



**BETTER SHIPS, BLUE OCEANS**

## **NAUTISCH ONDERZOEK VERPLAATSEN VAARGEUL NIEUWE MAAS**

**Rapport nr.** : 31355-1-MSCN-rev 2  
**Datum** : 5 december 2018  
**Versie** : rev.2  
Eindrapport

# NAUTISCH ONDERZOEK VERPLAATSEN VAARGEUL NIEUWE MAAS

Opdrachtgever : Havenbedrijf Rotterdam N.V.

Gerapporteerd door : F.S.H. Verkerk

Paraaf management :

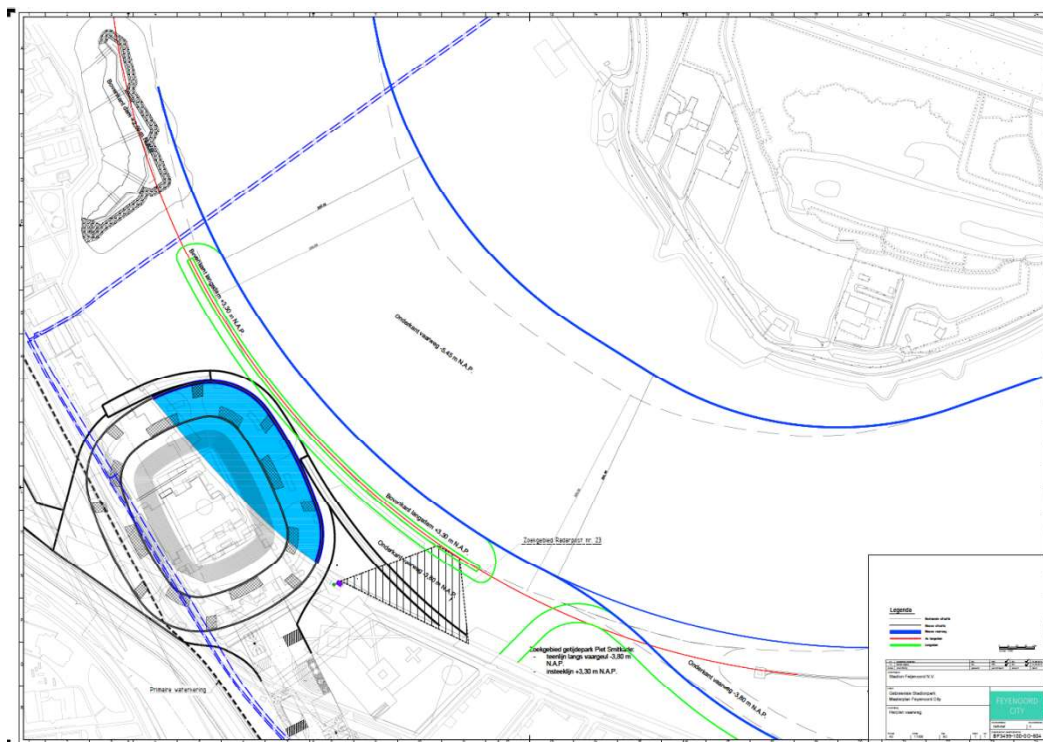


Versie	Datum	Status	Gecontroleerd door
Rev.0	2 november 2018	Concept	Dick ten Hove
Rev.1	21 november 2018	Definitief	
Rev. 2	5 december 2018	Eindrapport	

<b>INHOUD</b>	<b>PAGINA</b>
SAMENVATTING.....	1
1 INLEIDING .....	2
1.1 Probleemstelling .....	2
1.2 Doel van het onderzoek.....	2
1.3 Uitwerking .....	3
2 TOEGEPASTE METHODE.....	4
3 AIS-ANALYSE EN GEBRUIK HUIDIGE VAARWEG .....	6
3.1 Vaarsnelheid, padbreedte en invloed van de wind .....	7
3.2 Verdeling van afstanden tot zuidelijke geulgrens .....	8
4 EFFECT VAN VERANDERDE OMGEVINGSCONDITIES .....	10
4.1 Stroming op de rivier .....	10
4.2 Windvelden .....	20
5 TOETSING AAN RICHTLIJNEN EN VERGELIJKING MET GELIJKSOORTIGE BOCHTEN.....	24
5.1 Breedte en bochtstraal van de vaarweg.....	24
5.2 Vergelijking padbreedte uit AIS en volgens RVW 2017 .....	26
6 CONCLUSIES.....	27
REFERENTIES.....	29
APPENDIX 1: MEMO 'AIS ANALYSE GEBRUIK HUIDIGE VAARWEG'	
APPENDIX 2: RAPPORT 'MODELLERING VAN DE STROMING ROND HET NIEUWE STADION'	
APPENDIX 3: RAPPORT 'VO WINDONDERZOEK VAARGEUL'	

## SAMENVATTING

Een nieuw Feyenoord stadion is gedeeltelijk in de bestaande vaargeul van de Nieuwe Maas ontworpen waardoor de vaargeul (Bocht van Esch) 35 m naar het noorden verplaatst moet worden. MARIN heeft een onderzoek uitgevoerd naar de nautische consequenties (nautische veiligheid en vlotheid) van het verleggen van de vaargeul en de bouw van een langsdam als aanvaarbescherming en twee 'getijde parken'. De situatie is in Figuur 1-1 weergegeven; de rode lijn geeft de as van de langsdam aan en de kruin van de getijde parken.



*Voorgestelde situatie met Feyenoord stadion, langsdam en getijdeparken*

Het uitgevoerde onderzoek bestaat uit een analyse van het gebruik van de huidige vaarweg met behulp van AIS-gegevens en een beoordeling van de nieuwe situatie met aangepaste vaarweg. Hierbij zijn ook de effecten van veranderende stroombeelden en een veranderend windpatroon (vooral bij ZW-wind) meegenomen. Daarnaast is de huidige en toekomstige vaarweg getoetst aan de Richtlijnen Vaarwegen 2017 [1]<sup>1</sup> en is een vergelijking gemaakt met de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek voor gelijksoortige bochten.

Het onderzoek leidt tot de volgende hoofdconclusie:

Het 35 m verplaatsen van de gegarandeerde vaargeul naar het noordoosten ter hoogte van het nieuw te bouwen Feyenoord stadion levert geen problemen op voor de scheepvaart. De scheepvaart maakt in de huidige situatie al nauwelijks gebruik van de nu nog beschikbare zuidwestelijke strook van de gegarandeerde vaargeul. De effecten van veranderende stroombeelden en een veranderend windpatroon zijn zeer klein en niet ongunstig te noemen. De langsdam geleidt de stroom beter waardoor onregelmatigheden in het huidige stroombeeld verminderen en levert ook een betere vaarwegbegrenzing voor de scheepvaart. De nieuwe bebouwing werkt als een soort windscherm bij zuidwestelijke wind. Ook kan de Bocht van Esch qua vlotheid en veiligheid, nu en in de toekomst niet als kritisch worden beoordeeld in de vergelijking met gelijksoortige bochten.

<sup>1</sup> De Richtlijnen Vaarwegen 2017 gelden in principe niet voor vaarwegen met een langsstroming van meer dan 0,5 m/s. De richtlijnen worden daarom als ondergrens gezien voor de vormgeving van de beschouwde bocht.

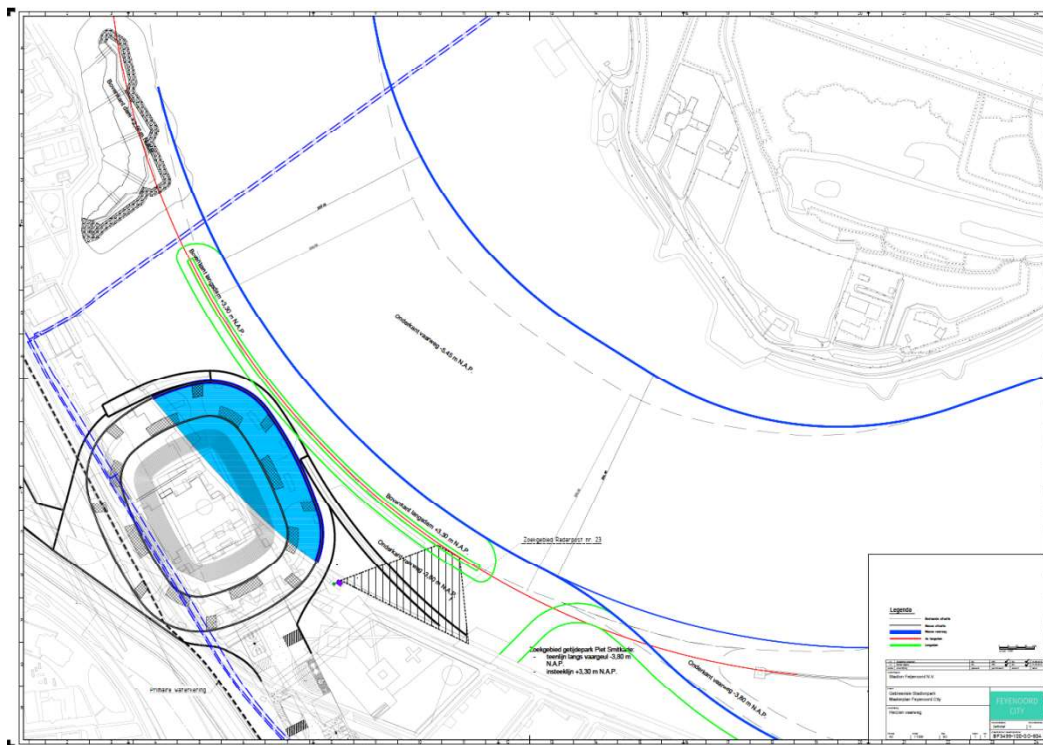


## 1 INLEIDING

### 1.1 Probleemstelling

Havenbedrijf Rotterdam N.V. (HbR) heeft MARIN gevraagd een onderzoek uit te voeren naar de nautische consequenties van het verleggen van de vaargeul van de Nieuwe Maas ter hoogte van een nieuw te bouwen Feyenoord stadion. De situatie is in Figuur 1-1 weergegeven.

Het nieuwe stadion is in de vaarweg geprojecteerd om het ruimtegebruik aan de landzijde te beperken. HbR heeft om een aanvaarbescherming in de rivier gevraagd om het stadion te beschermen. De projectorganisatie wil dit realiseren door middel van een langsdam. Hiervoor zou de ontwerpvaargeul (gegarandeerde vaargeul) 35 m naar het noorden verplaatst moeten worden. Dit is weergegeven in Figuur 1-1 door de blauwe lijnen (t.o.v. de huidige situatie die ingetekend is d.m.v. de grijs gestreepte lijnen). Daarnaast zijn er ten zuidoosten en ten zuidwesten van het stadion nog optioneel twee 'getijdeparken' aan de buitenbocht gepland in lijn met de langsdam. De rode lijn in Figuur 1-1 geeft de as van de langsdam aan en de kruin van de getijdeparken.



Figuur 1-1 Voorgestelde situatie met Feyenoord stadion, langsdam en getijdeparken

### 1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is het beoordelen van de nautische veiligheid en vlotheid van de nieuwe situatie na het verleggen van de vaarweg in de Bocht van Esch ten gevolge van de bouw van een stadion met een langsdam in de rivier en twee getijdeparken.

### 1.3 Uitwerking

In een overleg op 27 juni 2018 tussen de HbR, de projectleider Infrastructuur Feyenoord-city en MARIN is een mogelijke aanpak van het nautisch onderzoek besproken. MARIN heeft daarin voorgesteld om het onderzoek in twee fasen te verdelen:

- Fase 1 is een analyse van het gebruik van de huidige vaarweg met behulp van AIS-gegevens en een beoordeling van de nieuwe situatie met aangepaste vaarweg. Hierbij worden ook de effecten van veranderende stroombeelden en een veranderend windpatroon (vooral bij ZW-wind) meegenomen. Daarnaast worden de huidige en toekomstige vaarweg getoetst aan de Richtlijnen Vaarwegen 2017 [1]<sup>2</sup> en wordt een vergelijking gemaakt met de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek voor gelijksoortige bochten.
- Fase 2 wordt alleen uitgevoerd als uit fase 1 blijkt dat in de nieuwe situatie het verkeer minder vlot en veilig kan passeren dan in de bestaande situatie. Deze fase zal bestaan uit een real-time simulatoronderzoek in een 'druk' verkeersbeeld. Ervaren schippers testen met behulp van twee simulatoren ontmoetingen van maatgevende schepen, in een verkeersbeeld met overige vaart. Dit verkeersbeeld wordt samengesteld op grond van de AIS-gegevens, die in fase 1 zijn geanalyseerd.

Het voorliggende rapport beschrijft de uitwerking van fase 1 zoals geoffreerd in offerte Nr. 31355.600/1, d.d. 4 juli 2018.

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van AIS-gegevens, stroombeelden en windvelden, zoals aangeleverd door HbR.

Het voorliggende rapport beschrijft achtereenvolgend de volgende punten:

- Toegepaste methode
- AIS-analyse en gebruik huidige vaarweg.
- Effect van veranderde omgevingscondities.
- Toetsing aan richtlijnen en vergelijking met gelijksoortige bochten.
- Conclusies.

---

<sup>2</sup> De Richtlijnen Vaarwegen 2017 gelden in principe niet voor vaarwegen met een langsstroming van meer dan 0,5 m/s. De richtlijnen worden daarom als ondergrens gezien voor de vormgeving van de beschouwde bocht.

