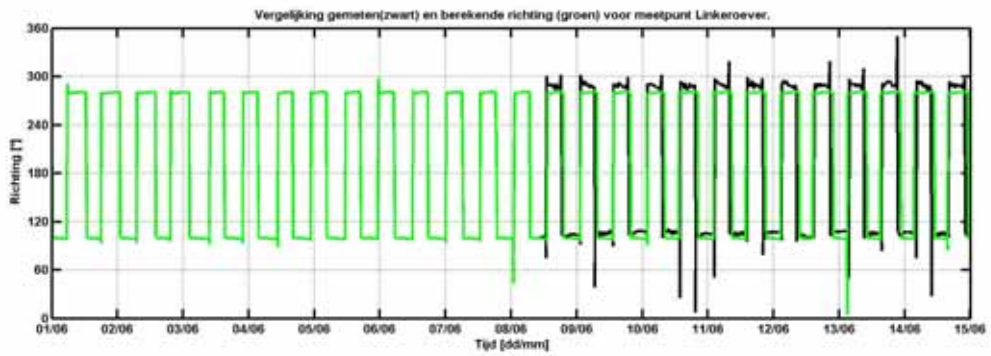
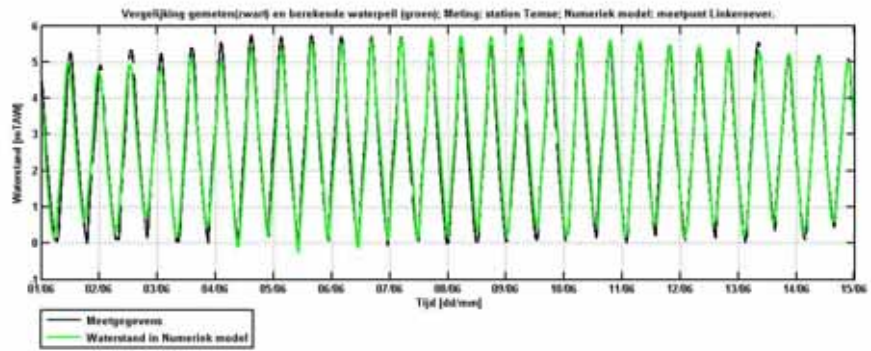
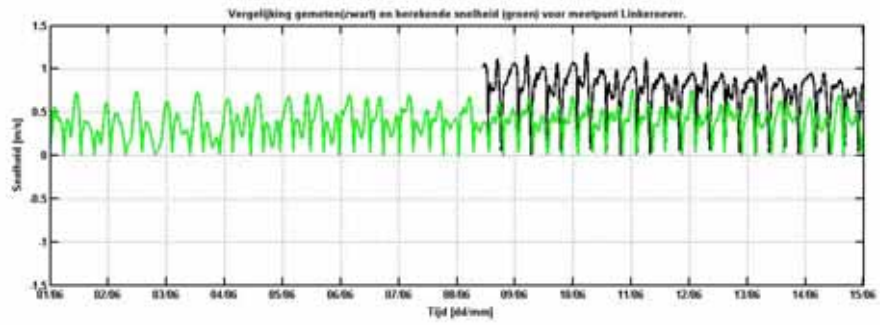
WL 2005.0231



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**MOD 785**

Bijlage B  
Figuur 8



Vergelijking numeriek model meetcampagne 26/05/05 t.e.m 25/06/05. Locatie Linkeroever

WL 2005.0232

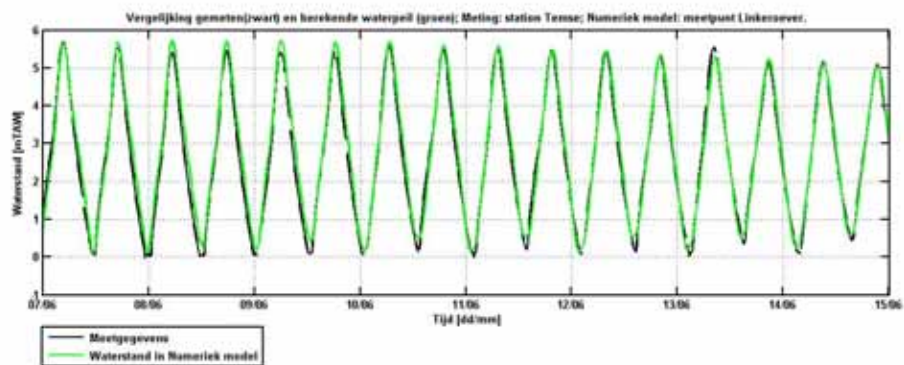
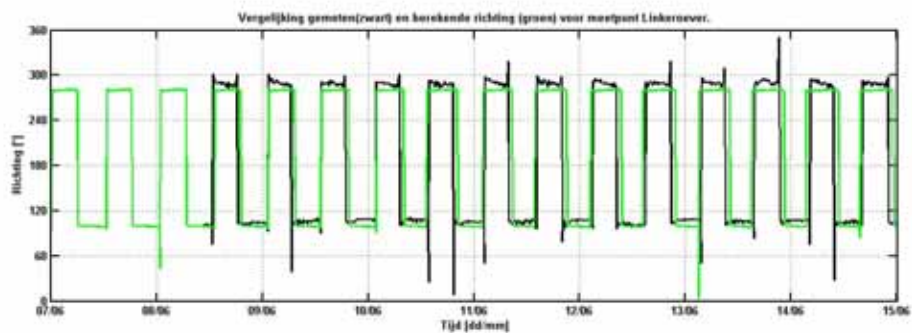
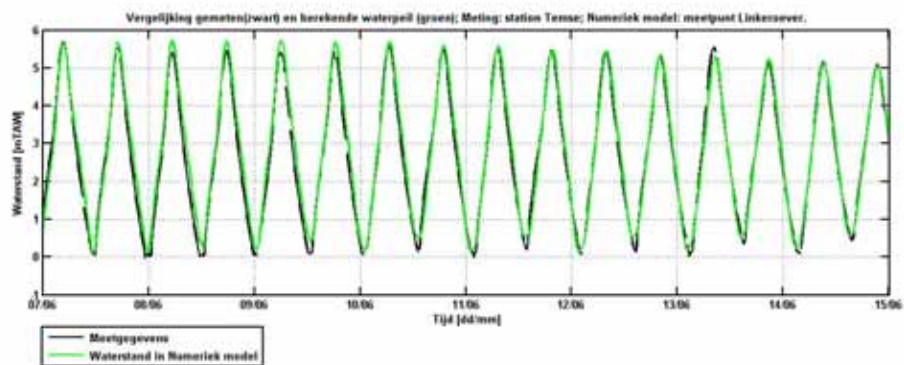
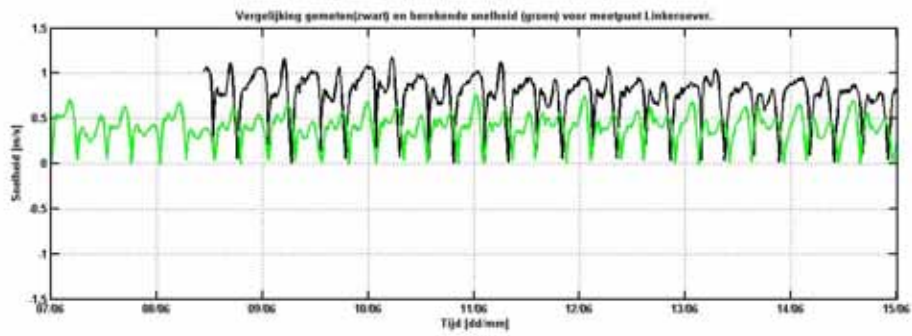


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**MOD 785**

Bijlage B  
Figuur 9





Vergelijking numeriek model meetcampagne 26/05/05 t.e.m 25/06/05. Locatie Linkeroever.

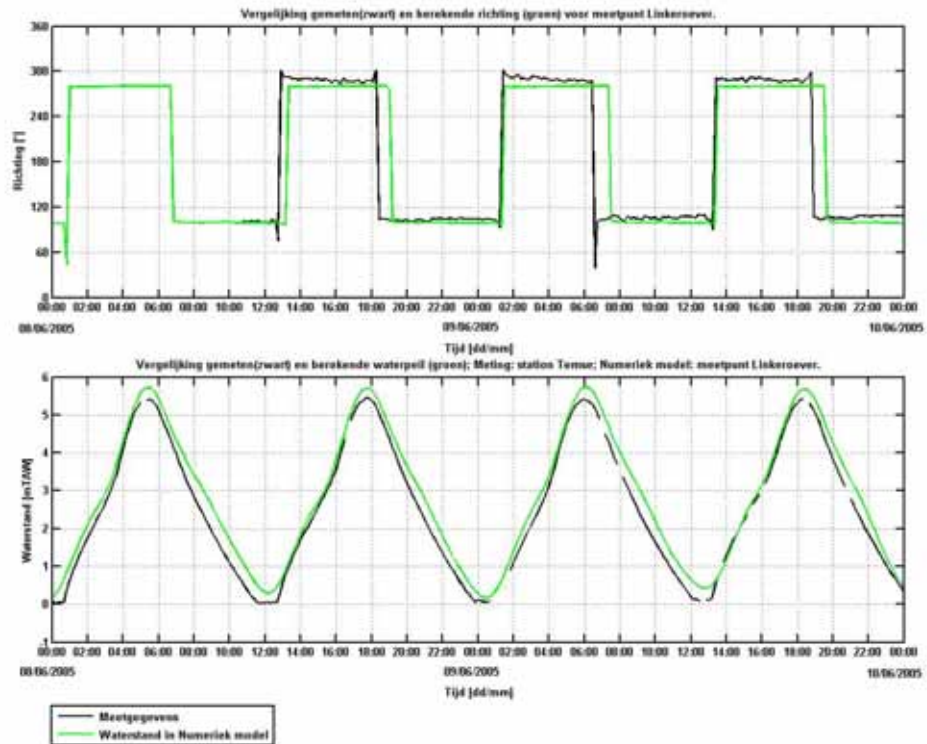
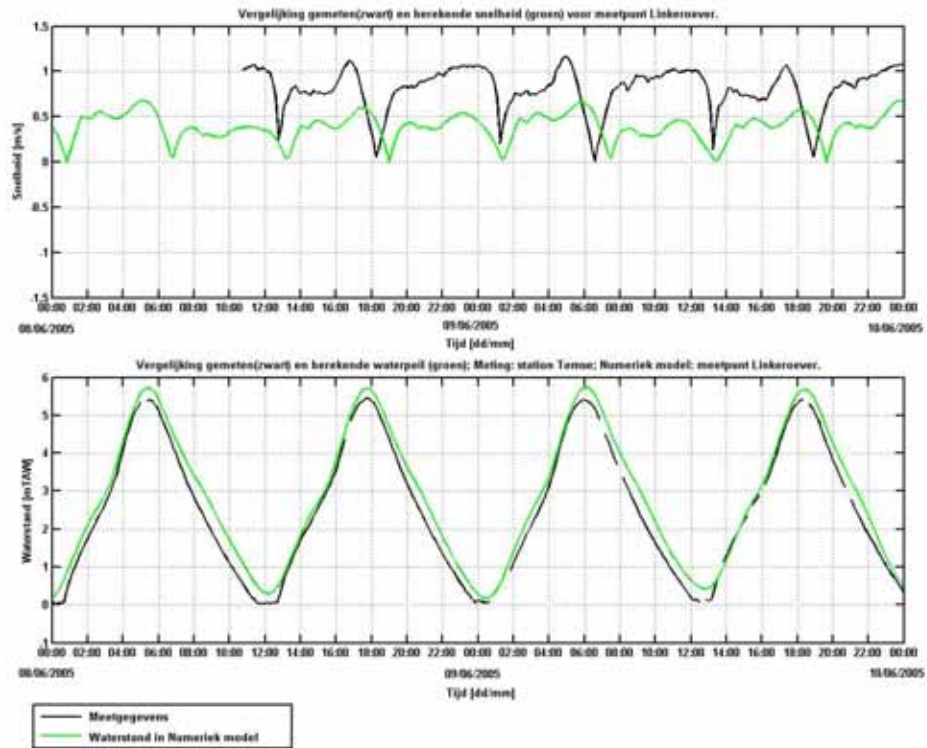
WL 2005.0233



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**MOD 785**

Bijlage B  
Figuur 10



Vergelijking numeriek model meetcampagne 26/05/05 t.e.m 25/06/05. Locatie Linkeroever.

WL 2005.0234

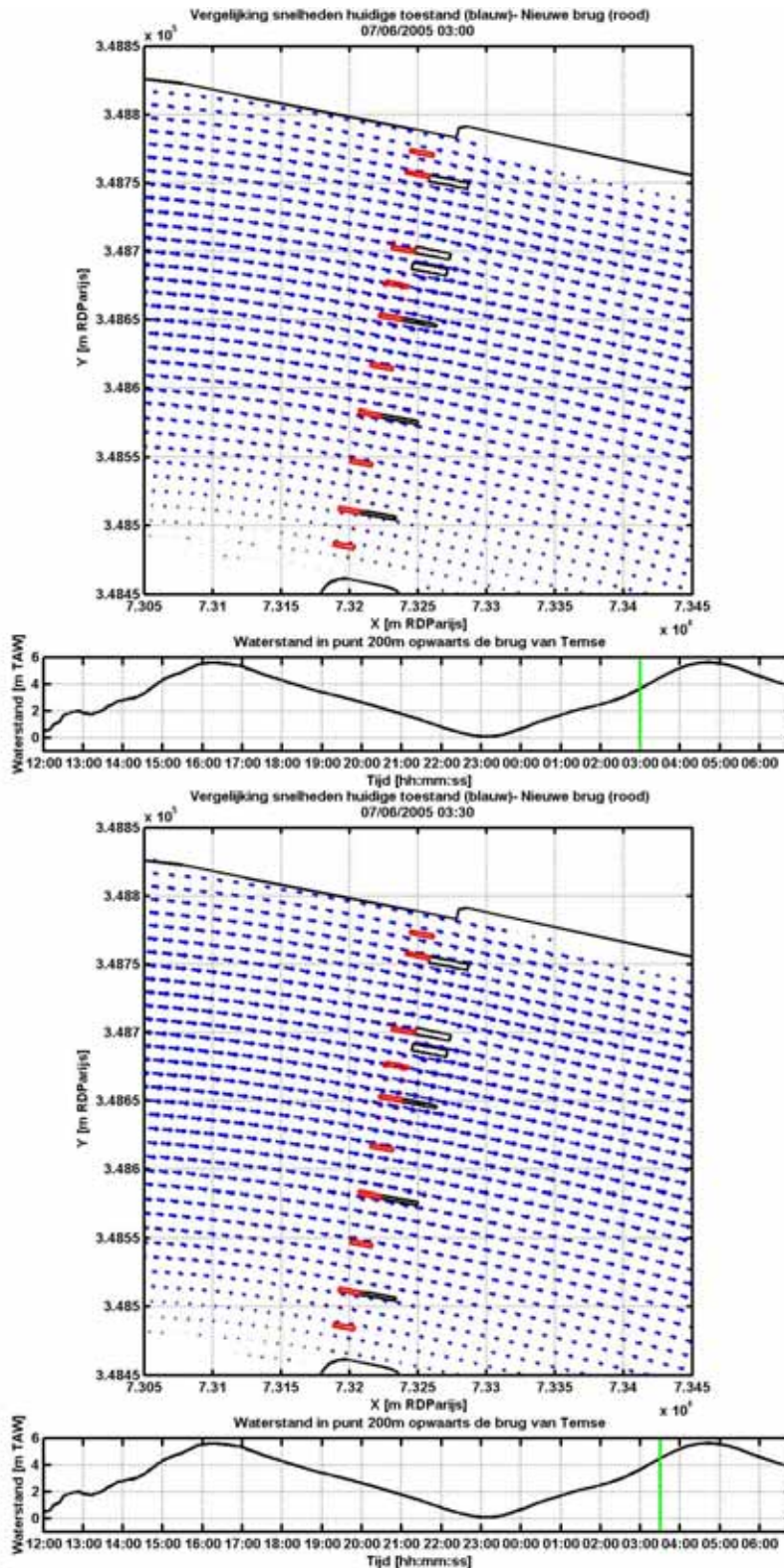


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

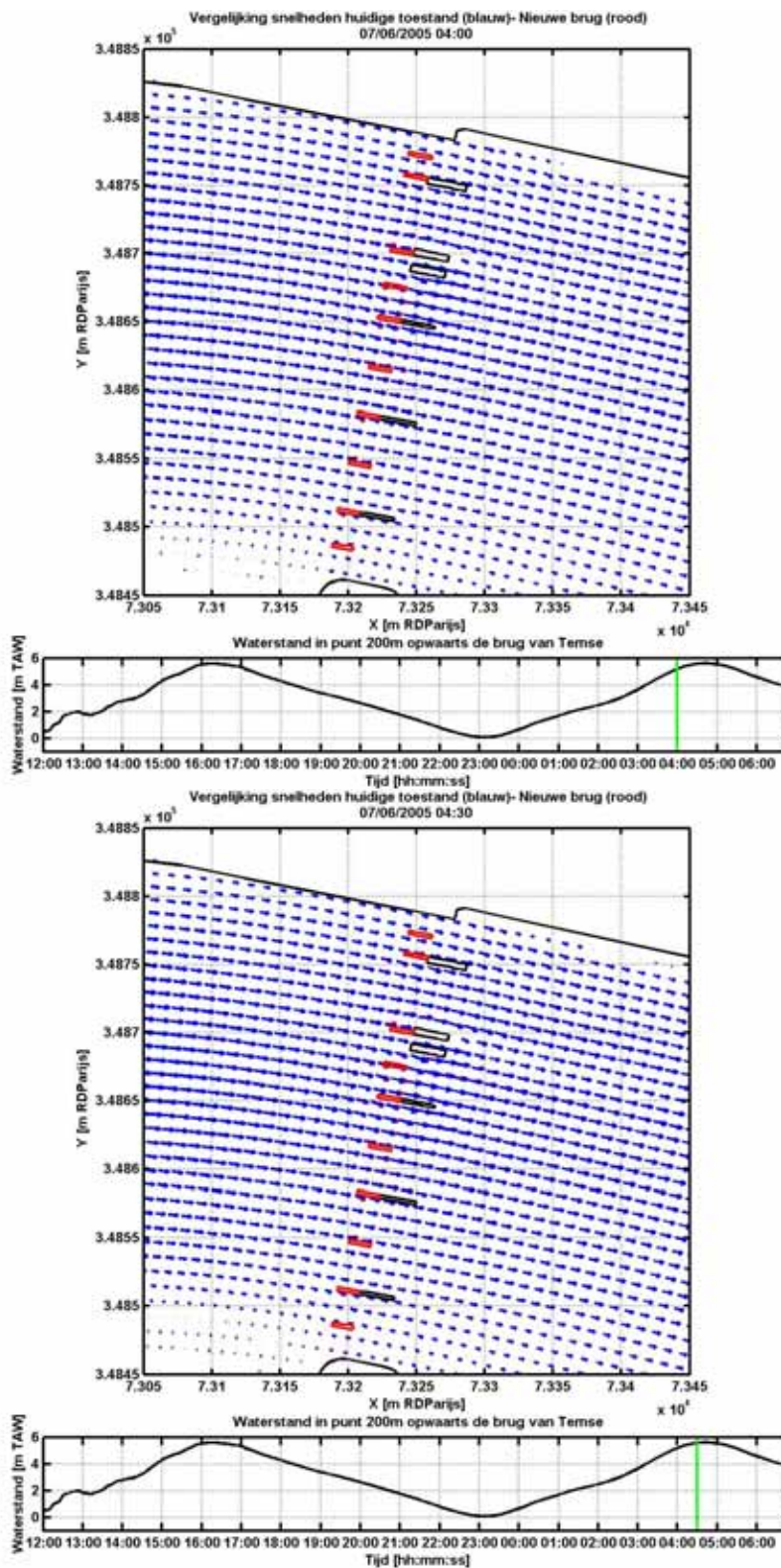
**MOD 785**

Bijlage B  
Figuur 11

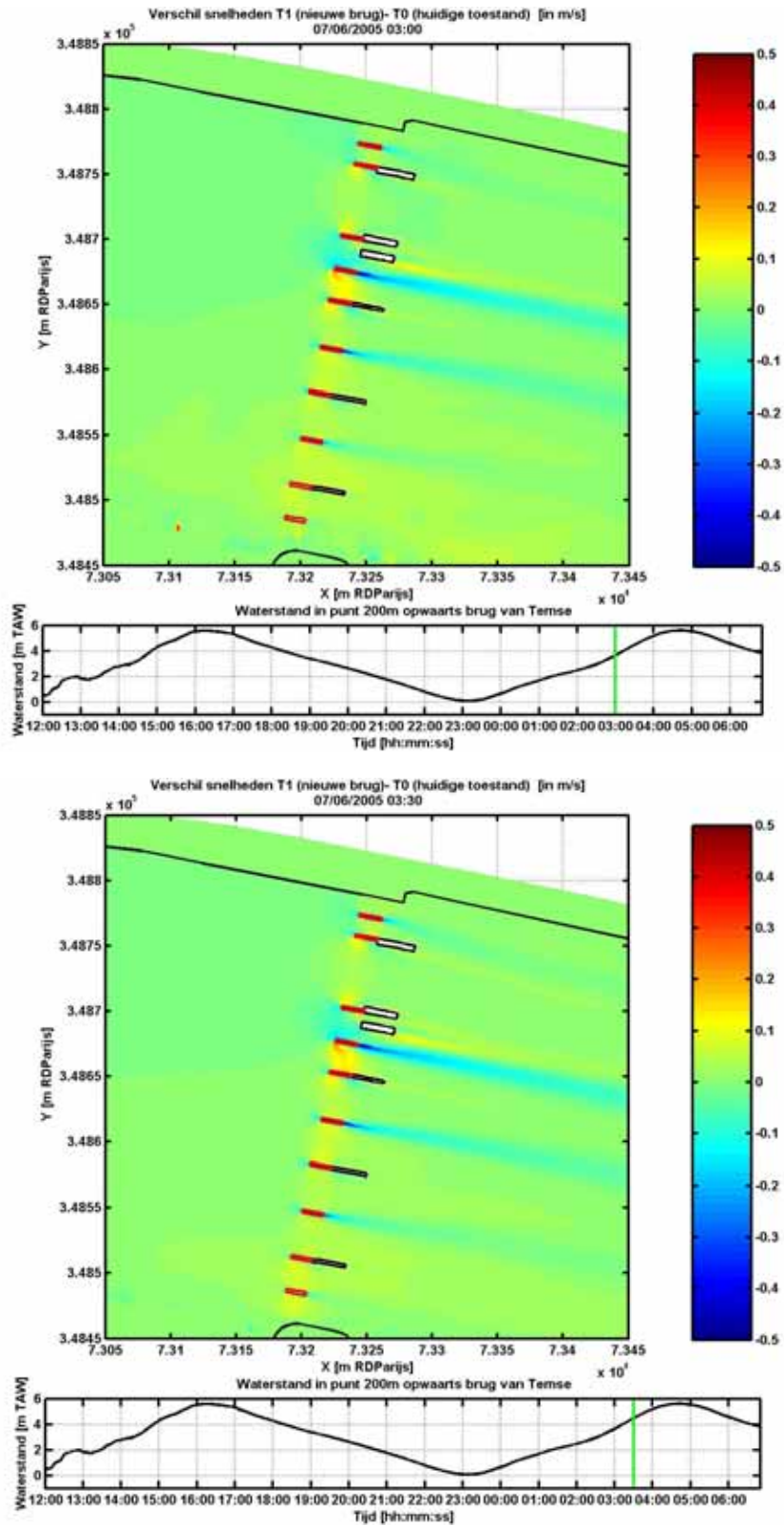




Vergelijking stroompatroon in toestand T1(nieuwe brug, blauwe vectoren) met het stroompatroon in de huidige toestand (rode vectoren) bij maximum vloed.



Vergelijking stroompatroon in toestand T1(nieuwe brug, blauwe vectoren) met het stroompatroon in de huidige toestand (rode vectoren) bij maximum vloed.



Vershil stroomsnelheid toestand T1(nieuwe brug) met huidige toestand bij maximum vloed.