## 2 TOEGEPASTE METHODE

### *AIS-analyse en gebruik huidige vaarweg*

De AIS-analyse is uitgevoerd om te beoordelen hoe de schepen de rivier gebruiken in de huidige situatie (vaargedrag, padbreedte en vaarbanen t.o.v. de ontwerpvaargeul). Daarnaast wordt de AIS-analyse gebruikt voor het bepalen van het aantal passerende schepen en de verdeling van scheepsgrootte over de vloot. De AIS-analyse is uitgevoerd met de gegevens van de periode juli 2017 tot en met juni 2018. Voor de analyse is de vloot verdeeld in drie lengteklassen:

- Binnenschepen < 85 m (Kleine motorschepen).
- Binnenschepen met een lengte tussen 85 m en 135 m (Grote motorschepen, o.a. CEMT Klasse IV en Va).
- Binnenschepen > 135 m (o.a. koppelverbanden en duweenheden).

Op een dwarsdoorsnede van de bocht ter hoogte van het te bouwen stadion is een analyse gemaakt van het verkeer waarbij de volgende zaken gepresenteerd worden:

- Verdeling van vaarsnelheid van passerende schepen per lengteklasse en per vaarrichting.
- Verdeling van padbreedte van passerende schepen per lengteklasse en per vaarrichting.
- Verdeling van padbreedte per windrichting en windsterkte.
- Verdeling van passeerafstanden t.o.v. de geulgrens per lengteklasse en per vaarrichting.
- Aantal passages per vaarstrook van 10 m per richting en per lengteklasse.
- Verdeling van diepgang van passerende schepen per lengteklasse per vaarrichting (zoals deze is weergegeven in het AIS-bericht).

De resultaten van de AIS-analyse zijn in de vorm van plots van de tracks, tabellen en staafdiagrammen gegeven in Appendix 1. De AIS-analyse is uitgevoerd volgens een vaste methode. Hierdoor is de volgorde van de analyses in Hoofdstuk 3 van Appendix 1 niet gelijk aan de volgorde, zoals gebruikt in dit hoofdrapport.

### *Analyse stroombeelden en windpatroon*

Ten gevolge van de aanpassingen aan de rivier: stadion, langsdam en getijddeparken zal de stroming in de rivier niet alleen toenemen maar naar verwachting lokaal ook veranderen van richting. Deze veranderingen kunnen onrust in de koers van schepen veroorzaken. Vooral bij de koppen van de langsdam zijn veranderingen van de stroomrichting te verwachten. Aan de hand van de optredende stroomgradiënten is een schatting gemaakt van de effecten op de koers van de passerende schepen. De stroompatronen zijn per laag geanalyseerd, waardoor ook de verschillen van deze effecten op lege of geladen schepen kunnen worden meegenomen. De door HbR toegeleverde stroompatronen zijn gebruikt om de invloed van deze effecten te schatten.

De geplande bebouwing aan de ZW kant van de vaarweg (niet alleen het stadion, maar ook andere hoge gebouwen) heeft bij ZW wind invloed op de vaart langs het stadion. Vlak voor en na de gebouwen ontstaat meestal een verhoging van de windsnelheid terwijl achter de bebouwing de wind sterk zal afnemen of zelfs zo sterk van richting kan veranderen dat het schip naar de bebouwing toe wordt gezet. De door HbR toegeleverde resultaten van windberekeningen zijn gebruikt om de invloed van deze effecten te schatten.

### *Toetsing aan richtlijnen en vergelijking met gelijksoortige bochten*

Om een eerste schatting van de nautische veiligheid en vlotheid op de vaarweg ter plaatse in de huidige situatie en na aanpassing van de vaarweg te kunnen maken is de vaarweg in de huidige situatie en na aanpassing getoetst aan de Richtlijnen Vaarwegen 2017. Daarnaast zijn de huidige situatie en de aangepaste vaarweg vergeleken met resultaten van eerder onderzoek voor gelijksoortige bochten.

*Resultaten fase 1*

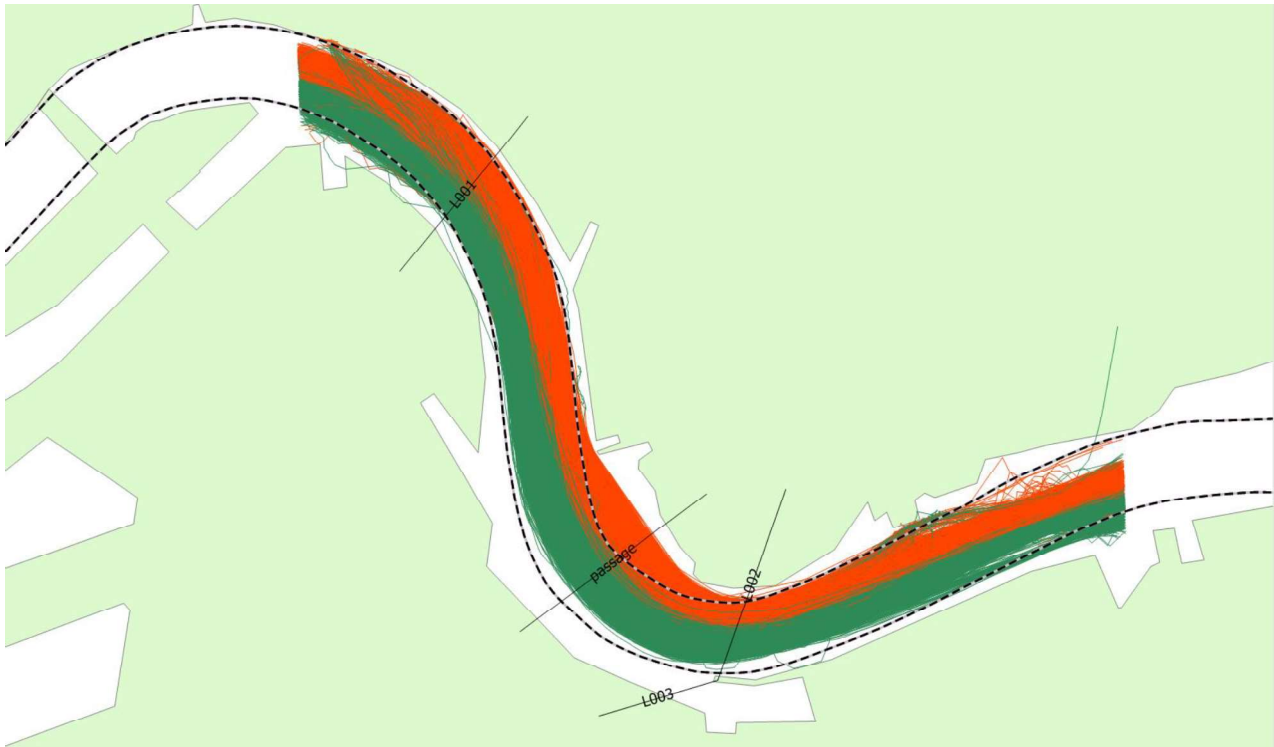
Uit de resultaten van fase 1 is beoordeeld of de nautische veiligheid en vlotheid in de toekomstige situatie verandert ten opzichte van de huidige situatie. Bij deze analyse is geen rekening gehouden met toekomstscenario's ten aanzien van eventuele groei van het vervoer of verandering van de vlootsamenstelling. De resultaten van fase 1 zijn vastgelegd in conclusies.

### 3 AIS-ANALYSE EN GEBRUIK HUIDIGE VAARWEG

De AIS-analyse en de daaruit volgende resultaten zijn in detail beschreven in Appendix 1. De analyse is uitgevoerd voor de periode juli 2017 tot en met juni 2018. Voor het gedrag van het verkeer in de huidige situatie wordt eerst globaal gekeken naar de vaarbanen van de schepen t.o.v. de ontwerpvaargeul (gegarandeerde vaargeul). Figuur 3-1 geeft als voorbeeld de vaarbanen van het verkeer van één maand stroomopwaarts en stroomafwaarts. Al het verkeer dat de lijnen L001 en L002 passeert is meegenomen in de analyse. Het verkeer vanuit en naar het 'Zuiddiepje' (L003) bestaat met name uit schepen onder de 85m. Deze verkeersstroom wordt verder buiten beschouwing gelaten.

Bij de analyse van de vaarsnelheid, padbreedte en afstand tot de geulgrenzen zijn schepen < 85 m weggelaten omdat voor de dimensies van de vaarweg de grotere lengteklassen maatgevend zijn.

De analyse van de vaarbanen van één maand laat al zien dat de vaarweg anders gebruikt wordt dan de ontwerpvaargeul zou aangeven. In de binnenbocht is voldoende waterdiepte beschikbaar en varen de schepen hier ten NO van de geulgrens. Hierdoor is er meer breedte beschikbaar dan alleen de ontwerpvaargeul.



*Figuur 3-1 Vaarbanen van één maand van verkeer op de Nieuwe Maas, stroomopwaarts (groen) en stroomafwaarts (rood)*

Om een beter beeld te krijgen van het vaargedrag wordt in de volgende paragrafen een nadere analyse gegeven van de bevindingen uit de AIS-analyse van de schepen, die de passagelijne passeren. De resultaten van deze analyse worden in Hoofdstuk 5 gebruikt om dit deel van de huidige en de toekomstige vaarweg te toetsen aan de RVW2017 en te vergelijken met twee gelijksoortige bochten qua dimensies, verkeersaanbod en vlootsamenstelling.

Om de spreiding binnen de AIS-gegevens aan te geven, is steeds zijn de gemiddelde waarden, de 5% percentielen en de 95% percentielen gegeven in een aantal tabellen. 5% van de beschouwde resultaten is kleiner dan het 5% percentiel en 5% is groter dan het 95% percentiel. 90% van de beschouwde resultaten ligt tussen deze grenzen.

### 3.1 Vaarsnelheid, padbreedte en invloed van de wind

Voor een goede beoordeling van het vaargedrag in de beschouwde bocht worden de vaarsnelheid over de grond stroomopwaarts en stroomafwaarts, de padbreedte en de invloed van de wind op de padbreedte beoordeeld (zie Appendix 1, Paragraaf 3.3 t/m 3.6). Naast de gemiddelde waarden voor vaarsnelheid en padbreedte zijn ook de 5% percentiel en de 95% percentiel gegeven.

#### *Vaarsnelheid over de grond*

Het scheepvaartverkeer gedraagt zich als op een gewone doorgaande vaarweg op het gebied van de snelheid. De vaarsnelheden over de grond en de verschillen tussen opvaart en afvaart geven een normaal beeld te zien voor een doorgaande vaarweg. De gemiddelde vaarsnelheid over de grond stroomopwaarts is 14,8 km/u terwijl de schepen stroomafwaarts gemiddeld 15,3 km/u varen. De effecten van het getij op de snelheid over de grond, zijn niet meegenomen omdat deze uitmiddelen in de resultaten uit de AIS analyse.

#### *Gerealiseerde padbreedten*

De gerealiseerde padbreedten zijn per vaarrichting en per lengteklasse bepaald en gerelateerd aan de gemiddelde breedte<sup>3</sup> van die klassen. De resultaten zijn gegeven in Tabel 3-1. Het is duidelijk dat de schepen, die stroomopwaarts in de buitenbocht varen een kleinere padbreedte hebben dan de schepen, die in de binnenbocht stroomafwaarts varen. De kleine padbreedten bij de 5% percentiel van de koppilverbanden en duweenheden wordt veroorzaakt door de lange tweebakkers en koppilverbanden met een relatief kleine breedte in deze lengteklasse. De breedte waarmee de padbreedten in deze lengteklasse dimensie loos is gemaakt is de breedte van de duweenheden (22,8 m). De dimensie loze padbreedte wordt daardoor < 1 bij een deel van de vaarten met tweebakkers en koppilverbanden. De waarden van 5% padbreedten worden verder niet gebruikt voor de bepaling van de benodigde breedte van de vaarweg in Hoofdstuk 5 omdat de vaarweg gedimensioneerd is voor de duweenheden met een breedte van 22,8 m voor de geladen vaart.

De gerealiseerde padbreedten zien er realistisch uit en ondersteunen daarmee de conclusie uit de gerealiseerde vaarsnelheden dat het verkeer zich gedraagt als op een gewone doorgaande vaarweg. De gerealiseerde padbreedten worden in Hoofdstuk 5 vergeleken met benodigde breedte volgens de Richtlijnen Vaarwegen 2017. Hiermee kan worden beoordeeld hoe het ruimtegebruik in deze bocht te relateren is aan de gegevens in de RVW 2017.

Tabel 3-1 Gerealiseerde padbreedten gerelateerd aan de scheepsbreedte per lengteklasse

Lengteklasse	5% percentiel		Gemiddelde		95% percentiel	
	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
Grote motorschepen	1,21	1,03	2,15	1,59	3,64	2,52
Koppilverbanden en duweenheden	0,75	0,66	1,71	1,27	2,85	2,32

#### *Invloed van de wind op de padbreedte*

De invloed van de wind op de padbreedte is geanalyseerd om te kunnen beoordelen of de verandering van de windpatronen ten gevolge van de nieuwe bebouwing veel invloed zal hebben op het gebruik van de vaarweg. De windgegevens van het KNMI zijn gebruikt voor deze analyse.

De padbreedten zijn geanalyseerd voor vier windsectoren:

- N, NO en O: Windrichtingen waarbij het schip in de bocht een groter drifthoek krijgt resulterend in grotere padbreedten.
- NW: Min of meer neutrale windrichting, die weinig invloed heeft op de padbreedte omdat de wind grotendeels van voren of van achteren komt.