WL 2005.0237

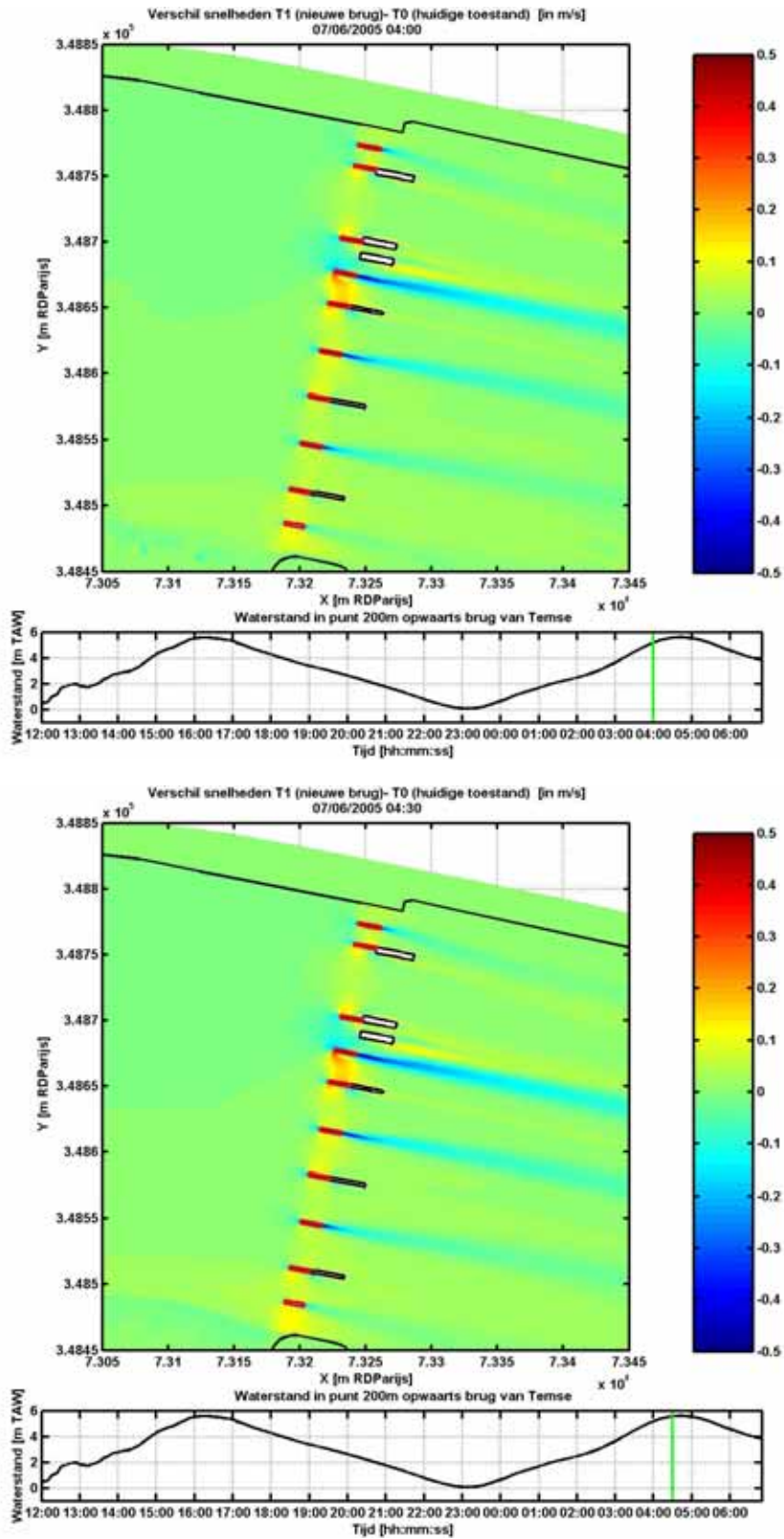


**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**M785**

Bijlage B  
Figuur 14





Verschil in stroomsnelheid tussen toestand T1(nieuwe brug) en de huidige toestand bij maximum vloed.

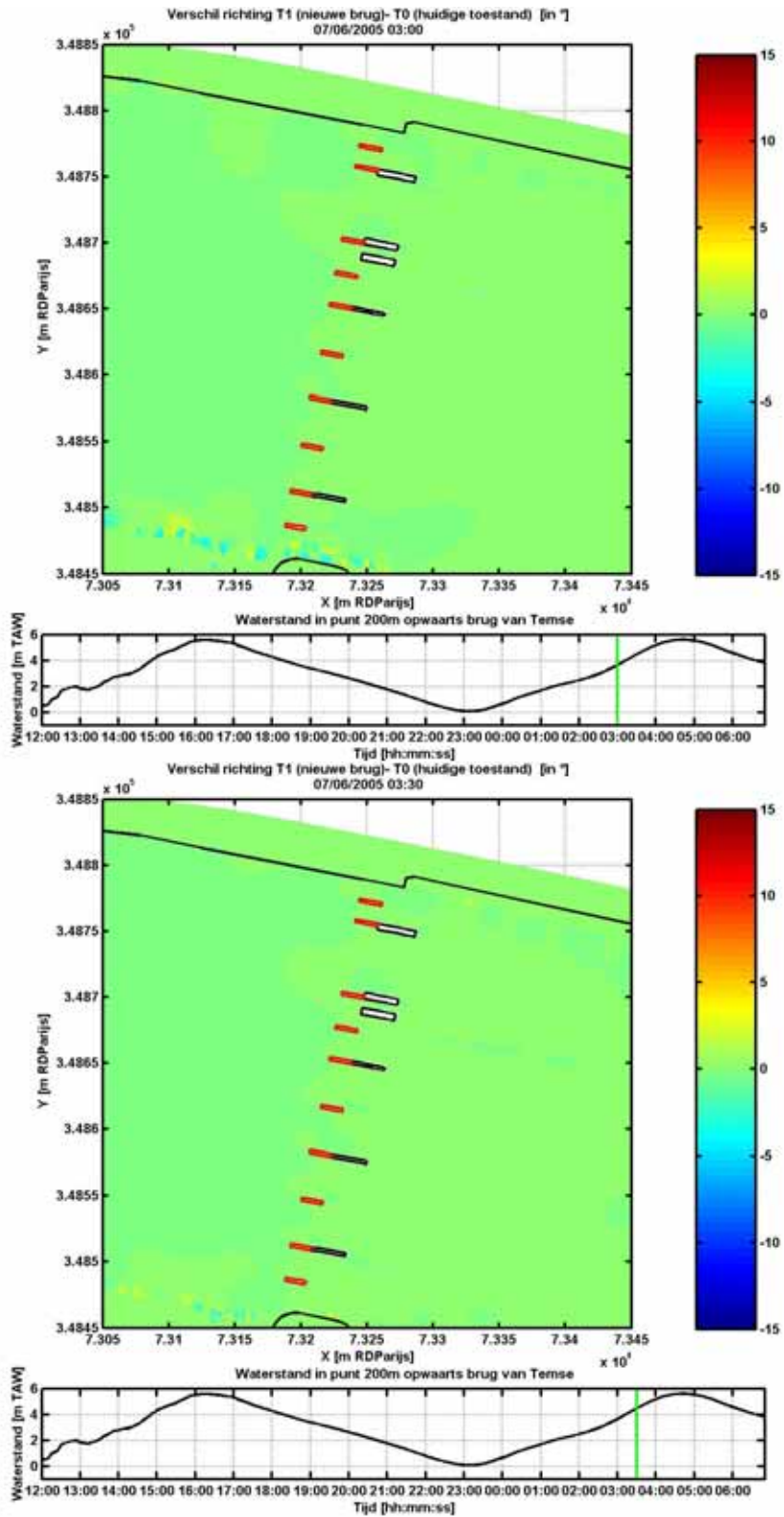
WL 2005.0238



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**M785**

Bijlage B  
Figuur 15



Verschil in stroomrichting tussen toestand T1(nieuwe brug) en de huidige toestand bij maximum vloed.

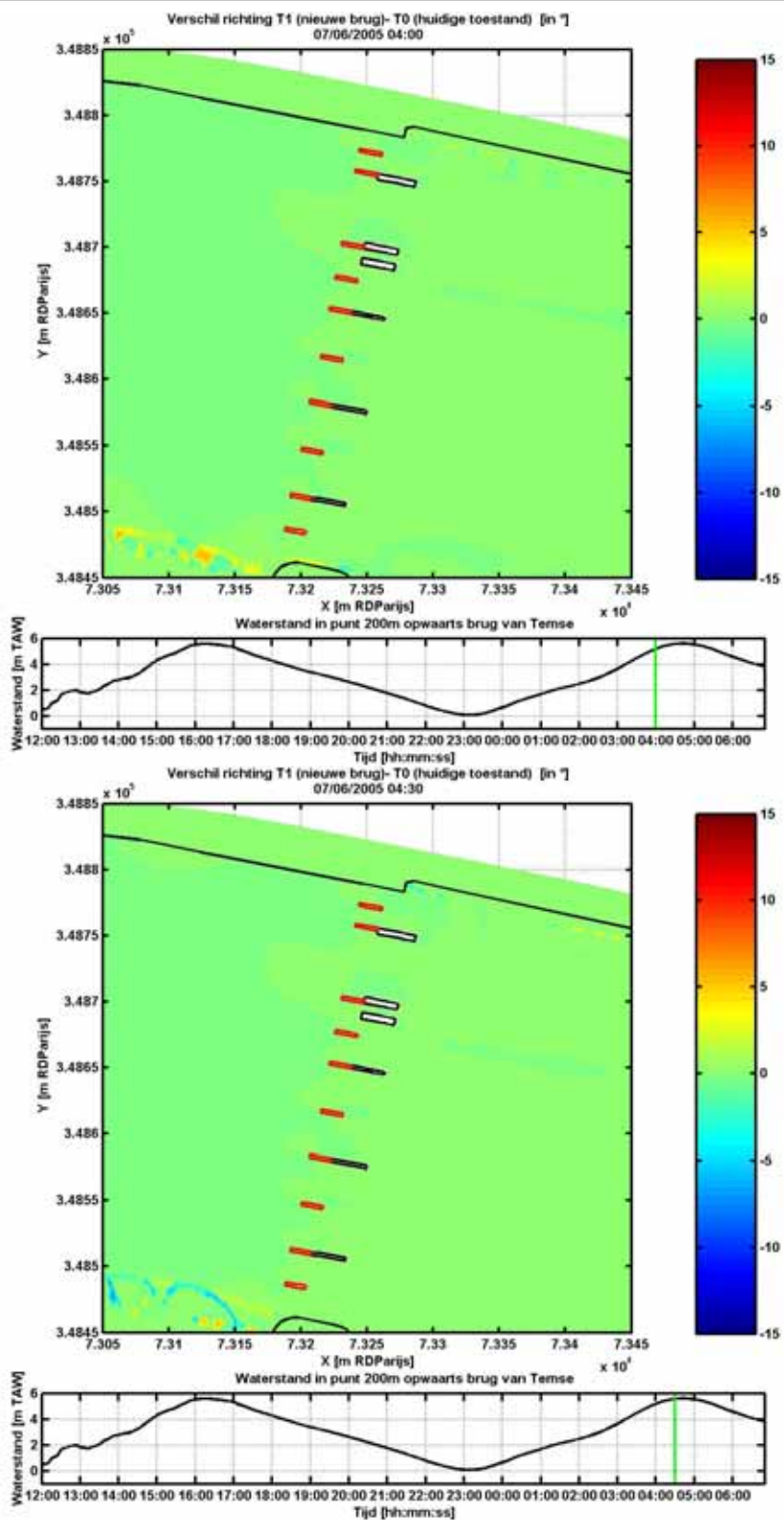
WL 2005.0239



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**M785**

Bijlage B  
Figuur 16



Verschil in stroomrichting tussen toestand T1(nieuwe brug) en de huidige toestand bij maximum vloed.

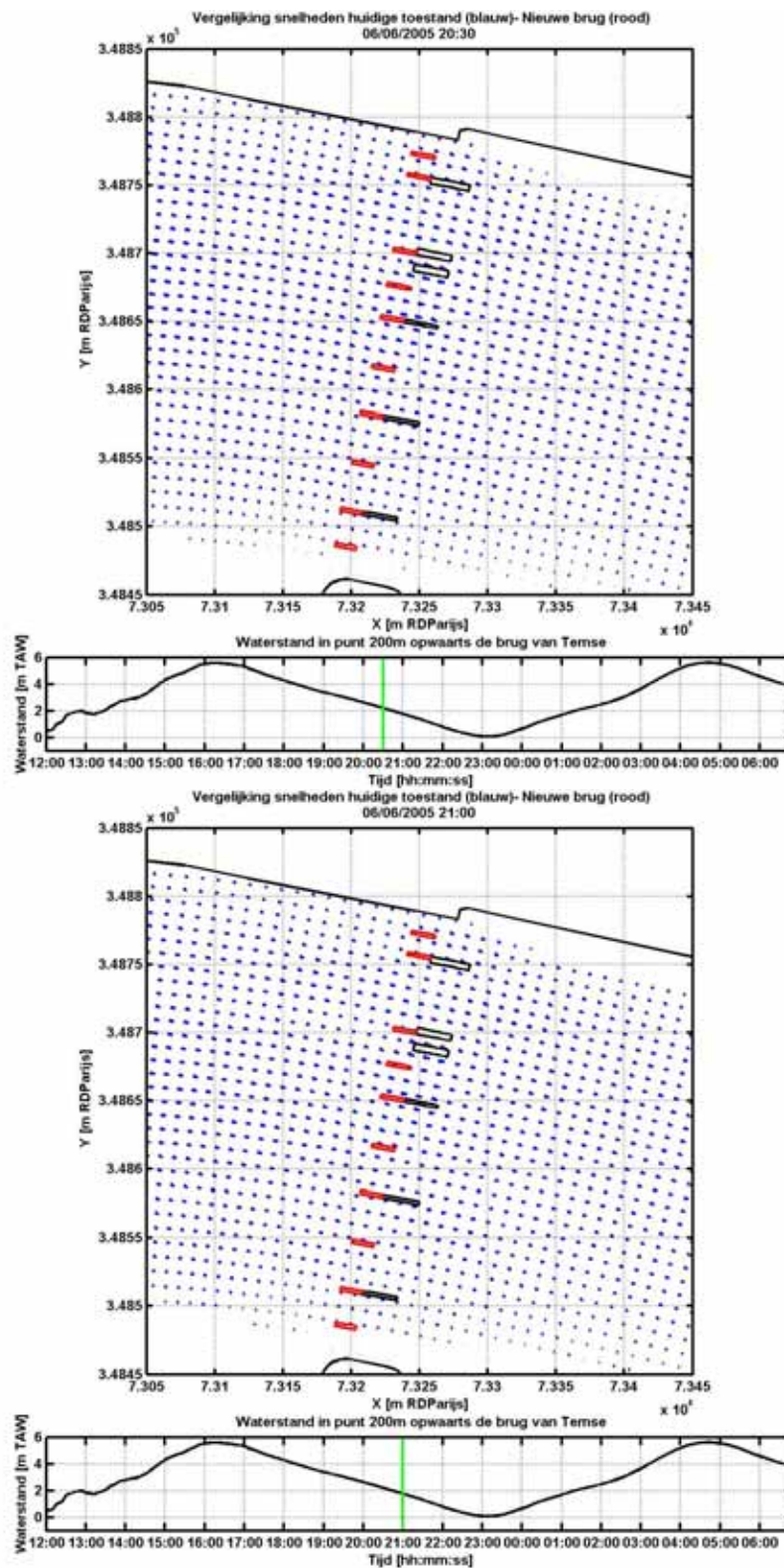
WL 2005.0240



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

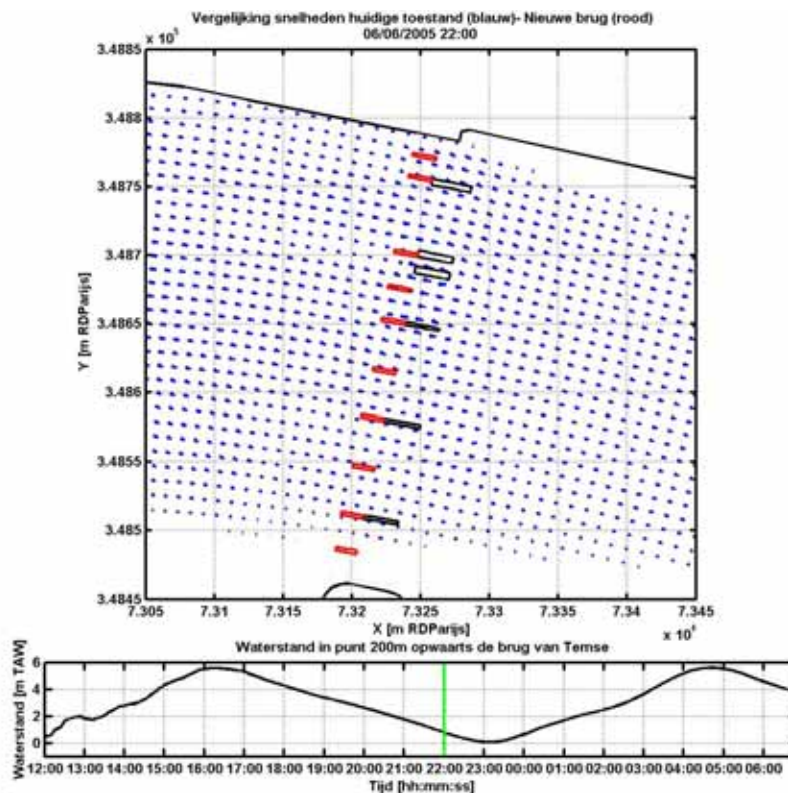
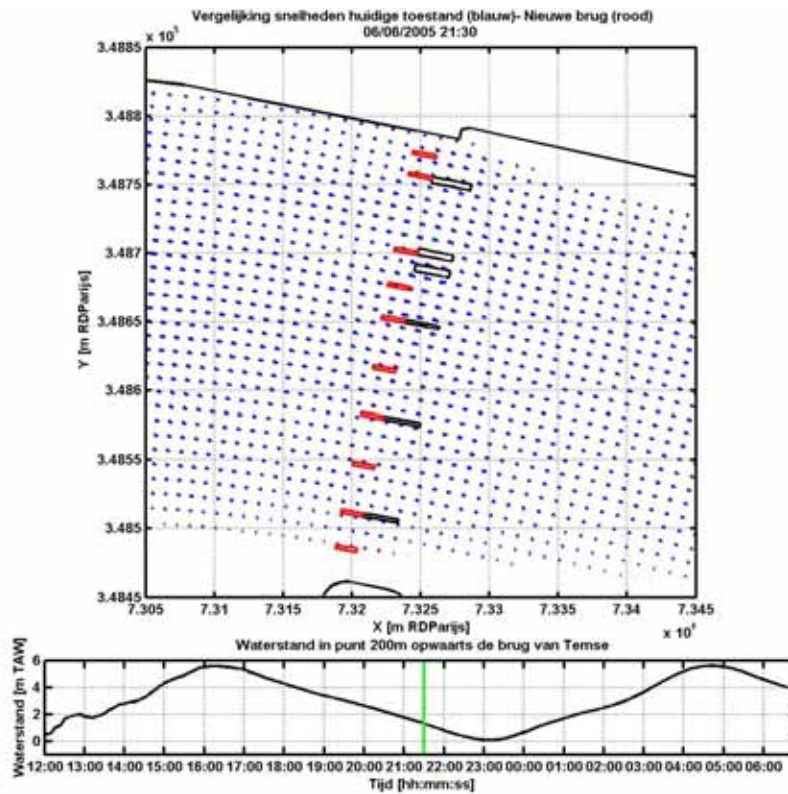
**M785**

Bijlage B  
Figuur 17



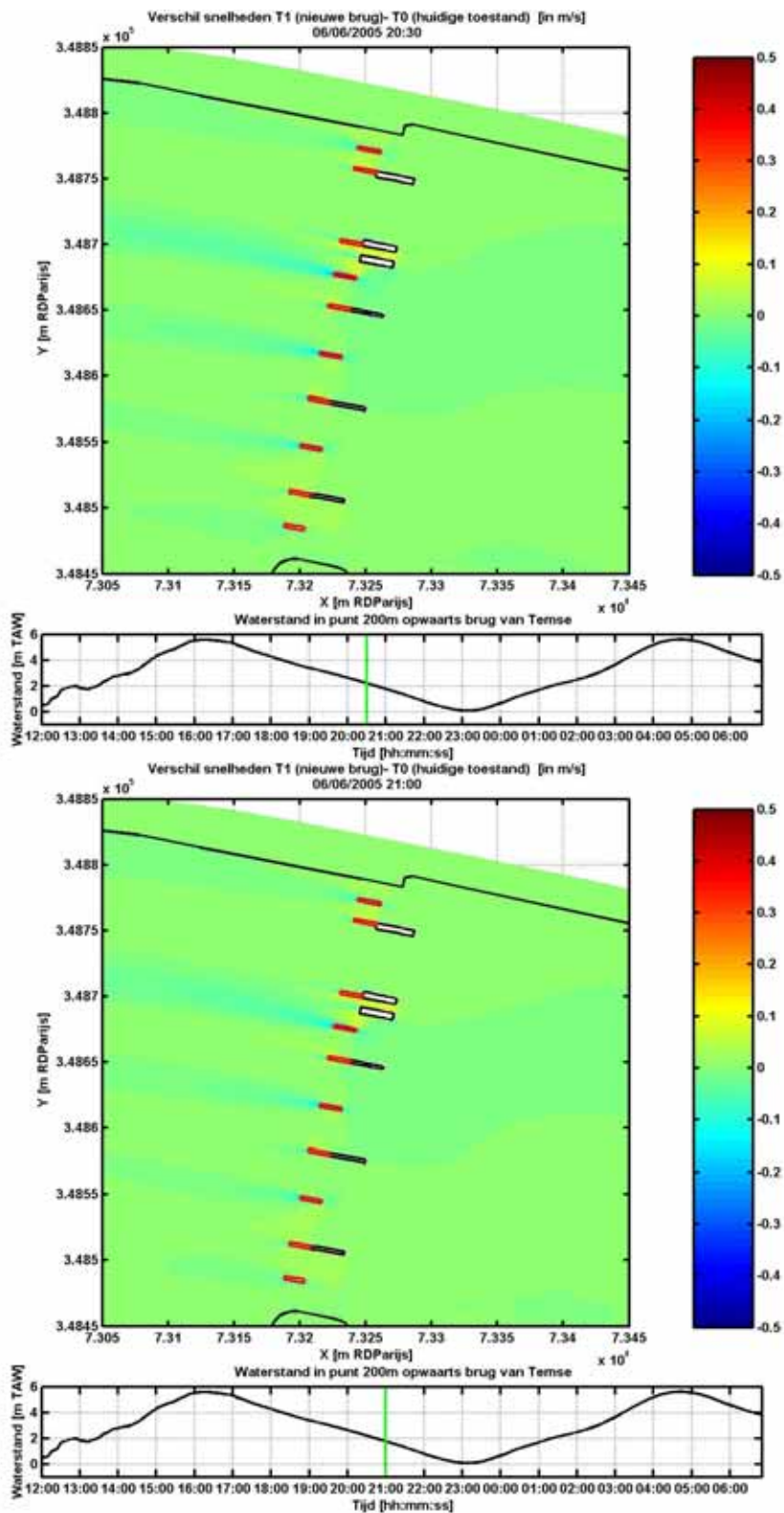
Vergelijking stroompatroon in toestand T1(nieuwe brug, blauwe vectoren) met het stroompatroon in de huidige toestand (rode vectoren) bij maximum eb.





Vergelijking stroompatroon in toestand T1(nieuwe brug, blauwe vectoren) met het stroompatroon in de huidige toestand (rode vectoren) bij maximum eb.





Verskil in stroomsnelheid tussen toestand T1(nieuwe brug) en de huidige toestand bij maximum eb.

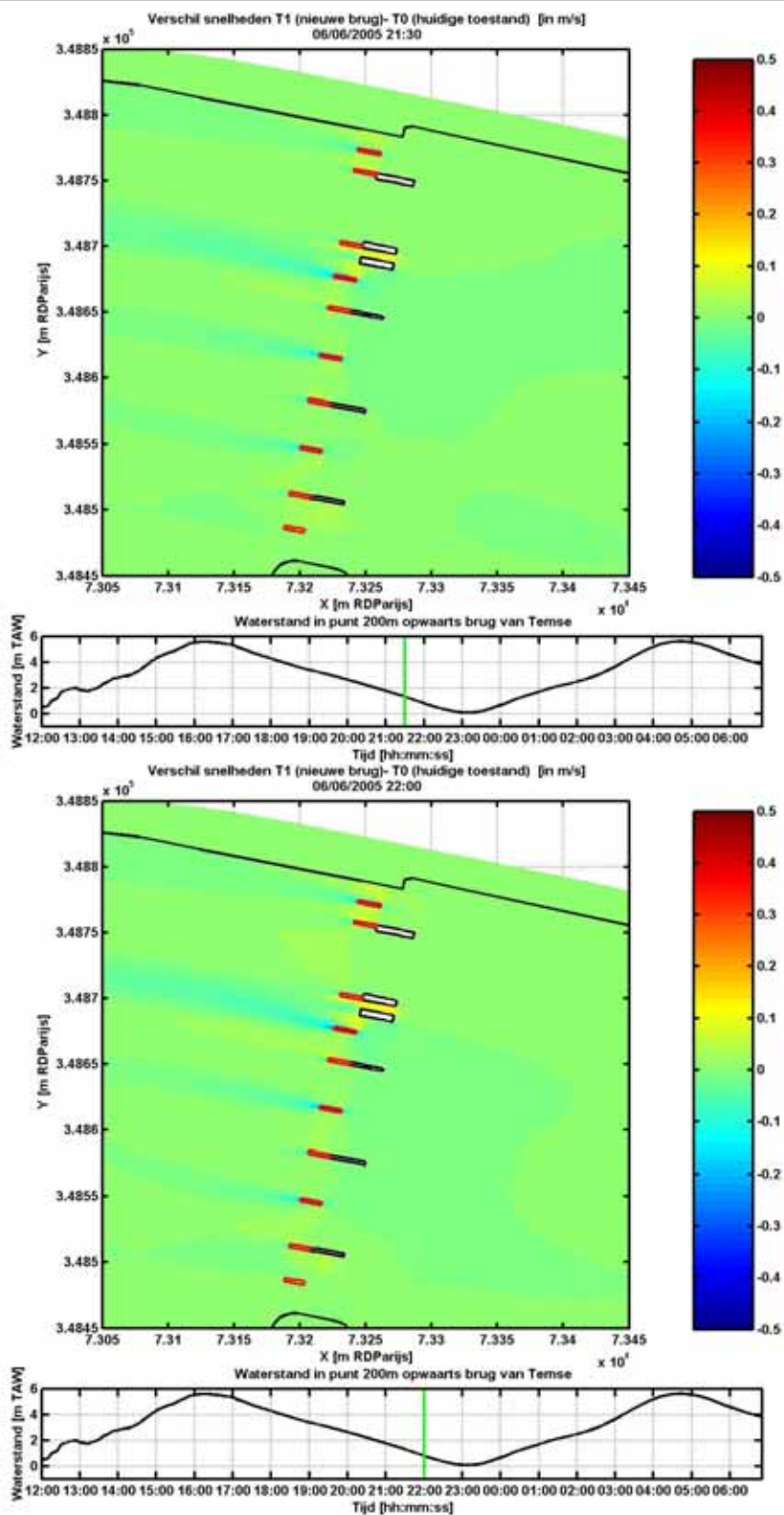
WL 2005.0243



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**M785**

Bijlage B  
Figuur 20



Vershil in stroomsnelheid tussen toestand T1(nieuwe brug) en de huidige toestand bij maximum eb.