<sup>3</sup> De gemiddelde breedte per klasse is bepaald op grond van het gewogen gemiddelde. Hiervoor is uit het aantal schepen per lengteklasse van 5 m (zie Figuur 3-1 van Appendix 1) de breedte bepaald per klasse.



- ZO: Min of meer neutrale windrichting, die weinig invloed heeft op de padbreedte omdat de wind grotendeels van voren of van achteren komt.
- Z, ZW en W: Windrichtingen waarbij het schip in de bocht een kleinere drifthoek krijgt resulterend in kleinere padbreedten.

Naast de windrichtingen zijn de gerealiseerde padbreedte ook verdeeld over de windsterkte:

- Zwak/matig: t/m Bft 4
- Vrij krachtig/hard: vanaf Bft 5

Tabel 3-2 geeft de gerealiseerde padbreedten per windsector en windsterkte voor stroomopwaarts en stroomafwaarts varende schepen, gerelateerd aan de nominale padbreedte (padbreedte zonder windinvloed). De padbreedte bij windsectoren 'ZO en NW' is gebruikt als nominale padbreedte omdat bij deze windrichtingen de invloed van de wind klein is. Door de padbreedte bij de lage windsnelheden te nemen wordt de invloed van de wind nog verder verkleind (blauwe cellen in Tabel 3-2).

De bocht ligt dwars op de dominante ZW wind. De padbreedten worden daarom het meest beïnvloed door wind uit NO en ZW richting. Vrij krachtige/harde wind uit de sector 'N, NO en O' geeft de grootste padbreedte (oranje cellen) en vrij krachtige/harde wind uit de sector 'Z, ZW en W' geeft de kleinste padbreedte (groene cellen). Dit geldt voor zowel gemiddelden als voor grenswaarden. Ook bij de zwakke/matige wind is voor deze sectoren dit verschil nog aanwezig.

De gerealiseerde padbreedte is afhankelijk van de windconditie 13 tot 14% kleiner (ondergrens van de padbreedte) tot 8% groter (bovengrens van de padbreedte). Bij de opvaart zijn de effecten iets kleiner dan bij de afvaart omdat de gemiddelde diepgang in de opvaart iets groter is (meer geladen schepen, zie ook Paragraaf 3.2 van Appendix 1).

Tabel 3-2 Effect van de wind op de gerealiseerde padbreedten

Windconditie	Freq. (%)	5% percentiel		Gemiddelde		95% percentiel	
		afwaarts	opwaarts	afwaarts	opwaarts	afwaarts	opwaarts
N, NO en O, vrij krachtig/hard	11,6%	1,07	1,01	1,06	1,05	1,06	1,08
N, NO en O, zwak/matig	19,7%	1,05	1,02	1,03	1,02	1,02	1,03
ZO en NW, vrij krachtig/hard	5,6%	0,97	1,02	0,95	0,99	0,95	1,00
ZO en NW, zwak/matig	9,1%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Z, ZW en W, vrij krachtig/hard	24,8%	0,93	1,01	0,87	0,99	0,86	1,00
Z, ZW en W, zwak/matig	29,0%	0,98	1,01	0,95	0,99	0,94	0,99

### 3.2 Verdeling van afstanden tot zuidelijke geulgrens

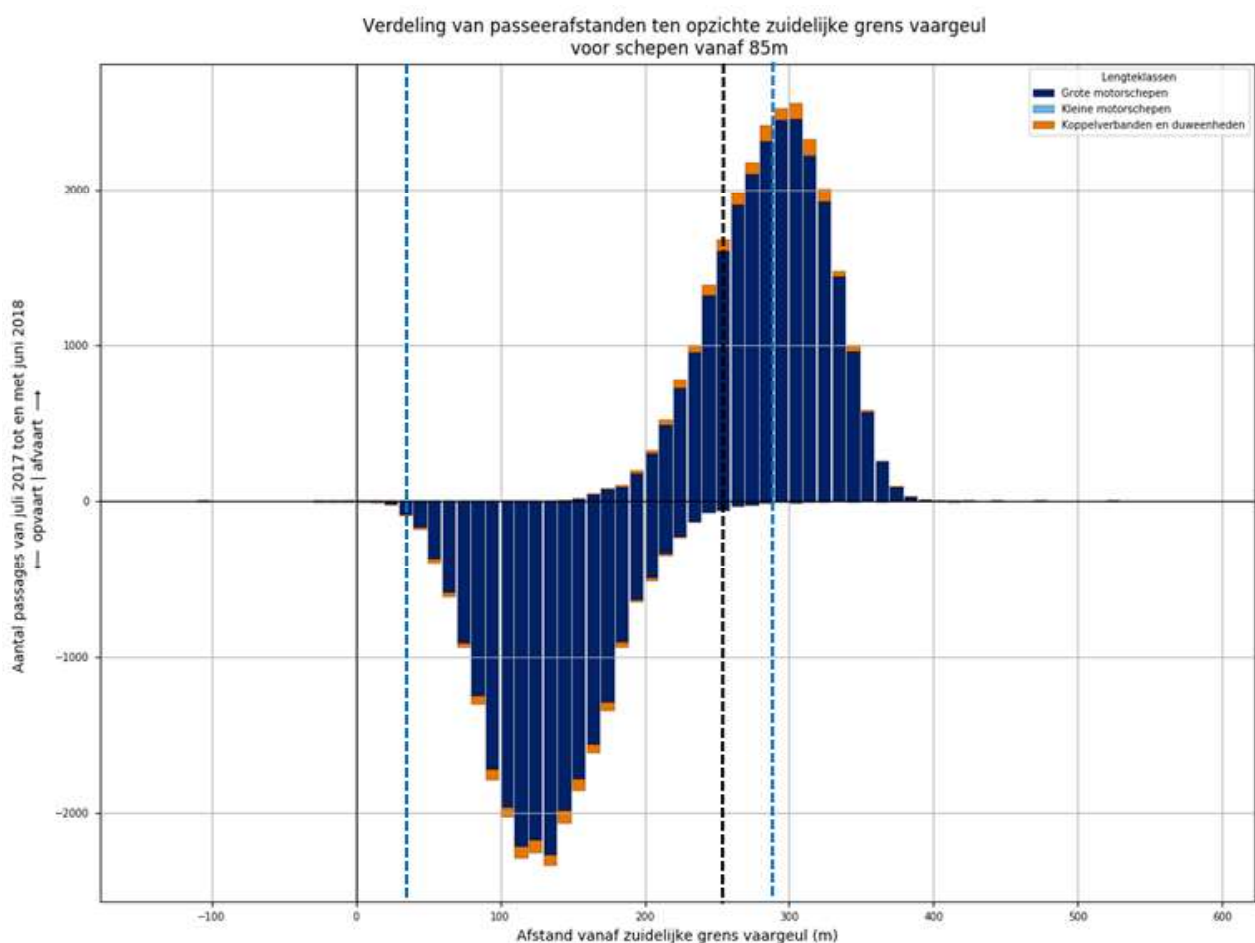
Om de effecten van het verplaatsen van de vaargeul te kunnen beoordelen is het ruimtegebruik van de verkeersstromen in de huidige situatie geanalyseerd. Met de gegevens van de vaarbanen van de individuele schepen en de gerealiseerde padbreedte per schip zijn de afstanden tot de zuidelijke geulgrens bepaald. De zuidelijke geulgrens in de huidige situatie ligt ongeveer op de kruin van de te bouwen langsdam. De geplande verplaatsing van de vaargeul van de zuidelijke geulgrens is van daar uit 35 m naar het noordoosten (zie ook Figuur 1-1).

De verdeling van de verkeersstromen in de huidige situatie is gegeven in Figuur 3-2. In deze figuur zijn ook de huidige noordelijke geulgrens en de nieuwe geulgrenzen aangegeven. Voor het bepalen van de afstanden tot de zuidelijke geulgrens zijn steeds de maatgevende afstanden per vaart gebruikt. Voor de opvaart is dat het uiterste punt aan de stuurboordzijde van de schepen en voor de afvaart is dat ook het uiterste punt aan stuurboordzijde van de schepen. De numerieke waarden van de afstanden zijn gegeven in Tabel 3-3.

Uit Figuur 3-2 blijkt dat in de huidige situatie slechts een zeer klein deel van de uiterste punten van de scheepscontouren (109 van de 49561 schepen, 0,2% in het geanalyseerde jaar) de geplande verplaatsing van 35 m van de zuidelijke geulgrens overschrijdt. Uit de gegevens in Tabel 3-3 blijkt dat 95% van de schepen meer dan 69 m afstand houden van de huidige zuidelijke geulgrens.

Het feit dat in de huidige situatie de schepen aan de noordzijde gebruik maken van de aanwezige diepte buiten de ontwerpvaargeul zal niet veranderen bij het verplaatsen van de geul. Voor de schepen in de huidige situatie en in de toekomst is het natuurlijke diepteverloop maatgevend. Bij het onderhoud van de vaargeul zal hier rekening mee gehouden moeten worden.

Bij het verplaatsen van de vaargeul zal de verkeersdichtheid iets toenemen, doordat de schepen, die in de huidige situatie nog gebruikmaken van de meest zuidelijke strook van de vaargeul meer naar het noorden zullen varen. De daadwerkelijk beschikbare vaargeul wordt in de toekomst iets smaller. Dit effect is naar verwachting verwaarloosbaar omdat het aantal schepen dat nu van deze strook gebruikmaakt zeer klein is.



Figuur 3-2 Verdeling afstanden tot zuidelijke geulgrens

Tabel 3-3 Afstanden ten opzichte van zuidelijke geulgrens per lengteklasse

Lengteklasse	5% percentiel		Gemiddelde		95% percentiel	
	opvaart	afvaart	opvaart	afvaart	opvaart	afvaart
Grote motorschepen	69	133	288	347		
Koppelverbanden en duweenheden	57	129	279	344		



## 4 EFFECT VAN VERANDERDE OMGEVINGSCONDITIES

Door de aanpassingen van de lay-out van de rivier (langsdam, stadion en getijddeparken) en door de nieuwe (hoge) bebouwing langs de zuidoever zullen zowel de stroming op de rivier als het windpatroon veranderen. In dit hoofdstuk wordt beoordeeld of deze veranderingen een significante invloed zullen hebben op de scheepvaart.

### 4.1 Stroming op de rivier

Om de veranderingen van de stroming op de rivier te beoordelen zijn stroombeeldberekeningen uitgevoerd door Svasek (Appendix 2 'Modellering van de stroming rond het nieuwe stadion' 31 juli 2018). Er zijn berekeningen uitgevoerd voor twee extreme situaties: een combinatie van een gemiddeld eb springtij met een 1/1 jaar hoge Rijnafvoer en voor een combinatie van een gemiddeld vloed springtij met een 1/1 jaar lage Rijnafvoer. Voor beide condities zijn geen weersinvloeden meegenomen zoals wind, luchtdruk of opzet.

In Appendix 2 zijn de stroombeelden gegeven voor de bovenste laag van 1,5 m en voor de dieptegemiddelde stroom. Omdat de gemiddelde diepgang van de schepen ongeveer 2 m is (zie Appendix 1, Paragraaf 3.2) zijn de stroomsnelheden in de bovenste laag van 1,5 m beoordeeld; de gemiddelde stroom over de hele diepte van de rivier is voor de scheepvaart niet maatgevend, omdat de rivier hier plaatselijk vrij diep is (orde 8 tot 16 m - NAP).

Door Svasek zijn zes stroomscenario's doorgerekend, waarbij ook twee situaties met alleen de langsdam en het stadion zijn beschouwd (scenario's 2 en 5 in Appendix 2). Deze scenario's worden niet meegenomen in de beoordeling van de effecten van de stroom omdat bij deze scenario's de verandering van de stroomvelden kleiner is dan bij scenario 3 en 6 (zie Appendix 2, Figuren 3.15, 3.16, 3.32 en 3.33).

Tabel 4-1 Stroomscenario's voor huidige situatie en situatie met langsdam, stadion en getijddeparken

	Huidig	Toekomst
Maximale eb	scen 1	scen 3
Maximale vloed	scen 4	scen 6

Voor het beoordelen of de veranderingen van de stroom nadelige effecten voor de scheepvaart hebben is niet alleen naar de verschillen in stroom tussen huidige en toekomstige situatie gekeken, maar ook naar de totale stroombeelden in de huidige en de nieuwe situatie.

#### *Effect van veranderingen van de langsstroom bij de maximale eb situatie*

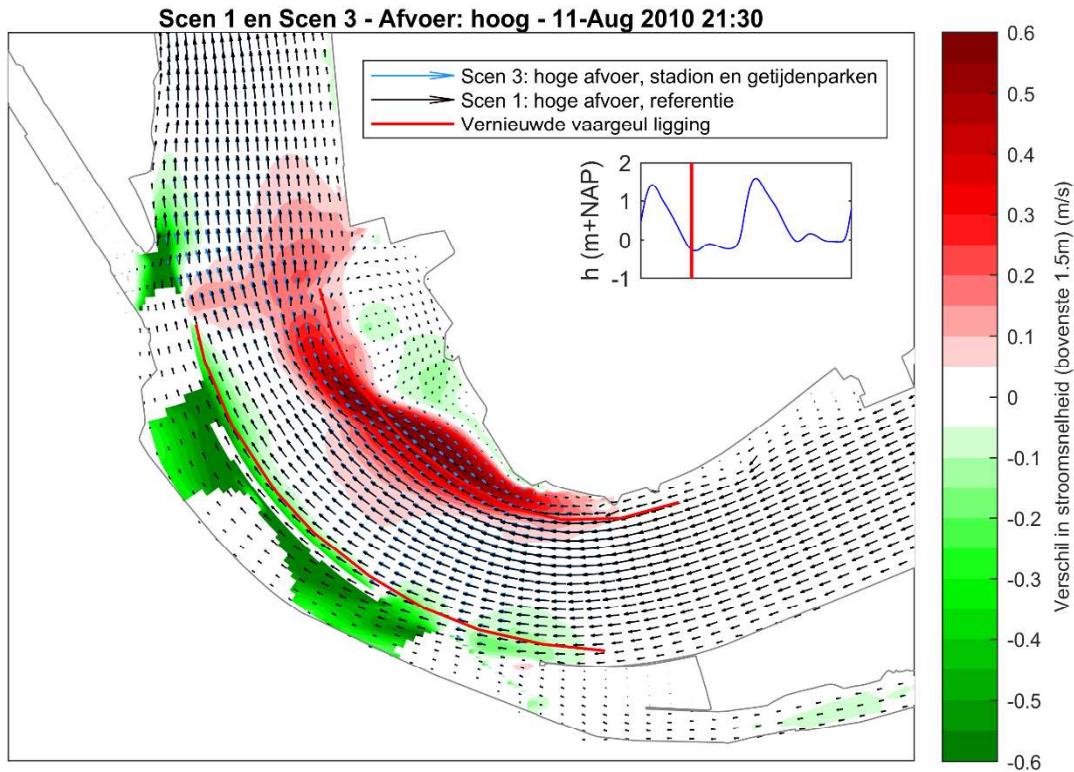
De verschillen in langsstroom tussen de huidige situatie (scen 1) en de toekomstige situatie (scen 3) zijn gegeven in Figuur 4-1 (rode kleur betekent toename van de stroom, groen betekent een afname). In de buitenbocht zijn er nauwelijks verschillen (+ of - 0,1 m/s). In de binnenbocht zijn wel grote verschillen te zien (tot + 0,6 m/s). Dit lijkt op het eerste gezicht een behoorlijke verstoring ten opzichte van de huidige situatie te zijn. Als we echter naar het huidige stroombeeld kijken (Figuur 4-2) zien we dat de stroom aan de benedenstroomse kant van bocht sterk vertraagt van orde 1,6 m/s naar minder dan 1 m/s. Deze vertraging wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de kuil<sup>4</sup>, die zich daar lokaal in de rivierbodem bevindt (zie Figuur 4-3). In het huidige stroombeeld varieert de langsstroom al 0,6 m/s.

In de toekomstige situatie zoals gegeven in Figuur 4-4 is de maximale stroomsnelheid nauwelijks hoger maar de hogere stroom is meer uitgespreid over de rivier. De rode gebieden in Figuur 4-1 vullen als het ware de gedeelten met lagere stroom in het huidige stroombeeld op waardoor de gemiddelde stroom

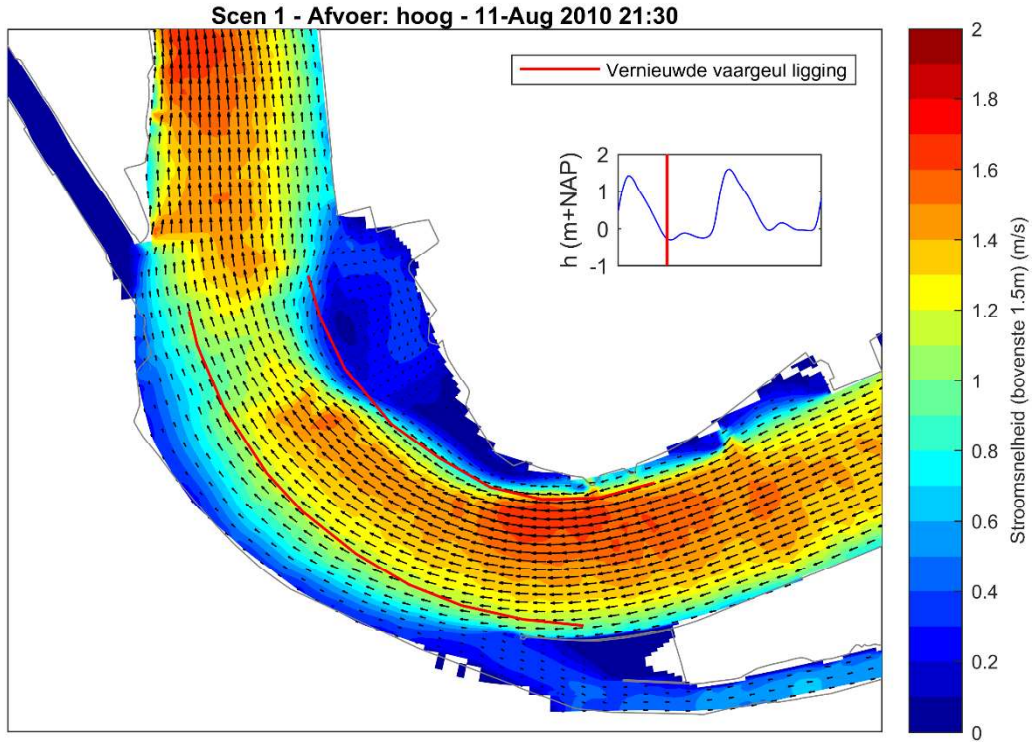
<sup>4</sup> Door de aanpassing van het stroombed van de rivier zou de bodemligging kunnen veranderen, waardoor het stroompatroon in de toekomst nog kan veranderen. In deze studie is daar geen rekening mee gehouden.

over een groter gebied wel hoger wordt, maar de onregelmatigheden die in het huidige stroombeeld voorkomen kleiner worden. Dit kan het effect van de langsdam zijn die de stroom meer 'kanaliseert'.

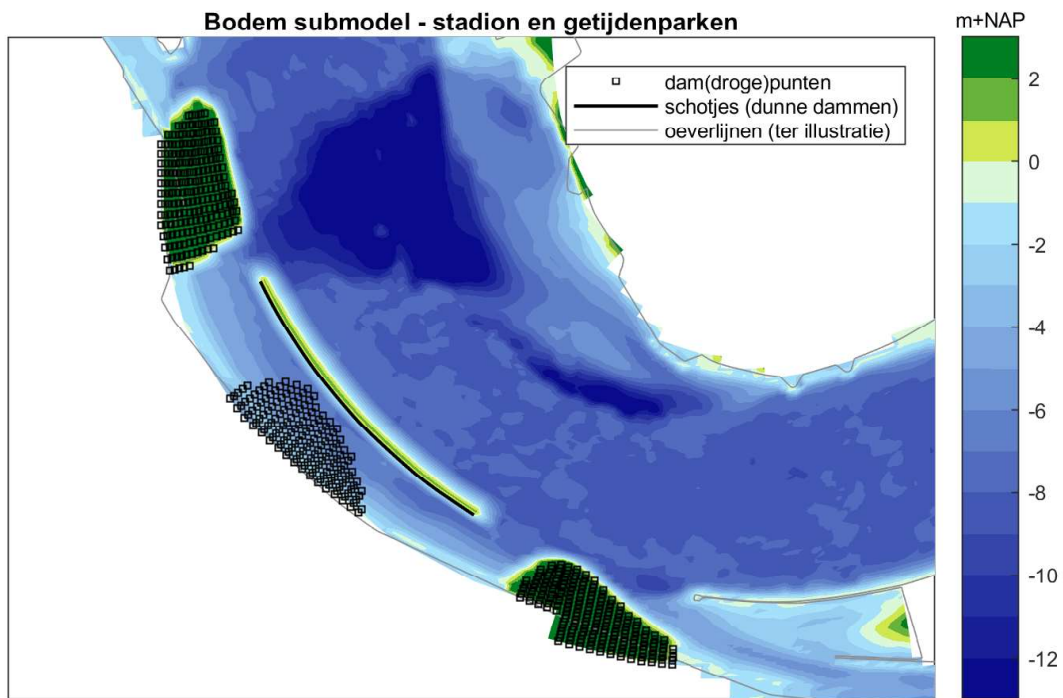
De schippers zullen over een groter gebied ebstroom ervaren maar er zal minder verstoring van de vaart zijn door verschillen in langsstroom, die in het huidige stroombeeld wel voorkomen. In principe zal de padbreedte in de binnenbocht iets toenemen bij een hogere ebstroomsnelheid. De variatie in padbreedte door de variërende langsstroom in de huidige situatie zal echter afnemen. De schippers zullen snel wennen aan de hogere stroomsnelheid en omdat de stroom minder varieert dan in de huidige zijn in de toekomst geen problemen te verwachten met de hogere stroomsnelheid.



*Figuur 4-1* Verschilsnelheden scen 1 met scen 3 (max. eb) voor bovenste 1,5 m laag

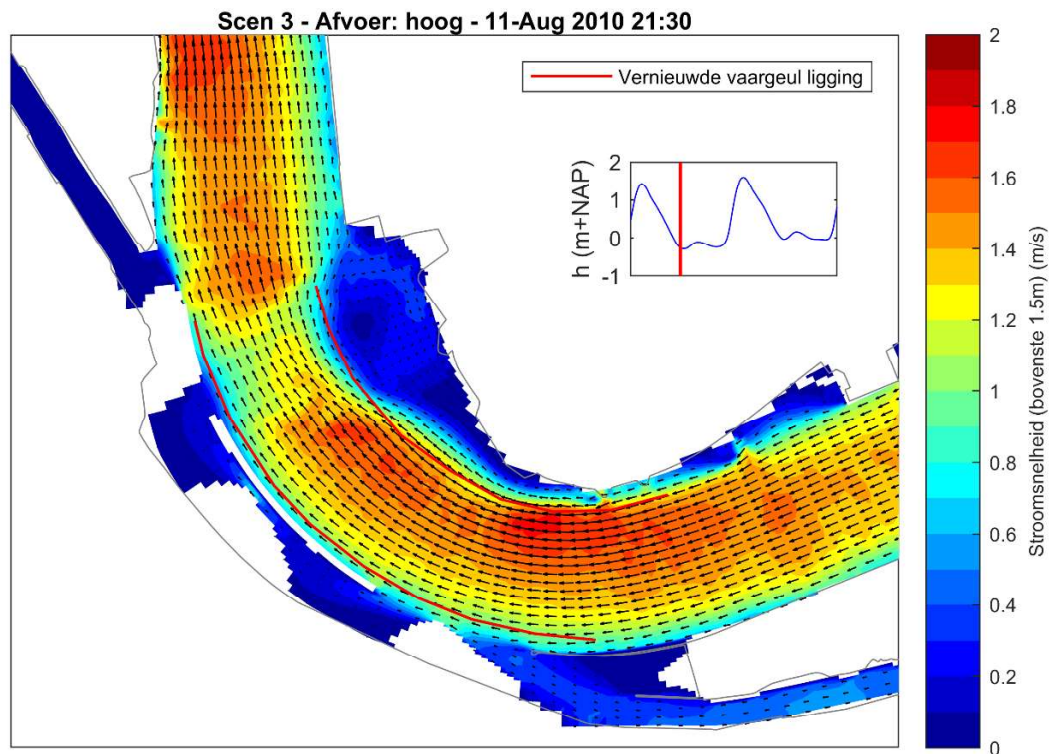


*Figuur 4-2 Stroomsnelheden scen 1 (max. eb) voor bovenste 1,5 m laag*



*Figuur 4-3 Bodemligging met diep gedeelte aan benedenstreamse kant van bocht*

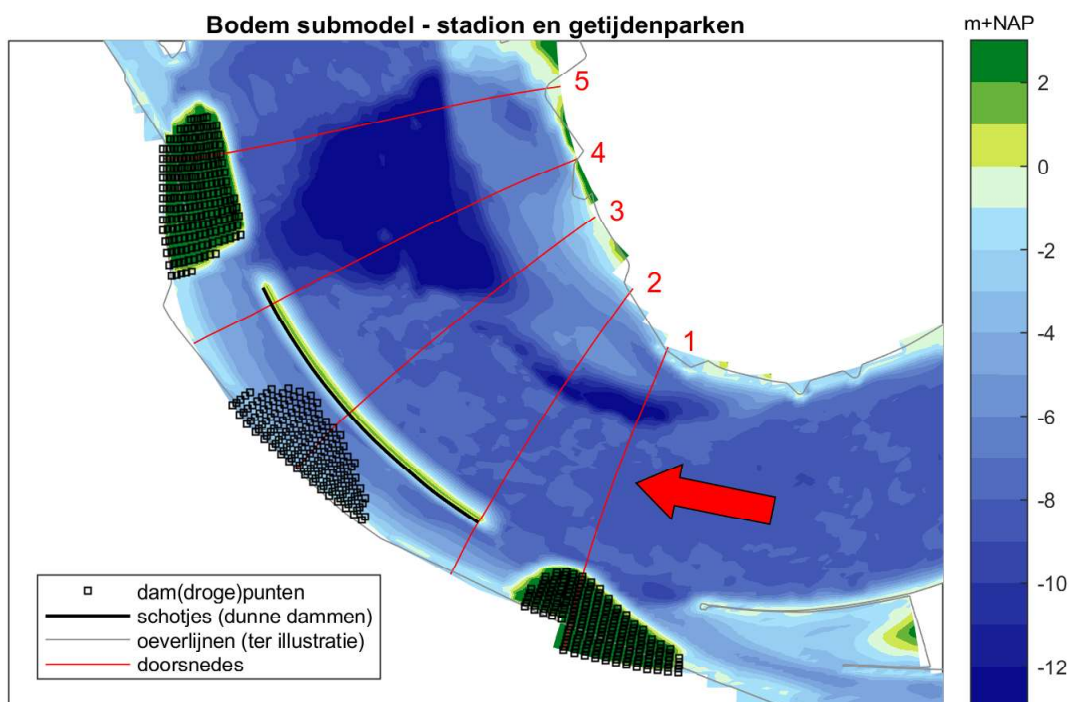




Figuur 4-4 Stroomsnelheden scen 3 (max. eb) voor bovenste 1,5 m laag

*Effect van veranderingen van de dwarsstroom bij de maximale eb situatie*

De verschil in dwarsstroom wordt uitgedrukt in de richting van de pijlen in de huidige situatie (Figuur 4-2) en de toekomstige situatie (Figuur 4-4). Volgens deze figuren is het verschil in dwarsstroom klein maar dit is moeilijk te kwantificeren aan de hand van deze figuren. Om dit effect nader te kunnen beoordelen zijn in Appendix 2 ook verschilplaatjes gemaakt van de dwarsstroom op vijf dwarsdoorsneden op de rivier (zie Figuur 4-5).