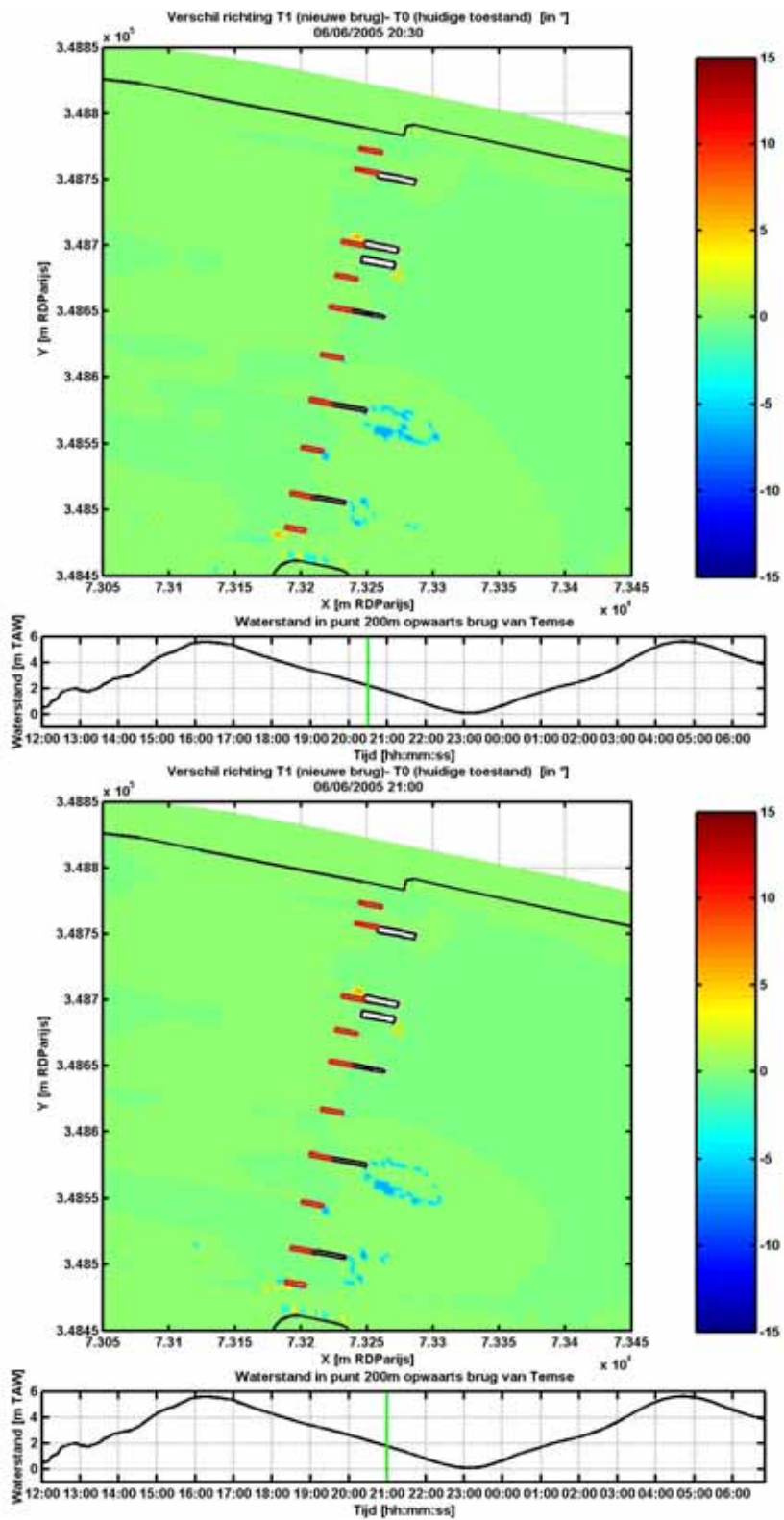
WL 2005.0244



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

**M785**

Bijlage B  
Figuur 21



Verschil in stroomrichting tussen toestand T1(nieuwe brug) en de huidige toestand bij maximum eb.

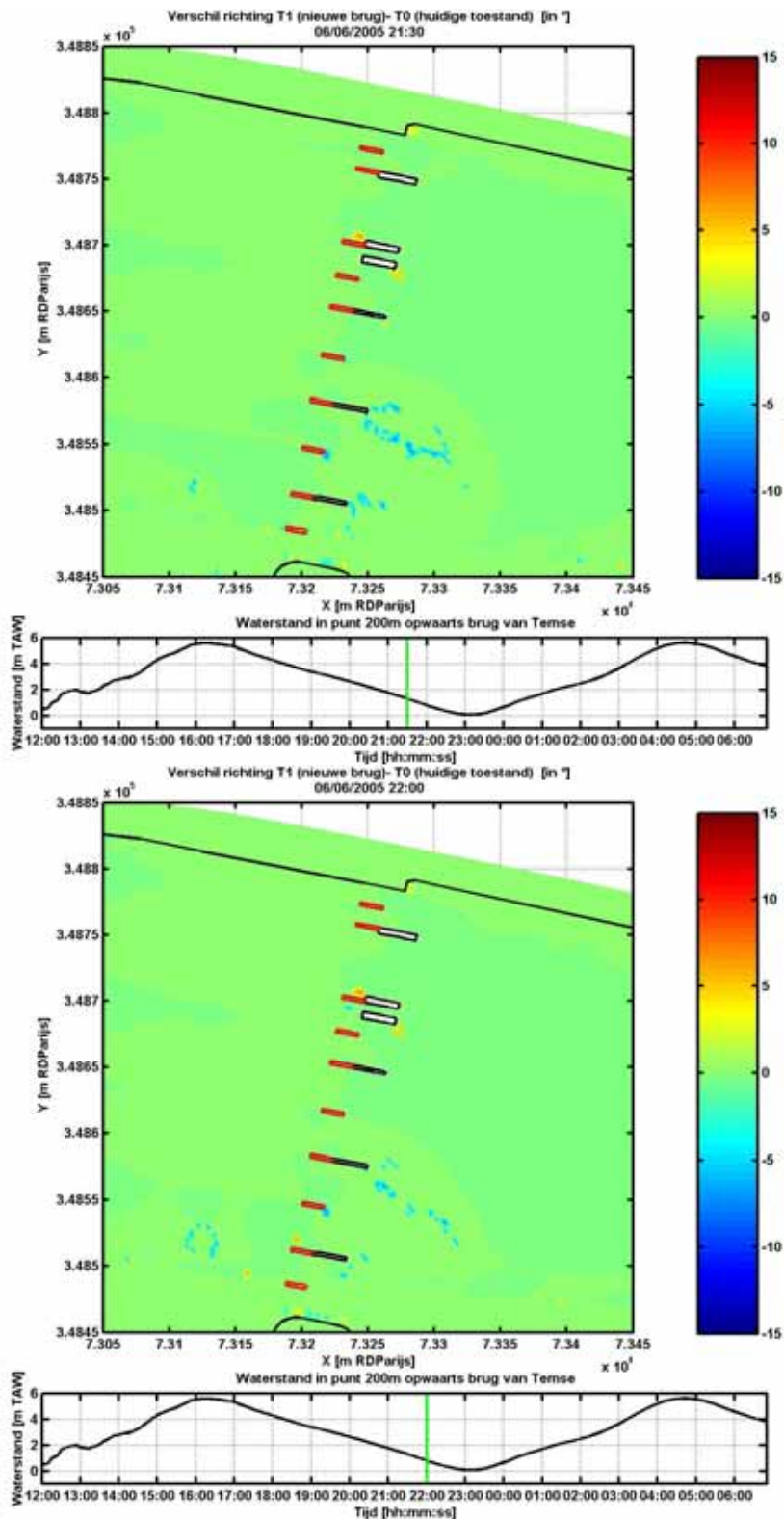
WL 2005.0245



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
Borgerhout - Antwerpen

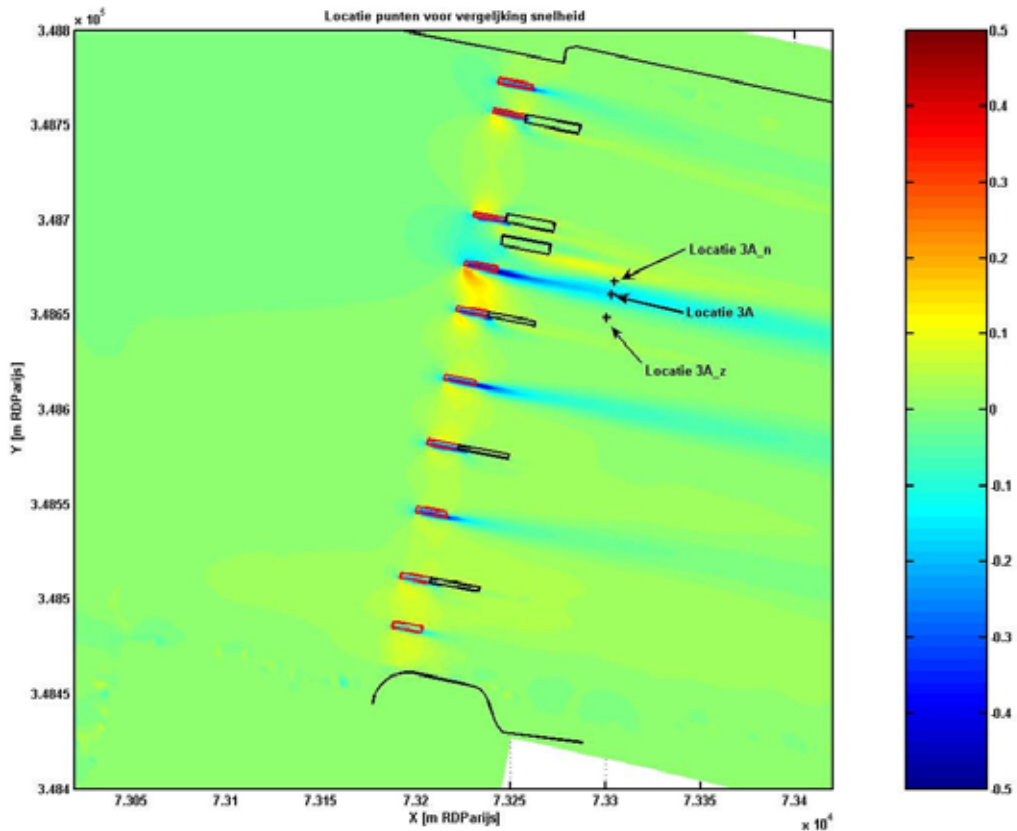
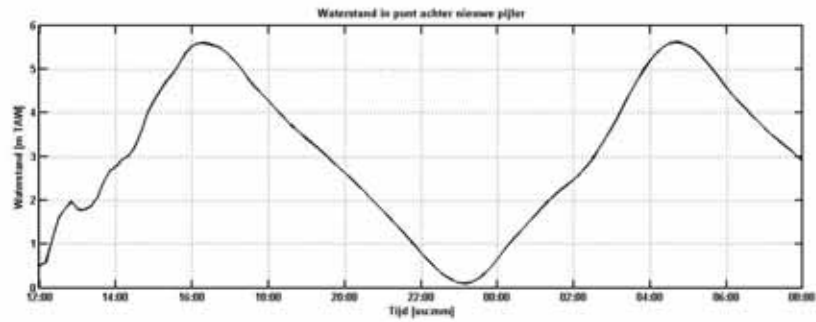
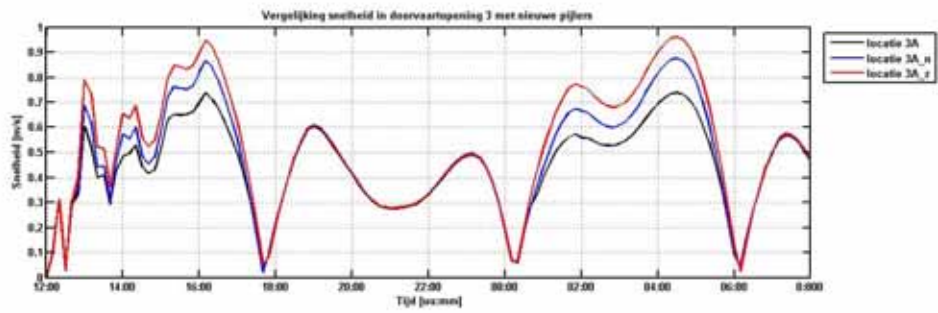
**M785**

Bijlage B  
Figuur 22



Verschil in stroomrichting tussen toestand T1(nieuwe brug) en de huidige toestand bij maximum eb.





Bovenaan: Vergelijking van de stroomsnelheid in locatie afwaarts de nieuwe pijler in overspanning 3  
 Onderaan: Locatie van de punten voor de vergelijking

WL 2005.0247



**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
 EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK**  
 Borgerhout - Antwerpen

**M785**

Bijlage B  
 Figuur 24



## **BIJLAGE C**

# **BIJLAGE C: NAUTISCHE EVALUATIE VAN HET PLAATSEN VAN EEN TWEEDE BRUG OVER DE SCHELDE NAAST DE BRUG TE TEMSE.**

## **1 Vraagstelling**

Bij het ontwerp van een nieuwe brug te Temse voorziet men de overspanningen 1, 3, 4, 5 en 6 van de nieuwe brug te halveren door het plaatsen van extra pijlers. De andere pijlers worden geplaatst ter hoogte van de pijlers van de bestaande brug. De dubbele pijler ter plaatse van de basculebrug zou bij de nieuwe brug door een enkele pijler vervangen worden. de brugpijlers zouden uit buispalen gemaakt worden.

Er werd gevraagd volgende consequenties voor de scheepvaart te onderzoeken:

- hinder omwille van het plaatsen van meer pijlers in de rivier wegens toename van stroming
- hinder omwille van de grotere lengte van de achter elkaar staande pijlers
- hinder door de halvering van de doorvaartopening

Voorafgaand aan de resultaten van een hydraulisch model wordt ingegaan op de typisch scheepvaartgebonden aspecten van de brug. In wat volgt zetten we op een rij:

1. de eigenschappen van de huidige brug;
2. de opgegeven eigenschappen van de nieuwe brug;
3. de verwachtingen qua scheepvaartverkeer;
4. de regels in verband met doorvaartbreedte en de consequenties daarvan voor de nieuwe brug;
5. de regels in verband met de doorvaarthoogte en de consequenties daarvan voor de nieuwe brug;
6. de bescherming van de buispijlers van de nieuwe brug tegen aanvaringen.

## **2 Huidige situatie**

### **2.1 Bestaande brug**

De brug bij Temse omvat een baanbrug en een spoorbrug over de Boven Zeeschelde. Bij laagwater vormt de doorvaarthoogte van een gesloten brug voor kleinere schepen (type I en II) geen probleem. Bij hoogwater (2x daags) moet voor sommige schepen de brug open. De bediening van de brug bij Temse houdt rekening met het wegverkeer: tijdens de ochtend- en avondspits wordt de brug niet geopend, omdat dit teveel verkeershinder veroorzaakt op de weg Sint-Niklaas – Mechelen. Dit kan voor de grotere schepen (type III en groter) een stremming van ca. 1 uur veroorzaken, kleine schepen kunnen onder de brug door varen (niet bij springtij of hoogtij en ook niet met 2 lagen containers). (Interview: afdeling Zeeschelde, Dhr. P. Bogaert, geciteerd in <sup>1</sup>).

De brug heeft naast de pijlers hoogtemerken die de nog beschikbare doorvaarthoogte aangeven.

---

<sup>1</sup> ECORYS Transport/IDEA Consult. "Effecten toename van de scheepvaart op de capaciteit van de vaarwegen in het Vlaams Gewest. Definitief eindrapport", Rotterdam/Brussel, 6 mei 2003. Studie in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - Departement Leefmilieu en Infrastructuur (LIN) – Administratie Waterwegen en Zeewezen (AWZ).



opening	1	2 beweegbaar deel	3 vast deel	4	5	6
overspanning	61.6 m	53.9 m	ca 50 m	71.7 m	71.7 m	58.8 m
doorvaartbreedte bij laagwater	ca 30 m	50.4 m (min wiel-fenders: 47.8 m)	32 m	67	nihil	nihil
onderzijde brug TAW		h=11.46 (spoor-brug)	10.90	10.90	10.90	10.90
doorvaarthoogte <sup>2</sup> zonder 0.30 m veiligheidsmarge		5.90 m /45 m bij GHW	5.40 m bij GHW			
bodempeil <sup>3</sup>	nvt	7 m	5 m	5m/ 1.5m	1.2 m	nvt

#### Overspanningen brug Temse.

Er zijn maar twee doorvaartopeningen in gebruik door de beroepsscheepvaart, namelijk opening 2 (met basculebrug) en opening 3 onder een vast deel van de brug.

De bodemdiepte tussen de pijlers voor opening 2 bedraagt <sup>3</sup> :

- over een breedte van 43 m > 3.5 m onder TAW,
- over 30 m > 6m onder TAW en
- over 25 m > 7m onder TAW

De bodemdiepte tussen de pijlers voor opening 3 bedraagt

- over een breedte van 25 m > 2 m onder TAW,
- over 20 m > 3.5 m onder TAW en
- over 15 m > 5 m onder TAW

Naast de doorvaartopening van de basculebrug zijn opwaarts en afwaarts remmingswerken (damwandcaisson) aangebracht, om de grote zeeschepen van de voormalige Boelwerf zonder schade door de brug te kunnen loodsen. Ook wiel-fenders zijn hiervoor op de pijler aan de landzijde aangebracht.

## 2.2 De Boven-Zeeschelde

De Boven-Zeeschelde heeft een lengte van 77 km en loopt van Antwerpen tot de monding van de Ringvaart Gent. Van Antwerpen tot de monding van de Durme is deze tijrivier bevaarbaar voor 2x2 duwvaart (CEMT VI vaarweg).

Van de monding van de Durme tot Baasrode is de vaarweg bevaarbaar voor **schepen met een lengte tot 95 meter en een breedte tot 12 meter**. (CEMT IV, en kortste CEMT V).

Van Baasrode tot de monding van de Ringvaart is de vaarweg bevaarbaar voor schepen met een lengte tot **85 meter en een breedte tot 9,50 meter**.(CEMT IV).

<sup>2</sup> De waterweg in Vlaanderen. Infrastructuurgegevens. Cel beheer en Exploitatie. Afdeling Beleid Havens Waterwegen en Zeewezen. AWZ, nov 1996.

<sup>3</sup> Peiling Bovenschelde Brug van Temse. 21 maart 2005. ref C3.5177. Afdeling Kust. Hydrografie Antwerpen..



Van de brug van Vlassenbroek afwaarts tot Antwerpen is de diepgang veranderlijk en wordt een vrije hoogte gewaarborgd van 45 meter (hoogspanningslijnen bij Schelle) wanneer de spoorbrug te Temse open staat, anders is de vrije hoogte 5,90 meter (CEMT V en VI).

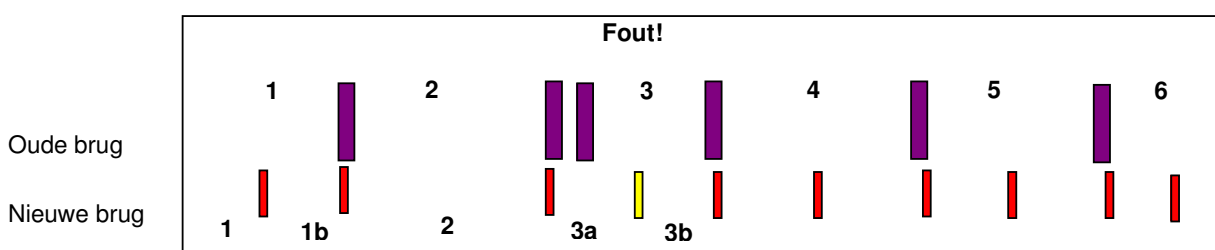
Van de brug van Vlassenbroek opwaarts tot de Ringvaart om Gent is de diepgang veranderlijk en wordt een vrije hoogte gewaarborgd van 6,70 meter (CEMT IV en V).

### 3 Nieuwe brug

Voor de nieuwe brug voorziet men de overspanningen te halveren om de kostprijs van de brug te verlagen. Op onderstaande figuur is dit schematisch aangegeven.



Figuur C.1: Schematische voorstelling van nieuwe brug



Figuur C.2: Pijlers oude en nieuwe brug

Bij de nieuwe brug zou de doorvaartopening 2 van de basculebrug behouden blijven, de huidige opening 3 zou ook in twee delen (3a en 3b) van 25 m overspanning verdeeld worden.

De pijlers zouden uitgevoerd worden als buispalen, zodat de afmetingen van de pijlers steeds kleiner blijven dan de huidige pijlers.

## 4 Prognose scheepvaartverkeer

### 4.1 Inleiding.

Ecorys[1] heeft in opdracht van AWZ de groei van het binnenvaartverkeer geschat aan de hand van een trendscenario, gebonden aan de ontwikkeling van de overslag in de zeehavens en een Duurzaam Scenario, waarbij een daarop gericht beleid een groter aandeel van de binnenvaart in het vervoer bereikt. Daarbuiten zijn er enkele specifieke ontwikkelingen, die een groei boven deze trends zullen veroorzaken.

- Deurganckdok te Antwerpen.
- Kaaimuurprogramma.
- Verbeterde Seine-Schelde verbinding.

In onderstaande sectie wordt het verslag van Ecorys geciteerd.

### 4.2 Verkeers- en vervoersontwikkelingen

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de verwachte ontwikkelingen van het verkeer en vervoer op de Boven-Zeeschelde.

	2001		2007		2020	
	Ton	Scheeps- bewegingen	Ton	Scheeps- bewegingen	Ton	Scheeps- bewegingen
Trendscenario	4.777.900	18.500	5.520.600	17.900	7.087.200	19.600
Duurzaam scenario	4.777.900	18.500	7.066.300	22.900	11.611.600	32.100
Complementair Kaai- muurprogramma			190.400	618	244.400	676
Complementair Deur- ganckdok			2.082.600	3.300	2.870.900	4.500
Complementair Seine – Schelde verbinding (via sluis Merelbeke)					1.876.000	4.600

*Tabel 1 Ontwikkelingen verkeer en vervoer op de Boven-Zeeschelde*

In 1998 werd in totaal 3,8 miljoen ton goederen over de Boven-Zeeschelde vervoerd met 9.676 geladen schepen (NIS, 1998). Verondersteld is dat het verkeer en vervoer tussen 1998 en 2001 een zelfde groeitempo laat zien als het verkeer en vervoer op de Ringvaart Gent. Daarmee zou het vervoer in 2001 uitkomen op 4,8 miljoen ton goederen, verscheept met 10.704 geladen schepen. De leegvaart is geschat op 42%, overeenkomend met het gemiddelde leegvaartpercentage op het Vlaams vaarwegennet. Er zijn dus samen 18500 lege en volle schepen.

In 2001 bedroeg het gemiddeld laadvermogen van de schepen op de Boven-Zeeschelde 558 ton. Het gemiddeld laadvermogen zal zich in de toekomst ontwikkelen tot 666 ton in 2007 tot 778 ton in 2020.

Het huidige vervoer (in 2001) groeit in het trendscenario dus met 48% tot 753.000 ton in 2020. In het duurzaam scenario groeit het vervoer zelfs met 143% tot 11,6 miljoen ton in 2020. In aantallen groeit het verkeer minder hard, dat is een gevolg van het feit dat er een verschuiving plaatsvindt naar de inzet van grotere schepen (schaalvergroting), het aandeel grotere schepen in de vlootverdeling stijgt dus wel. In het trendscenario is, na een lichte daling in 2007 komt er een lichte stijging (6%), in het duurzaam scenario is sprake van een stijging met 74% tot 2020.