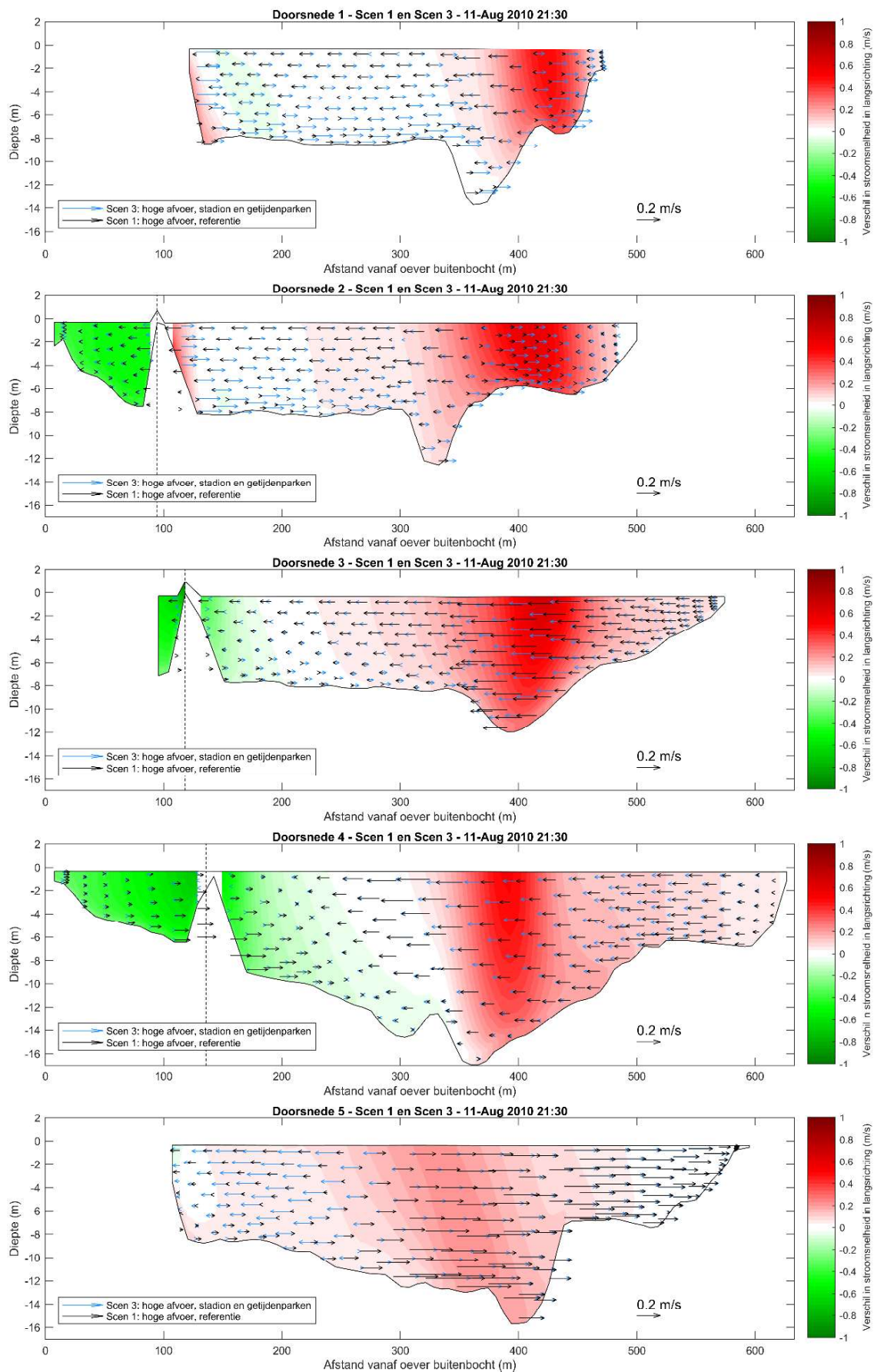


Figuur 4-5 Locaties van de dwarsdoorsneden. De rode pijl geeft de richting aan vanaf welke de dwarsdoorsneden worden bekeken

Figuur 4-6<sup>5</sup> geeft de dwarsdoorsneden met de verschillen in dwarsstroomsnelheden (zwarte en blauwe pijltjes) in scenario 1 en in scenario 3. Uit deze figuur blijkt dat over het algemeen de verschillen in dwarsstroomsnelheden klein zijn, orde 0,1 tot 0,2 m/s. In bepaalde gevallen draait de dwarsstroom van teken om van 0,1 m/s naar buiten naar 0,1 m/s naar binnen. Alleen in dwarsdoorsnede 5 (benedenstroomse kant van de bocht) lopen de dwarsstroomsnelheden in de buitenbocht op van orde 0,1 m/s naar 0,3 m/s. Gezien de gemiddelde vaarsnelheden van orde 14,5 km/u door het water zal de opstuurhoek door deze grotere dwarsstroom tijdelijk iets toenemen, maar door het feit dat deze dwarsstroom maar lokaal voorkomt, dit zal geen merkbare verstoring van de opvaart geven.

---

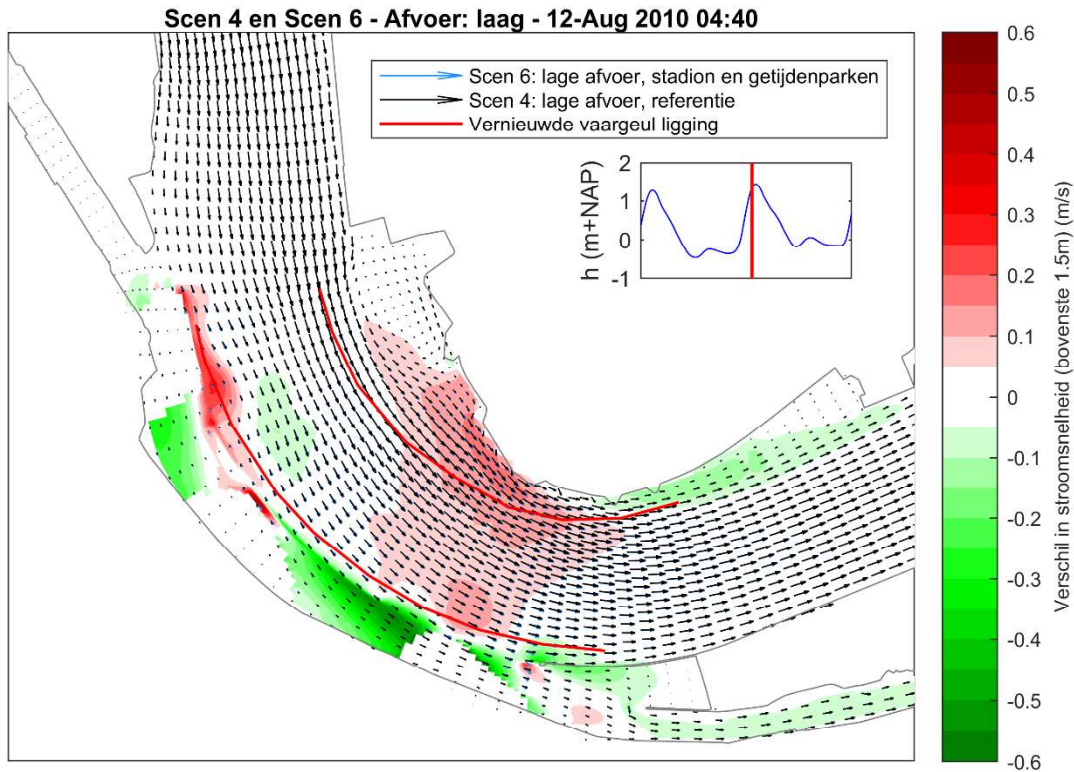
<sup>5</sup> De rode en groene gebieden in deze figuur geven weer het verschil in langsstroom aan zoals in Figuur 4-1.



**Figuur 4-6** Dwarsdoorsneden op vijf locaties met het verschil in snelheid langs de as van de rivier in de kleurschaal tussen scen 1 en scen 3. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen

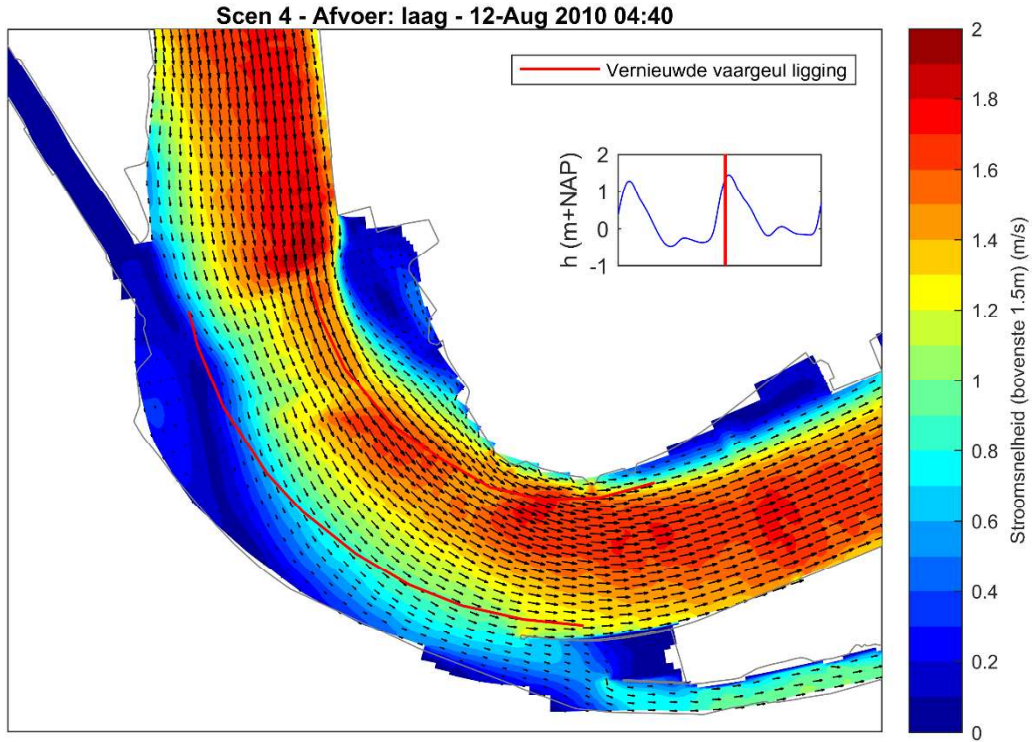
### Effect van veranderingen van de langsstroom bij de maximale vloed situatie

De verschillen in langsstroom tussen de huidige situatie (scen 4) en de toekomstige situatie (scen 6) zijn gegeven in Figuur 4-7. In de binnenbocht zijn kleine verschillen te zien (tot 0,15 m/s). Aan de benedenstroomse kant van de buitenbocht zijn er verschillen tot 0,2 m/s. Vergelijking van de huidige situatie (Figuur 4-8) en de toekomstige situatie (Figuur 4-9) laten zien dat de stroom aan de benedenstroomse kant van de buitenbocht iets gelijkmatiger wordt. De stroomvertraging op die locatie in de huidige situatie wordt minder in de toekomst, waardoor de scheepvaart minder last zal hebben van onregelmatigheden in de langsstroom.