De ontwikkelingen op het **Deurganckdok** genereren op de Boven-Zeeschelde bijna 174.000 TEU's complementair vervoer in 2007. In 2020 is dit gestegen tot 239.000 TEU's. Dat extra volume wordt vervoerd met 3.254 extra schepen in 2007 en 4.486 extra schepen in 2020. (Dit is 25% van het verkeer veroorzaakt door het Deurganckdok, de andere 75% zijn reeds in het duurzaam scenario gevat).

*Dit betekent echter wel dat in 2020 het aantal containerschepen circa 18.000 eenheden bedraagt.*

**Het kaaimuurprogramma** genereert op de Boven-Zeeschelde 762.000 ton vervoer in 2007. Een kwart daarvan wordt beschouwd als complementair, dat is 190.000 ton. In 2020 is dit gestegen tot 244.000 ton. Dat extra volume wordt vervoerd met 618 extra schepen in 2007 en 676 extra schepen in 2020.

Een **verbeterde Seine – Schelde verbinding** genereert in 2020 ongeveer 2,7 miljoen ton extra vervoer tussen Noord Frankrijk en Antwerpen. Verondersteld wordt dat dit complementair vervoer wordt verscheept met schepen volgens een vlootverdelingsprofiel van een CEMT Va-vaarweg met een gemiddeld laadvermogen van 1050 ton, een bezettingsgraad van 80% en een leegvaartpercentage van 40%. Dat betekent dat in totaal 5.542 schepen extra zullen varen tussen Noord-Frankrijk en Antwerpen.

Voorts wordt verondersteld dat de kleine schepen en de helft van de CEMT IV-schepen gebruik zullen maken van sluis Merelbeke en de Boven-Zeeschelde.

De andere helft van de CEMT IV-schepen en de CEMT V-schepen zullen via sluis Evergem, het kanaal Gent – Terneuzen en de Westerschelde naar Antwerpen varen.

Voor de Boven-Zeeschelde betekent dit ca 4500 extra schepen die tezamen 1.875.000 ton extra goederen vervoeren.

### 4.3 Conclusie

In een duurzaam scenario zullen er in 2020 circa 40.000 schepen per jaar de Boven-Zeeschelde bevaren, waarvan circa de helft containers zullen vervoeren.

De grootste schepen zijn CEMT IV schepen, die echter minder rendabel kunnen varen, indien ze slechts 2 lagen containers (60 TEU) kunnen laden.

klasse	max aantal TEU	lagen vereist	met 2 lagen
II	24	2 (5.25 m)	24
II neokemp	32	2 (5.25 m)	32
III	32	2 (5.25 m)	32
IV	90	3 (7.0 m)	60
V	208	4 (9.1 m)	104

## 5 Vereiste breedte van brugdoorvaart.

(1) In Vlaanderen bestaan hierover geen ontwerperegels, daarom werd de Nederlandse "Richtlijn Vaarwegen"<sup>4</sup> gehanteerd (die tot klasse Vb geldt, zonder dat er stroming wordt ingerekend). Voor de doorvaart onder vaste bruggen gelden de waarden van onderstaande tabel (Tabel 5.2.2.1 uit referentie) als er twee doorvaartopeningen zijn:

Klasse	doorvaartwijdte (m)
II	10.5
III	12
IV	14
Va	19.5
Vb	20.5

Voor de beweegbare brug gelden bij druk verkeer (meer dan 10000 scheepspassages per jaar) de cijfers uit onderstaande tabel:

Klasse	doorvaartwijdte (m)
II	10.
III	12
IV	14
Va	16.5
Vb	19

Ook wordt aanbevolen dat

- de doorvaartopeningen symmetrisch worden aangelegd
- de aanbevolen diepte beschikbaar is over de hele breedte van de doorvaartopening.

<sup>4</sup> "Richtlijnen Vaarwegen", Commissie Vaarwegbeheerders, Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Directoraat-generaal Rijkswaterstaat. 2<sup>de</sup> druk, september 1999, Rotterdam.

(2) Als de doorvaartopening lang is, dwz langer dan een halve scheepslengte, moet 2% van de scheepslengte als toeslag bij de doorvaartbreedte gevoegd worden.

Bij toevoegen van een pijler aan de reeds 37 m lange bestaande pijlers worden de openingen hoogstens circa 50 m lang. Voor schepen van 100 m lengte moet dan 2 m extra doorvaartbreedte voorzien worden.

(3) Voor de klasse VIb (Vierbaks duwkonvooi) waarvoor de rivier ter plaatse van de brug bevaarbaar is, zijn er geen cijfers gegeven. Als men echter de verhouding doorvaartbreedte/scheepsbreedte voor de smalle konvooien Va en Vb gebruikt voor de brede konvooien, dan zou de doorvaartbreedte resp. 34 en 38 m moeten bedragen. Veronderstelt men dat de toeslag op de breedte constant blijft bij overgang naar de klasse VI, dan vindt men iets lagere cijfers.

(4) In Temse bedraagt de stroming waaraan de binnenschepen onderhevig zijn bij maximum vloed tussen 1.5 m/s bij doottij tot 2 m/s bij springtij (Metingen uitgevoerd voor dit onderzoek). Er is geen dwarse stroming, bij eb en vloed is de stroming nagenoeg loodrecht op de brug. Met stroming werd geen rekening gehouden in de "Richtlijn vaarwegbeheerders".

Om een toeslag voor de langse stroming in te rekenen wordt hier gebruik gemaakt van de PIANC-ontwerpmethode<sup>5</sup> voor zeeschepen. In deze methode wordt voor langse stroming van meer dan 1,5 m/s een toeslag van 10% van de scheepsbreedte aangerekend voor een snel schip, 20% voor een middelmatig snel schip en 40% voor een traag varend schip. We beschouwen de binnenschepen als "gematigd snel".

(5) De som van basis doorvaartwijdte en de toeslagen voor de lengte van de pijlers en de langse stroming wordt in onderstaande tabel gegeven.

Klasse	Breedte	basis vaste brug doorvaartwijdte (m) RWS	Toeslag lengte pijlers 0.02 L (m)	Toeslag stroming 0.2 B	totale doorvaartbreedte brugcombinatie (m)
II	6.6	10.5	0	1.3	11.8
III	8.2	12	0	1.6	13.6
IV	9.5	14	0	1.9	15.9
Va	11.4	19.5	2.2	2.3	24.0
Vb	11.4	20.5	3.7	2.3	26.5
VIa	22.8	34 (30.9)	2.2	4.6	40.8 (37.7)
VIb	22.8	38 (31.9)	4.0	4.6	46.6 (40.6)

(6) Deze cijfers tonen aan dat voor de binnenvaart de *huidige doorvaartopening* (2) van de bascule-brug (47.8 m) ruim voldoen aan deze vereisten. Voor de doorvaartopening (3) van de *huidige vaste brug* (32 m) is de breedte onvoldoende voor klasse VI, maar wel voldoende voor klasse V, als tenminste de diepte over de ganse breedte van de opening onderhouden wordt.

(7) Door de uitlijning van de pijlers van de oude brug en de nieuwe pijler midden de oude overspanning 3 (in het geel op de figuur) bedraagt de breedte van de twee nieuwe doorvaartopeningen respectievelijk amper 10 m voor opening 3a en 22 m voor opening 3b. Hierdoor zou de doorvaart van klasse Vb niet langer mogelijk zijn. Deze doorvaartbreedte is dus te klein.

(8) De toename van de scheepvaart laat echter niet toe het aantal doorvaartopeningen te verminderen.

**Bijgevolg wordt aanbevolen de doorvaartopening 3 niet te verdelen door het plaatsen van een extra pijler.**

<sup>5</sup> PIANC: Approach channels Preliminary Guidelines, PTC II-30. First report of the joint Working Group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IALA. Supplement to Bulletin no.87, April 1995

(9) Mogelijk moet door het weglaten van de pijler in het midden van overspanning 3 en voor het dragen van het bewegingsmechanisme en de basculebrug ook een dubbele pijler voorzien worden zoals bij de bestaande brug. Het is dan aanbevolen deze dubbele pijler in lijn te plaatsen met de bestaande.

(10) Indien deze dubbele pijler niet nodig is, dan zou het zicht bij de nadering van de doorvaartopening 3 van opwaarts verwarrend kunnen zijn, men zou onder de brug met de dubbele pijler van de bestaande brug geconfronteerd worden.. Het wordt aanbevolen de ligging van de dubbele pijler van de bestaande brug aan te duiden door een duidelijk merk op de brug of door een paal in lijn met de pijler.

Uit het hydraulisch onderzoek blijkt ook dat de grootste verstoring van de stroming juist door de pijler midden overspanning 3 veroorzaakt wordt.

## 6 Doorvaarthoogte

Hier wordt aandacht besteed aan de mogelijkheden om onder de brug door te varen zonder de brug te moeten openen.

(1) Voor de doorvaarthoogte zijn er vereisten van CEMT en de Nederlandse aanbevelingen voor beroepsvaart, kustvaart en recreatievaart opgegeven in onderstaande tabel.):

Klasse	Doorvaarthoogte CEMT 1992	Strijkhooft CVB (m)
II	5	6
III	5	6.3
IV	5.25 of 7	6.7
Va	5.25, 7 of 9.1	6.7
Vb	5.25, 7 of 9.1	8.8
River/Sea 1		7 of 9.1
River/Sea 2		9.1
River/Sea 3		9.1
RA open boot		2
RB cabin cruiser		2.75
RC motor Yacht		4

Bij de strijkhooft moet nog een "schrikhooft" van 0.3 m gevoegd worden (onnauwkeurigheid, verticale scheepsbewegingen). Het is duidelijk dat voor kustvaart de basculebrug zal moeten geopend worden.

(2) Uit de verdeling van de hoogwaterstand te Temse (1991-2000) werd voor de twee doorvaartopeningen de frequentie van voorkomen van de doorvaarthoogte weergegeven in onderstaande grafiek..

(3) In 85% van de tijden kan men met een klasse IV schip met twee lagen containers ook bij hoogwater onder de basculebrug. In 15% van de tijden ( die met de hoogste hoogwaters) is de doorvaart maar circa 10 uren per tijd mogelijk (het uur voor en na hoogwater kan dit niet).

*Klasse IV schepen met twee lagen containers kunnen dus 97,5% van de tijd onder de basculebrug door kunnen varen.*

(4) Voor een klasse IV schip met drie lagen containers (7m + 0.3 m doorvaarthoogte)is er geen doorvaart onder de basculebrug mogelijk bij hoogwater, maar wel gedurende circa 8 uren per tijd zoals blijkt uit de tijkromme, wat komt op 64% van de tijd..

(5) Voor de doorvaart van deze schepen met vier lagen containers (9.1 m + 0.3 m) is er gedurende circa 4 uur per tijd ruimte of 32% van de tijd.

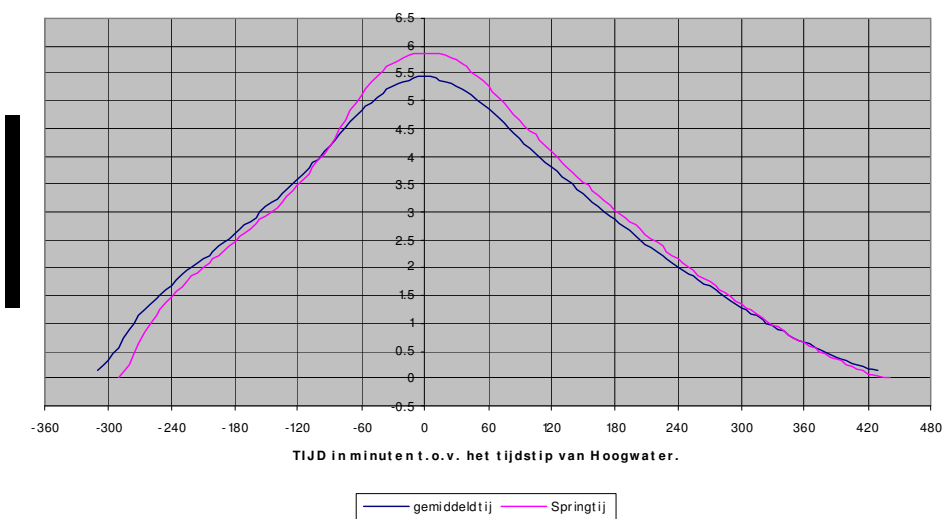
(6) *Onder de vaste brug* kan men met 2 lagen containers ook bij hoogwater varen gedurende 30% van de tijd. Indien men een venster van 1 uur voor en 1 uur na HW respecteert, dan kan 55% van de schepen met twee lagen onder de brug door. Voor de resterende 15% van de tijd moet met 1,5 uur voor en 1,5 uur na hoogwater mijden.

#### (7) RESOLUTION No. 92/2 ON NEW CLASSIFICATION OF INLAND WATERWAYS

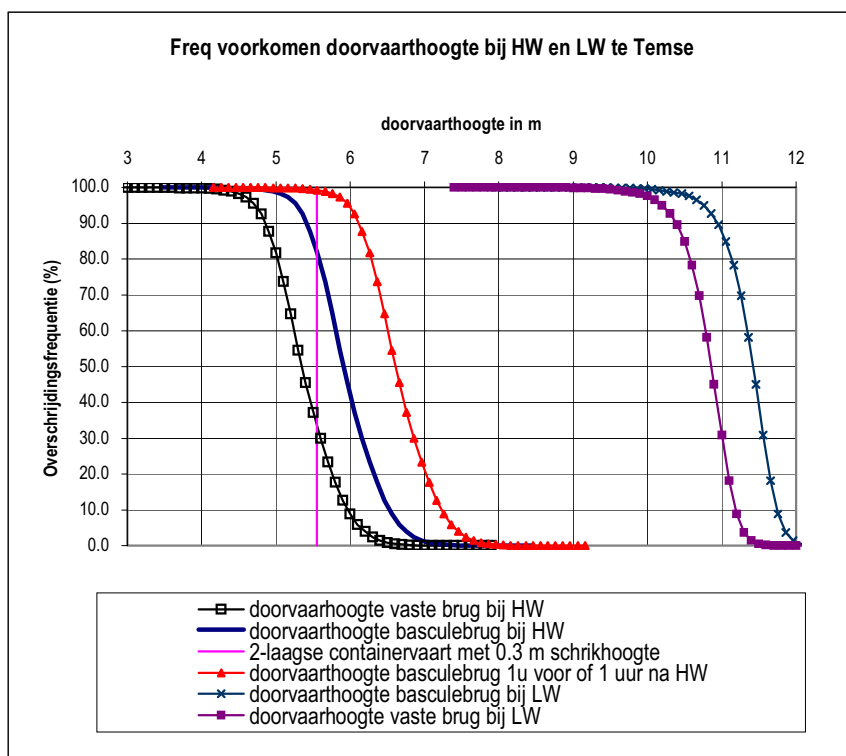
[CEMT/CM(92)6/FINAL]

Where a regional or Class IV waterway is to be modernised, the parameters to be adopted should be at least Class Va. When modernising or creating a waterway of international importance, the parameters to be used should be at least Class Vb with a minimum draught of 2.80 metres and a minimum height under bridges of 7.00 metres where necessary for container transport. For inland waterways where a bridge clearance of 700 cm is not considered as economically reasonable, the possibility of using longer convoys (Class Vb) should be taken into account.

10 jarig gemiddelde tijkromme te TEMSE 1981 - 1990.



*Klasse IV schepen met twee lagen containers kunnen dus 87% van de tijd onder de vaste brug doorvaren.*



De CEMT resolutie 92/2 die hierboven geciteerd wordt, beveelt aan de minimum doorvaarthoogte onder de bruggen op 7 m te brengen. Men zou hiervoor bij de nieuwe brug alvast rekening kunnen houden, ook al lijkt dit vandaag, rekening houdend met de beperkingen van de bestaande brug, niet nuttig op de korte termijn. Hiervoor moet de onderzijde van de brug op 7,30 m boven het hoogwater van gemiddeld springtij (5,90 m boven TAW) liggen.

## 7 Bescherming van de pijlers

(1) Voor de bestaande brug zijn de pijlers van de doorvaartopening van de basculebrug beschermd door een dukdalf. Indien de nieuwe brug uitgevoerd wordt met brugpijlers bestaande uit buispalen, dan moeten deze palen bestand zijn tegen de aanvaring van het grootste schip dat normaal deze brug zal doorvaren. De vervorming van de brug door zulke aanvaring mag het functioneren ervan niet verhinderen.

Om de aanvaring van de brugpijlers te verhinderen kan men een remmingswerk voor de pijlers van de doorvaartopeningen plaatsen. Aan de vervorming van het remmingswerk moeten minder hoge eisen gesteld worden indien ze niet op de brugpijlers steunen.

(2) Voor het bepalen van de kracht van een aanvaring moet men het scheepstype bepalen. De brug maakt thans de doorvaart mogelijk van zeeschepen, maar dit is eerder een occasioneel gebeuren.

Gezien de CMT Vlb klasse van de vaarweg ter plaatse zou men het risico van een aanvaring met een vierbaks duwkonvooi moeten onderzoeken, hoewel het meest frequent voorkomende schip in het licht van de prognoses een CEMT type IV (80 m x 9.5 m x 2.5 m) zal zijn.

(3) Voor de berekening van de stootkracht op een brugpijler zijn er verschillende mogelijkheden.

(a) Voor de Rijn wordt door de Duitse overheid opgelegd dat een pijler in de vaarweg bestand zou zijn tegen een quasi statische belasting van 30 MN frontaal en 15 MN lateraal. Voor een pijler buiten de vaarweg moet een quasi statische belasting van 6 MN frontaal en 3 MN lateraal ingerekend worden. Op de Rijn varen 6-baks duwkonvoeien, de stroming kan er ook sterk zijn.

(b) In de literatuur wordt een Belgische norm geciteerd (zonder referentie) waarbij voor smalle schepen (massa 1000 ton) een quasi statische impactkracht van 1MN moet ingerekend worden, voor grotere schepen (8000 ton) moet 8MN ingerekend worden.

(c) In de Eurocode<sup>6</sup> 1, part 2.7 (Chapter 4.5) worden de quasi-statische belastingen uit de ISO DP 10252 "Accidental Actions due to Human Activities, ISO 1995. " overgenomen, in overeenstemming met de CEMT klassen.

Klasse	Stootkracht (kN)
I	4000
II	5000
III	6000
IV	7000
Va	11000
Vb	15000
Vla	11000
Vlb	15000

In deze tabel zijn de krachten opgegeven voor een frontale botsing, voor een laterale of achterwaartse botsing is 30% ervan voldoende. Het aangrijpingspunt van de kracht moet genomen worden bij de hoogste waterstand waarbij men de brug kruist.

(d) Men kan uiteraard ook de berekening uitvoeren van de kinetische energie die door de pijler moet opgevangen worden ( $m \cdot v^2/2$ ) door gelijkstelling met de potentiële energie opgestapeld in de elastische vervormende constructie, bij de grootste indeuking ( $F^2/2k$ ), met k de stijfheid (veerconstante) van de constructie.

Voor de berekening van de krachten uit bovenstaande tabel werd door de opstellers van de ISO 1995 tabel een snelheid van 3 m/s verondersteld en  $k=5$  MN/m.

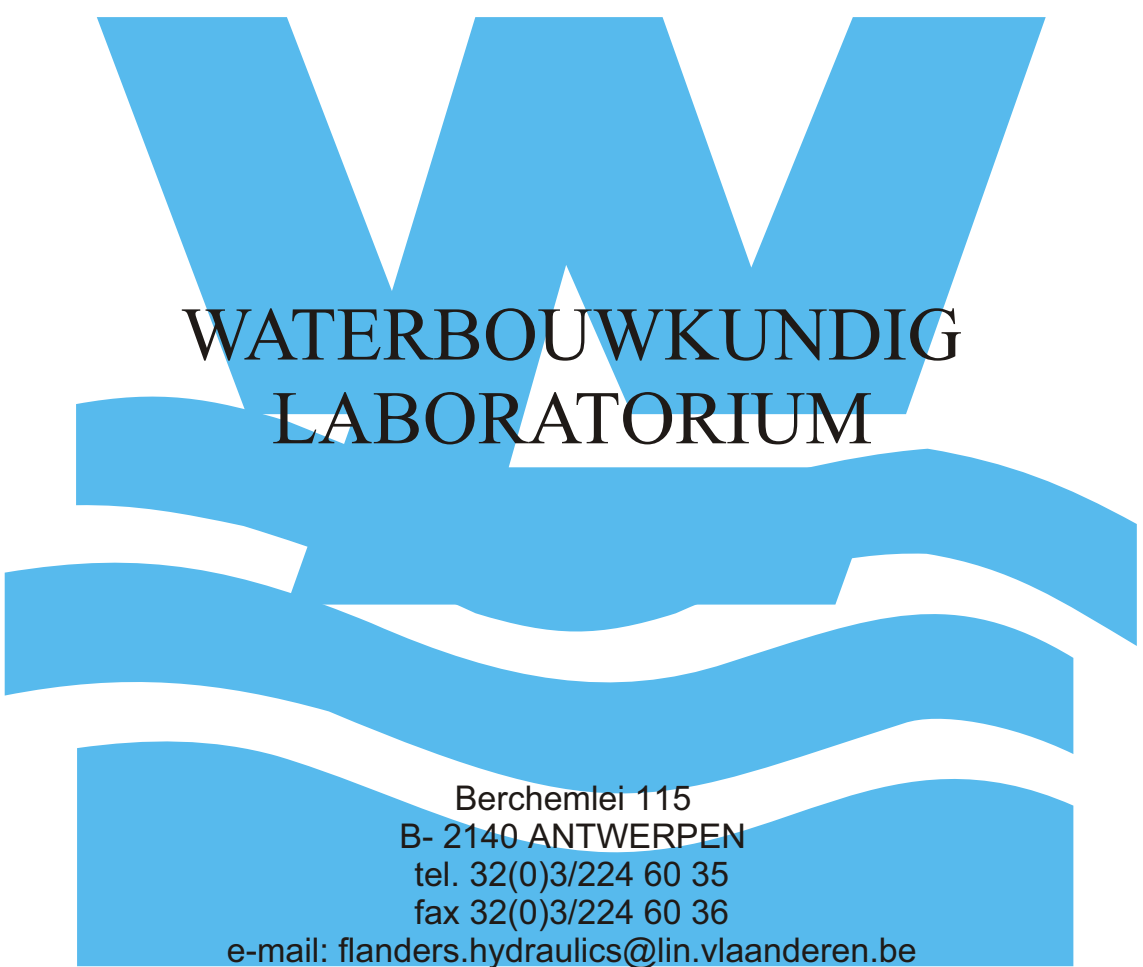
(4) Voor de stabiliteit van de brugpijlers of de remmingswerken die deze beschermen moet men rekenen met de aanvaring door een Vb of Vlb konvooi. Volgens de Eurocode komt dit overeen met een pseudo-statische belasting van 15 MN.

## 8 **Besluiten nautische evaluatie**

- Voor 2020 voorspelt men 40 000 passages per jaar, waarvan 18 000 door schepen met containers.
- De invloed van de verlenging van de pijlers is gering. De breedte van de doorvaartopening van de basculebrug volstaat voor klasse Vlb schepen (vierbaks duwkonvoeien) overeenkomstig de CEMT klasse van de waterweg. De vaste doorvaartopening voldoet voor klasse V schepen.
- De pijler waarmee overspanning 3 van de nieuwe brug in twee wordt verdeeld, maakt deze vaste doorvaartopening ongeschikt voor beroepsvaart en moet vermeden worden.
- Als een lange termijn optie en rekening houdend met de CEMT 92/2 resolutie is het realiseren van een doorvaarthoogte van 7 m boven hoogwater van gemiddeld springtij aan te bevelen.
- Voor de stabiliteit van de brugpijlers of de remmingswerken die deze beschermen moet men rekenen met de aanvaring door een Vb of Vlb konvooi. Volgens de Eurocode komt dit overeen met een pseudo-statische belasting van 15 MN.

<sup>6</sup> Geciteerd in "Design for impact according to Eurocode 1. Part 2.7," A.C.W.M.Vrouwenvelder, in "Ship Collision Analysis", Gluwer & Olsen (eds), Balkema, Rotterdam 1998.





**WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM**

Berchemlei 115  
B- 2140 ANTWERPEN  
tel. 32(0)3/224 60 35  
fax 32(0)3/224 60 36  
e-mail: [flanders.hydraulics@lin.vlaanderen.be](mailto:flanders.hydraulics@lin.vlaanderen.be)  
[watlab@lin.vlaanderen.be](mailto:watlab@lin.vlaanderen.be)

<http://watlab.lin.vlaanderen.be>

# FLANDERS HYDRAULICS RESEARCH

**WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM**

**FLANDERS  
HYDRAULICS  
RESEARCH**



ministerie van de Vlaamse Gemeenschap  
departement Leefmilieu en Infrastructuur  
administratie Waterwegen en Zeewezen  
afdeling Waterbouwkundig Laboratorium