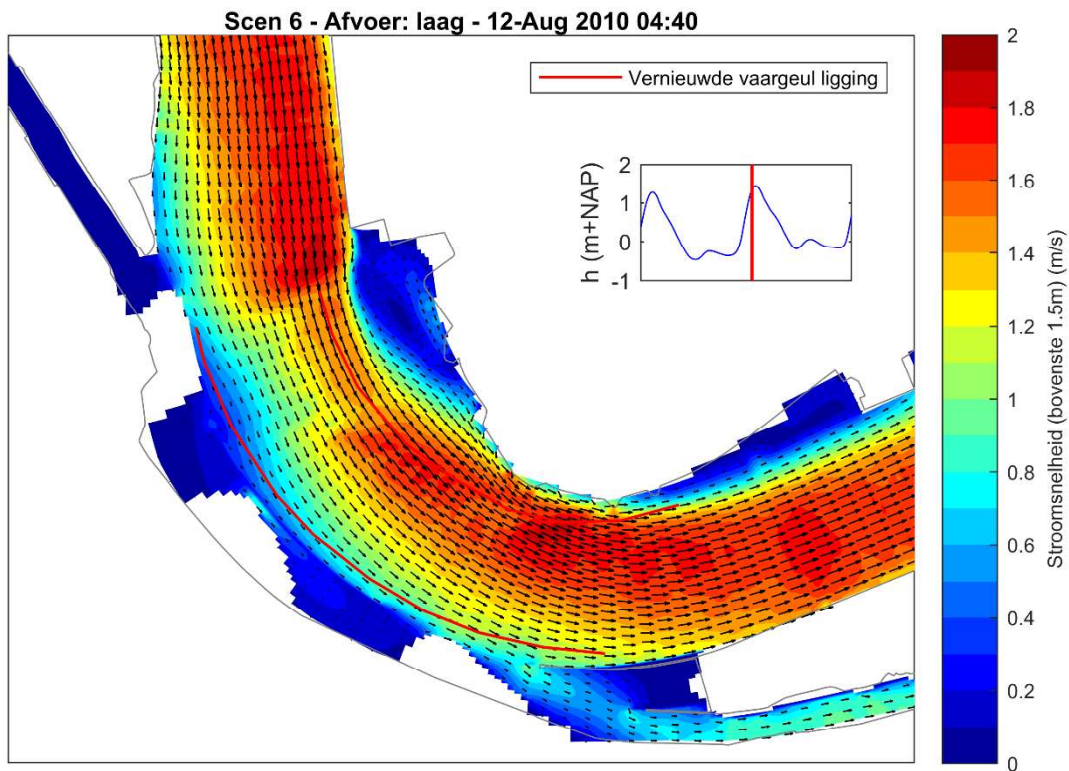


Figuur 4-7 Verschilnelheden scen 4 met scen 6 (max. vloed) voor bovenste 1,5 m laag





*Figuur 4-8 Stroomsnelheden scen 4 (max. vloed) voor bovenste 1,5 m laag*

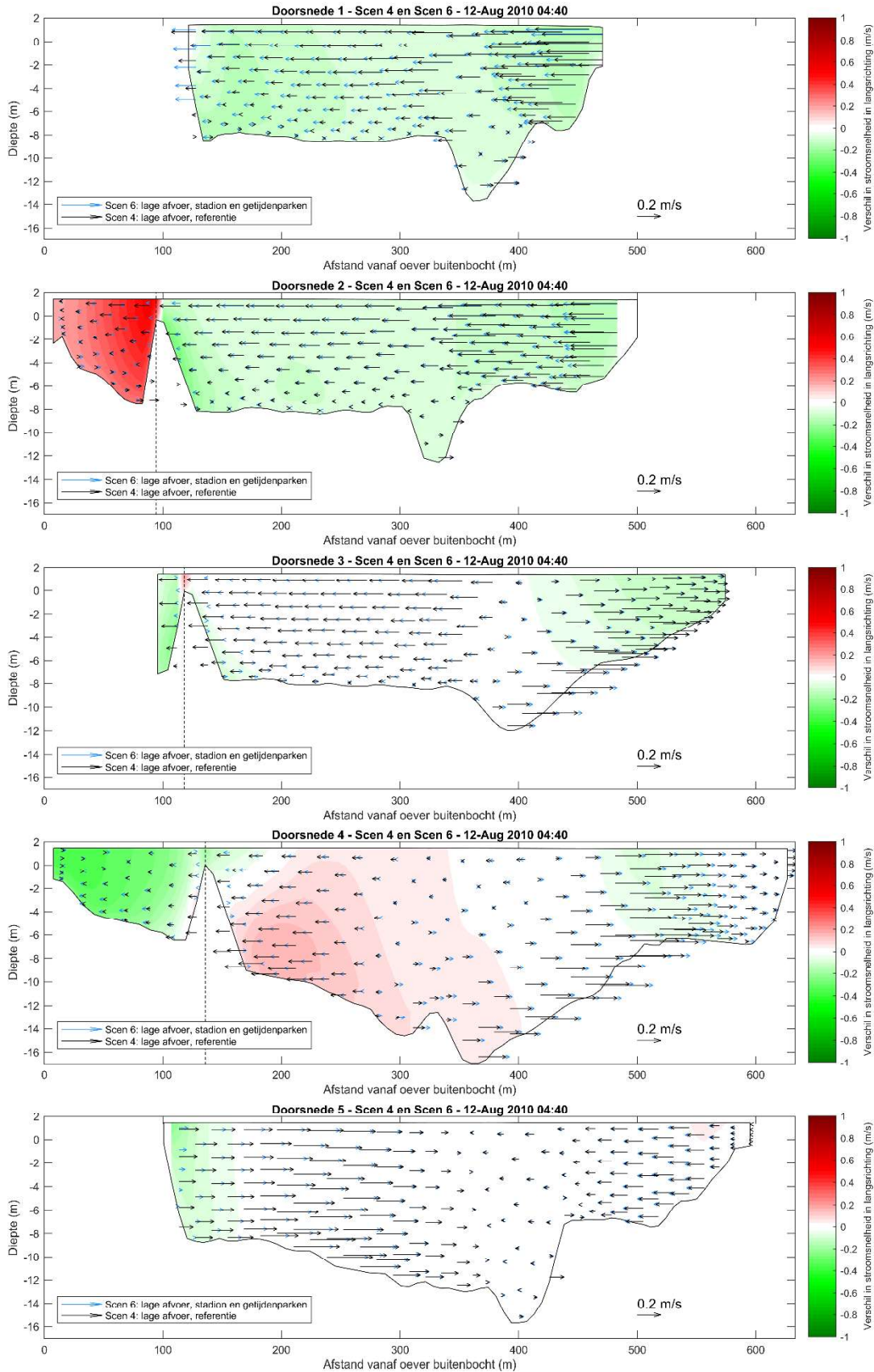


*Figuur 4-9 Stroomsnelheden scen 6 (max. vloed) voor bovenste 1,5 m laag*



*Effect van veranderingen van de dwarsstroom bij de maximale vloed situatie*

De verschil in dwarsstroom wordt uitgedrukt in de richting van de pijlen in de huidige situatie (Figuur 4-8) en de toekomstige situatie (Figuur 4-9). De verschillen in dwarsstroom in scenario 4 en scenario 6 worden gegeven in Figuur 4-10. Uit deze figuur blijkt dat over het algemeen de dwarsstroomsnelheden kleiner worden naast de langsdam. In doorsnede 1 worden in de buitenbocht de dwarsstroomsnelheden iets groter (orde 0,05 m/s). In de binnenbocht worden de dwarsstroomsnelheden hier en daar ook iets groter (orde 0,05 m/s) soms naar de binnenbocht gericht. Gezien de gemiddelde vaarsnelheden zal de opstuurhoek, en daarmee de padbreedte, door de verschillen in dwarsstroomsnelheden nauwelijks veranderen.



Figuur 4-10 Dwarsdoorsneden op vijf locaties met het verschil in snelheid langs de as van de rivier in de kleurschaal tussen scen 4 en scen 6. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen

## 4.2 Windvelden

De veranderingen van de windvelden voor Z, ZW en W wind zijn geanalyseerd omdat de geplande bebouwing zich aan de ZW kant van de vaarweg (nieuwe stadion en andere hoge gebouwen) bevindt. Wind uit de richtingen N, NO en O zal nauwelijks beïnvloed worden door de benedenwindse bebouwing.

De windvelden voor de windrichtingen Z, ZW en W in de huidige en in de toekomstige situatie zijn berekend door Royal HaskoningDHV (zie Appendix 3, rapport 'VO Windonderzoek vaargeul', 4 september 2018). De analyse heeft vooral betrekking op het verschil in optredende windgradiënten in de huidige en in de toekomstige situatie omdat windgradiënten in langsrichting van de rivier eventueel onrust in de koers van de schepen kunnen veroorzaken. Voor de beoordeling van de windgradiënten zijn de windvelden op 6 m hoogte geanalyseerd omdat de windsnelheid op deze hoogte het meeste effect zal hebben op windgevoelige containerschepen. De strijkhogte voor 4 laagscontainervaart is 10,75 m (zie 'Rapportage Containerhoogtemetingen' [2]).

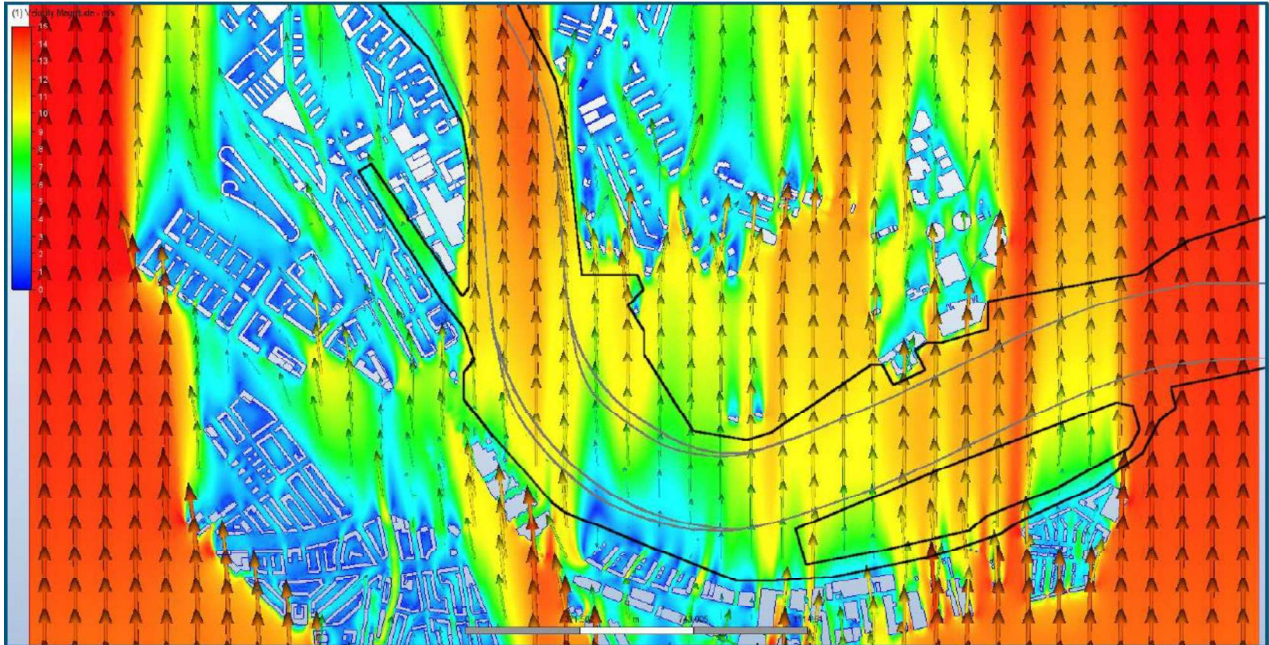
Naast de analyse van de windgradiënten zijn ook de verschillen in gemiddelde windsnelheid tussen huidige en toekomstige situatie beoordeeld. Deze verschillen hebben een grote invloed op het gedrag van het schip omdat de kracht op het schip kwadratisch toe- of afneemt met de windsnelheid. Een afname van de windsnelheid met 20% geeft een afname van de windkrachten op het schip van 44%.

De berekende windvelden voor Z, ZW en W in de huidige en in de toekomstige situatie zijn gegeven in Figuur 4-11 t/m Figuur 4-16. In deze figuren is de bestaande vaargeul en de verplaatste vaargeul ingetekend. De berekeningen zijn uitgevoerd met een windprofiel met snelheid van 17 m/s op 60 m hoogte, met profiel "stad".

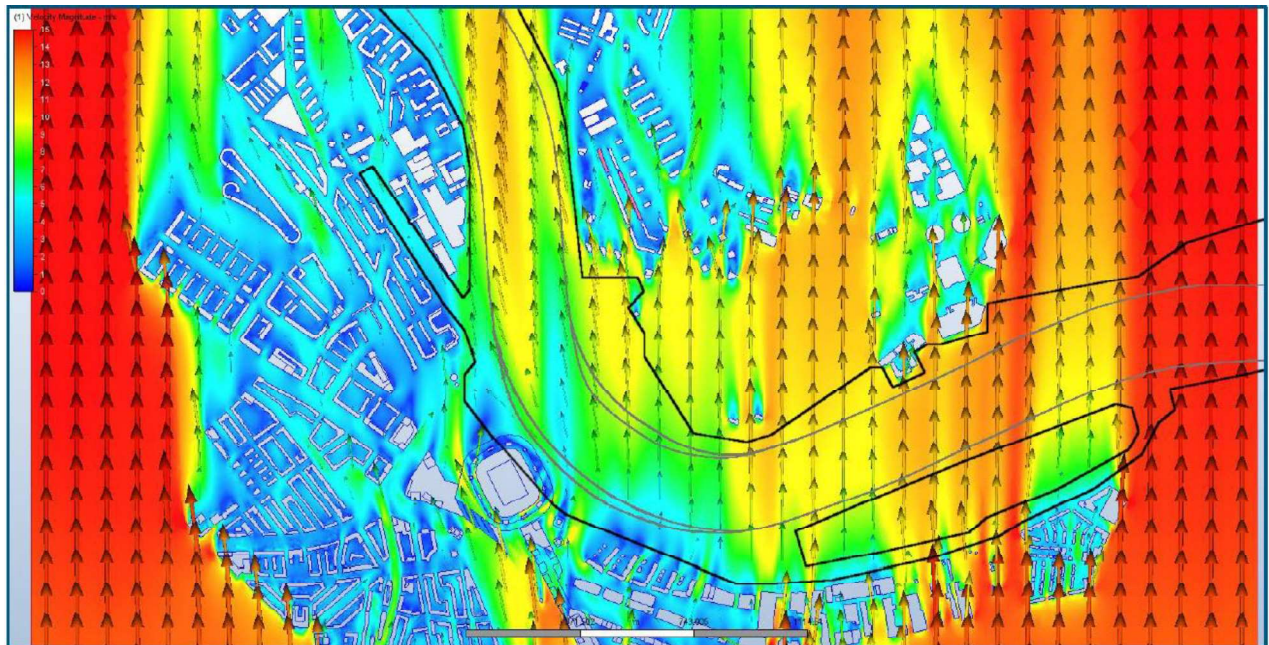


### Zuidenwind

De vergelijking van Figuur 4-11 en Figuur 4-12 laat zien dat ten noorden van het stadion de wind wat meer in de richting van de geul draait en afneemt van orde 13 m/s naar 11 m/s. Dit effect zal de scheepvaart alleen maar positief beïnvloeden omdat de wind afneemt en meer in de richting van de geul staat. Iets ten oosten van het stadion ontstaat een sterke verandering van de wind langs de vaarrichting maar de windsnelheid is daar relatief laag (5 tot 7 m/s), zodat de daar optredende gradiënten geen negatieve invloed hebben op de scheepvaart.



Figuur 4-11 Huidige situatie Z wind op 6 m hoogte



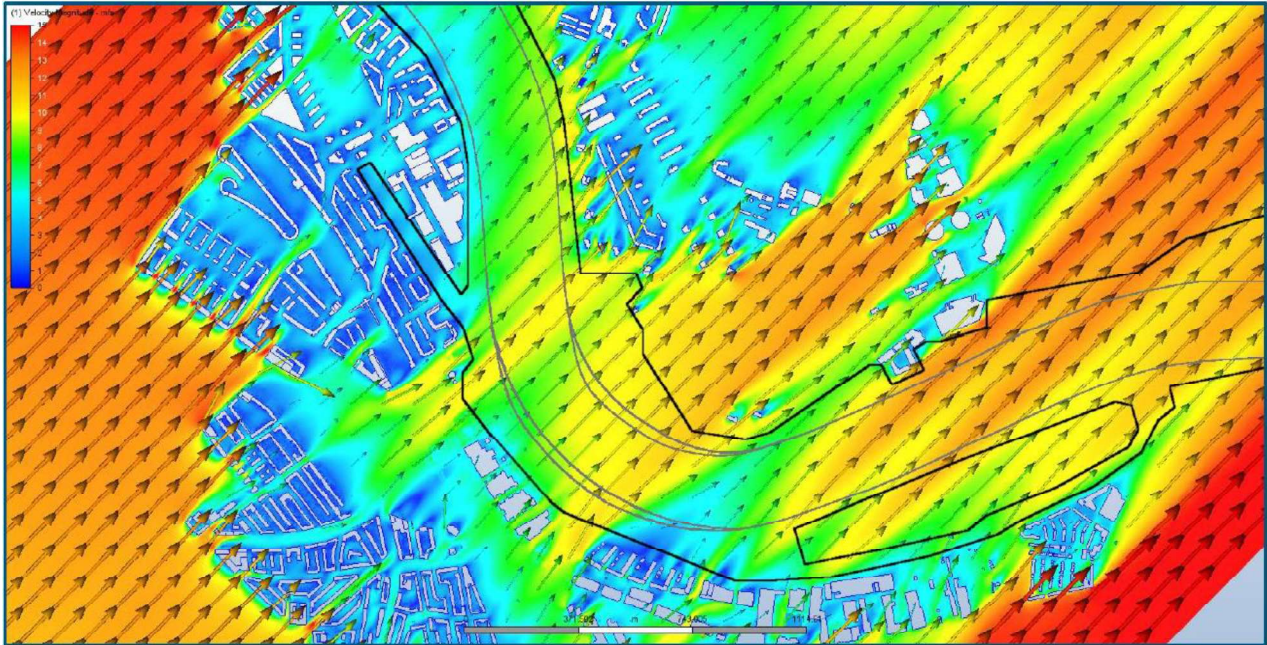
Figuur 4-12 Toekomstige situatie Z wind op 6 m hoogte



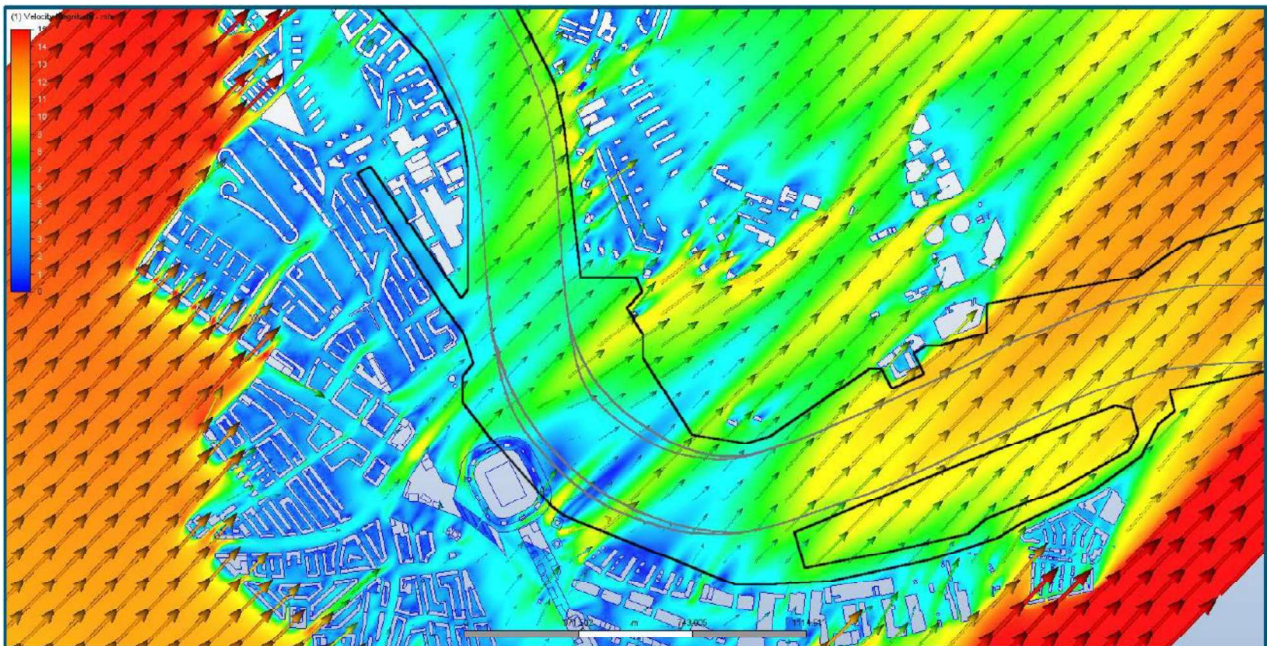
### Zuidwestenwind

De vergelijking van Figuur 4-13 en Figuur 4-14 laat zien dat ten noordoosten van het stadion de wind iets draait ten opzichte van de geul en afneemt van gemiddeld 12 naar 7 m/s. De wind staat hier al dwars op de geul en deze kleine verandering van de richting heeft geen nadelige invloed op de scheepvaart temeer daar de gemiddelde snelheid sterk afneemt in de toekomstige situatie.

Ten noordoosten en iets ten oosten van het stadion ontstaat een sterke verandering van de wind langs de vaarrichting maar de windsnelheid is daar relatief laag (2 tot 7 m/s), zodat de daar optredende gradiënten geen negatieve invloed hebben op de schepen.



Figuur 4-13 Huidige situatie ZW wind op 6 m hoogte

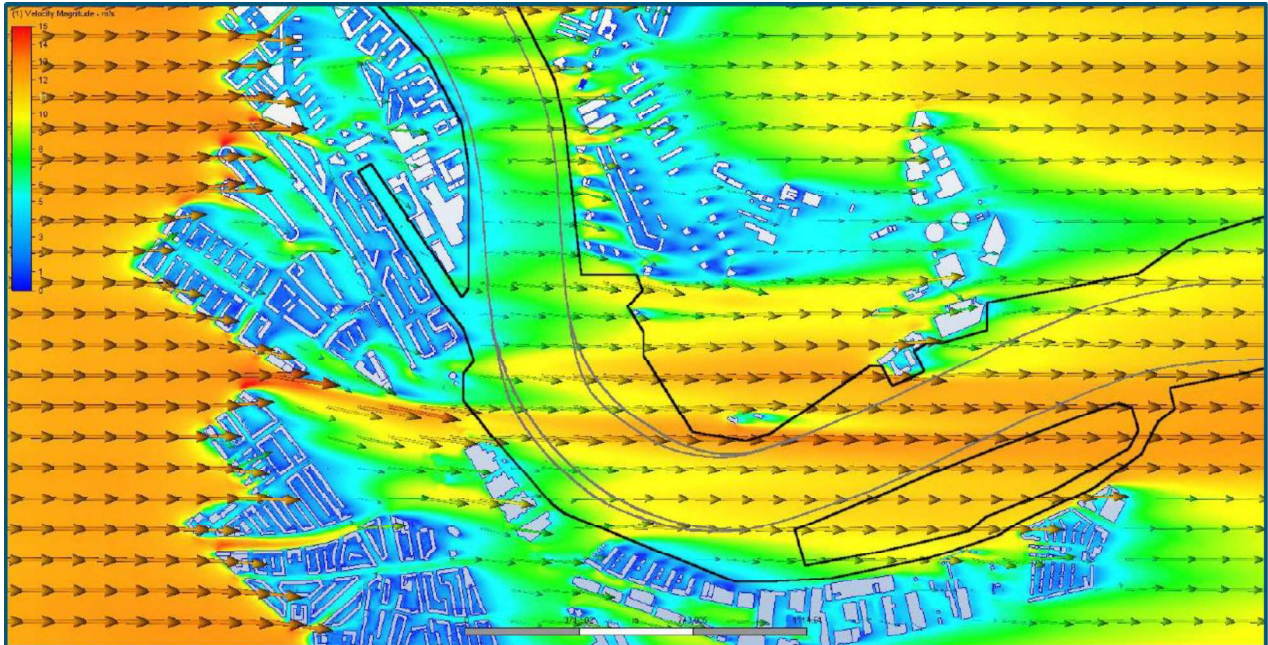


Figuur 4-14 Toekomstige situatie ZW wind op 6 m hoogte

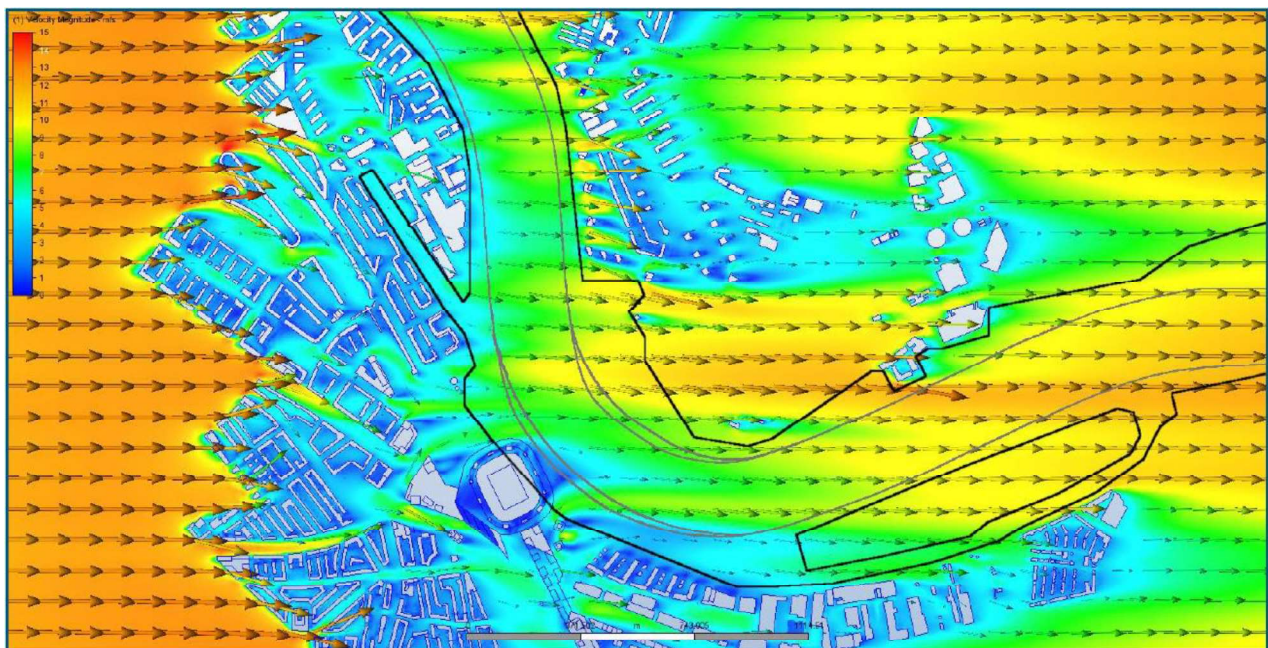


### Westenwind

De vergelijking van Figuur 4-15 en Figuur 4-16 laat zien dat er in de huidige situatie een sterke stroming optreedt ten noorden van het nieuw te bouwen stadion. Deze stroming zorgt in de huidige situatie voor een sterke variatie van de windsnelheid langs de vaarrichting. In de toekomstige situatie is een gelijkmatiger beeld te zien waarbij de gemiddelde windsnelheid ook nog afneemt. De wind in de toekomstige situatie heeft daarom geen nadelige invloed op de scheepvaart.



Figuur 4-15 Huidige situatie W wind op 6 m hoogte



Figuur 4-16 Toekomstige situatie W wind op 6 m hoogte

## **5 TOETSING AAN RICHTLIJNEN EN VERGELIJKING MET GELIJKSOORTIGE BOCHTEN**

### **5.1 Breedte en bochtstraal van de vaarweg**

De Richtlijnen Vaarwegen 2017 gelden in principe niet voor vaarwegen met een langsstroming van meer dan 0,5 m/s. Bij hogere stroomsnelheden zal in de afvaart de padbreedte toenemen en in de opvaart afnemen. Deze effecten worden niet meegenomen in de huidige richtlijnen. De vaarwegafmetingen bepaald volgens de richtlijnen worden daarom als ondergrens gezien voor de vormgeving van de beschouwde bochten.

Voor de beoordeling van de vaarweg en de vergelijking met de RVW 2017 is de classificatie van de vaarweg nodig en zijn de aantallen schepen nodig, die gebruik maken van de vaarweg. De bocht van Esch heeft in de huidige situatie een bochtstraal van 645 m op de as van de vaarweg en heeft een ontwerpbreedte van 250 m. Uit de AIS-analyse volgt dat er jaarlijks ongeveer 130000 schepen deze bocht passeren. Deze gegevens zijn hierna gebruikt om de benodigde breedte volgens RVW 2017 te berekenen. Daarnaast zijn de huidige situatie en de aangepaste vaarweg vergeleken met de bocht bij Heerjansdam en de bocht bij Nijmegen.

De Nieuwe Maas is een Klasse VIa vaarweg met als maatgevend schip de zesbakduweenheid. Voor de vaarweg is volgens [1] het 'intensiteitsprofiel' van toepassing omdat de verkeersintensiteit hoger is dan 30.000 beroepsvaartuigen per jaar.

In Tabel 5-1 zijn de volgens RVW 2017 op de lege diepgang benodigde breedte en de beschikbare breedte gegeven van de Bocht van Esch, de bocht bij Heerjansdam en de bocht bij Nijmegen. Deze drie bochten zijn qua aantallen schepen en vlootsamenstelling 'redelijk' vergelijkbaar. De getoonde berekening is gebaseerd op de RVW 2017 (paragrafen 3.5.3 t/m 3.5.6 voor de rechtstand en 3.7.1 en 3.7.2 voor de bocht).

Bij de beoordeling van de breedte van de actuele vaarweg is geen rekening gehouden met het verschil in benodigde breedte op diepgang geladen schip, diepgang leeg schip en bodembreedte. Het bodemprofiel van de rivier ter plaatse heeft zoveel overdiepte en overbreedte dat dit onderscheid niet relevant is. Bovendien zou dit onderscheid een nauwkeurigheid suggereren die niet met de toegepaste onderzoeksmethode te behalen is.

Op basis van het aantal schepen per jaar en het gemiddelde laadvermogen is de intensiteitstoeslag bepaald. Met het aandeel laadvermogen van klasse VIb, VIc en VIIa is de extra windtoeslag voor klasse VIb bepaald.

Tabel 5-1 Vergelijking bocht van Esch met RVW 2017 en twee vergelijkbare bochten

Locatie	Dimensie	Bocht v. Esch			Heerjansdam	Nijmegen
		RVW	Huidig	Toekomst	Huidig	Huidig
Klasse vaarweg	-	Vla	Vla	Vla	Vlb	Vlb
Aantal passages/jaar	-	131158	131158	131158	65586	150000
Lengte geladen ontwerpschip	m	270	270	270	270	270
Lengte lege ontwerpschip	m	190	190	190	190	190
Wt (breedte op geladen diepgang)	m	91.2	91.2	91.2	91.2	91.2
Windtoeslag	m	9	9	9	9	9
Aandeel laadvermogen Klasse Vlb, Vlc Vlla	%	10.5	10.5	10.5	2.3	16
Extra windtoeslag voor klasse Vlb	m	8	8	8	0	14
Gemiddeld laadvermogen	ton	1854	1854	1854	2554	2600
Intensiteitstoeslag	m	54	54	54	28	75
Benodigde breedte rechtstand	m	162	162	162	128	189
Bochtstraal as vaarweg	m	1620	645	615	950	1000
C1 geladen Vlb	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Bochttoeslag geladen vaart	m	9	23	24	15	15
C2 leeg Vlb	-	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Bochttoeslag lege vaart	m	9	22	23	15	14
Benodigde breedte in bocht	m	180	207	209	159	218
Beschikbare breedte in bocht	m	250	250	250	185	170

Bij het verplaatsen van de vaarweg blijft de breedte van de ontwerpgeul hetzelfde en zal de bochtstraal afnemen. De ontwerpbreedte is ruim voldoende en het verschil in bochtstraal van 645 m in de huidige situatie naar 615 m in de toekomstige situatie zal geen merkbare invloed op de vlotheid hebben.

Uit de tabel blijkt dat de ontwerpbreedte van de Bocht van Esch ruim voldoende is in de huidige en in de toekomstige situatie. Voor de bocht bij Heerjansdam geldt dit ook wat bevestigd wordt door eerder uitgevoerd onderzoek (Toelatingsbeleid Oude Maas en Dordtsche Kil, [5]).

De bocht bij Nijmegen is aanzienlijk smaller volgens de richtlijnen nodig is (oranje cel). Uit nader onderzoek naar deze vaarweg ('Update Verkeersstudie Waal' [4]) blijkt dat een streefbreedte van 170 m nog voldoende zou zijn in de rechtstand. In de bocht wordt in deze studie een breedte van 180 m aanbevolen. Als de windtoeslag voor deze bocht wordt weggelaten en de intensiteitstoeslag wordt verminderd (blauwe cellen) zou deze bocht juist kunnen voldoen aan de RVW 2017. De vaarweg is dan in principe alleen geschikt voor tweestrooksverkeer voor het maatgevende schip. De veiligheid is niet in het geding bij de huidige breedte maar de vlotheid wordt wel nadelig beïnvloed in deze bocht bij grote drukte en veel wind.

De bochtstraal voor alle drie de bochten is te klein (gele cellen); deze zou volgens der RVW 2017 voor een Klasse Vlb vaarweg 6L (6 maal de lengte van het maatgevende schip) moeten zijn. Gezien de manoeuvreereigenschappen van het maatgevende schip zijn deze kleinere bochtstralen geen probleem. Alleen de vlotheid zal door deze kleinere bochtstralen negatief worden beïnvloed.



## 5.2 Vergelijking padbreedte uit AIS en volgens RVW 2017

De gerealiseerde padbreedten uit de AIS-analyse zijn gebruikt om een controle uit te voeren op de benodigde geulbreedte in de Bocht van Esch. Door de padbreedte uit de AIS-analyse te nemen wordt het effect van langsstroom op de padbreedte meegenomen. De padbreedte bij dwarswind (N, NO en O wind, vrij krachtig/hard) is ook bepaald uit de AIS gegevens. Voor de maatgevende padbreedten zijn de 95% percentiel waarden genomen voor de klasse van langste schepen. In deze klasse vallen hoofdzakelijk klasse VIb en VIc schepen, die voor deze vaarweg als maatgevend schip gelden. Door de 95% percentiel waarden te nemen i.p.v. het gemiddelde wordt ook zoveel mogelijk<sup>6</sup> de padbreedte van de grote eenheden gebruikt.

De resultaten van deze analyse zijn gegeven in Tabel 5-2. De padbreedten voor de afvaart en voor de opvaart zijn uit Tabel 3-1 genomen en daarna gecorrigeerd met het effect van de vrij krachtige tot harde dwarswind uit N, NO en O richting uit Tabel 3-2. Bij deze padbreedten zijn de totale benodigde breedte voor de veiligheidsmarge<sup>7</sup> en intensiteitstoeslag volgens RVW 2017 opgeteld. De totaal benodigde breedte zou hiermee in de bocht op 225 m komen. Dit is 18 m meer dan volgens de RVW2017. Het verschil zou verklaard kunnen worden door een grotere padbreedte van de afvaart door de langsstroom op de rivier (zie ook [3]). De benodigde geulbreedte volgens RVW 2017 en met additionele AIS-gegevens voor de gerealiseerde padbreedtes liggen hiermee zeer dicht bij elkaar.

Tabel 5-2 Benodigde geulbreedte met padbreedtes uit AIS-gegevens en toeslagen volgens RVW 2017

	Dimensie	AIS
Veiligheidsstroken totaal	m	46
Padbreedte afvaart	m	69
Padbreedte opvaart	m	57
Intensiteitstoeslag	m	54
Totaal	m	225
Beschikbaar in bocht	m	250

<sup>6</sup> Een deel van de schepen > 135 m zal bestaan uit koppelverbanden met een kleinere breedte en dus ook een kleinere padbreedte. Door de 95% percentiel waarden te gebruiken wordt dit effect sterk verminderd.

<sup>7</sup> Deze marge is bepaald uit de volgens RVW 2017 benodigde basis breedte ( $4B = 91,2$  m) min tweemaal de fysieke breedte van het maatgevende schip ( $2B = 45,6$  m).

## 6 CONCLUSIES

Er is een nautisch onderzoek uitgevoerd naar de impact van het 35 m naar het noordoosten verplaatsen van de gegarandeerde vaargeul (ontwerpgeul) van de Nieuwe Maas ter hoogte van een nieuw te bouwen Feyenoord stadion (Bocht van Esch). Bij het onderzoek is een AIS-analyse uitgevoerd om het gebruik van de huidige vaarweg te inventariseren. Voor het beoordelen van de nieuwe situatie met aangepaste vaarweg zijn ook de effecten van veranderende stroombeelden en een veranderend windpatroon meegenomen. Daarnaast zijn de huidige en toekomstige vaarweg getoetst aan de Richtlijnen Vaarwegen 2017 [1] en is een vergelijking gemaakt met de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek voor twee gelijksoortige bochten.

Hoofdconclusies:

Het 35 m verplaatsen van de gegarandeerde vaargeul naar het noordoosten ter hoogte van het nieuw te bouwen Feyenoord stadion levert geen problemen op voor de scheepvaart. De scheepvaart maakt in de huidige situatie al nauwelijks gebruik van de nu nog beschikbare zuidwestelijke strook van de gegarandeerde vaargeul. De effecten van veranderende stroombeelden en een veranderend windpatroon zijn zeer klein en niet ongunstig te noemen. De langsdam geleidt de stroom beter waardoor onregelmatigheden in het huidige stroombeeld verminderen en levert ook een betere vaarwegbegrenzing voor de scheepvaart. De nieuwe bebouwing werkt als een soort windscherm bij zuidwestelijke wind. Ook kan de Bocht van Esch qua vlotheid en veiligheid, nu en in de toekomst niet als kritisch worden beoordeeld in de vergelijking met gelijksoortige bochten.

Er wordt voorgesteld om fase 2 (real-time simulaties met meerder mensbestuurde binnenvaartschepen in één scenario) niet uit te voeren omdat de resultaten van fase 1 van het onderzoek aangeven dat er geen merkbare verslechtering ten aanzien van de nautische vlotheid en veiligheid zal optreden in de nieuwe situatie.

Deze conclusies zijn gebaseerd op de resultaten van de volgende deelenalyses:

Resultaten AIS-analyse:

- Op grond van de gerealiseerde vaarsnelheden en de padbreedten is bepaald dat het scheepvaartverkeer in de Bocht van Esch zich gedraagt als te verwachten is op een normale doorgaande vaarweg. Hierdoor zijn in principe de Richtlijnen Vaarwegen 2017 van toepassing.
- De padbreedte in de bocht neemt tot 8% toe bij vrij krachtige tot harde N, NO en O wind, terwijl bij Z, ZW en W wind de padbreedte afneemt.
- In de huidige situatie is 95% van de opvaart al 69 m naar het noordoosten opgeschoven ten opzichte van de ontwerpgeul en maakt de afvaart gebruik van de binnenbocht (tot 140 m buiten de noordoostelijke geulgrens). Een verplaatsing van de geul van 35 m naar het noordoosten zal daardoor zeer weinig invloed hebben op het vaargedrag van de scheepvaart.
- De geleidedam in de buitenbocht gaat een duidelijke vaarwegbegrenzing vormen waardoor de scheepvaart minder moeite gaat hebben om het verloop van de vaarweg te volgen. In de huidige situatie is de begrenzing in de buitenbocht onregelmatig en veel minder duidelijk.
- Voor de beoordeling van de dimensies van de vaarweg (breedte en bochtstraal) gelden de Richtlijnen Vaarwegen 2017 als ondergrens omdat de langsstroming door getij en rivierafvoer in de meeste gevallen groter is dan 0,5 m/s.
- Voor het gebruik van de vaarweg in de huidige situatie en in de toekomst is het natuurlijke diepteverloop in de binnenbocht maatgevend. De hier aanwezige ruimte buiten de geul wordt intensief gebruikt door de scheepvaart. Bij het onderhoud van de vaargeul zal hier rekening mee gehouden moeten worden.

Resultaten analyse van de veranderingen in stroombeelden en windvelden:

- Bij eb en een hoge rivierafvoer neemt de langsstroom in de toekomstige situatie in de binnenbocht sterk toe, maar hierdoor wordt de stroomsnelheid hoger op delen van de vaarweg waar in de huidige situatie de stroomsnelheid lager is. De onrust langs de vaarbaan zal daardoor afnemen.
- Dwarsstroomcomponenten lopen bij deze stroomconditie aan benedenstroomse kant van de bocht in de buitenbocht op van orde 0,1 m/s naar 0,3 m/s. Gezien de gemiddelde vaarsnelheden van ongeveer 15 km/u door het water zal de opstuurhoek door deze grotere dwarsstroom tijdelijk iets toenemen, maar dit zal geen merkbare verstoring van de opvaart geven.
- Bij vloed en een lage rivierafvoer neemt de langsstroom in de toekomstige situatie in de binnenbocht iets toe (orde 0,15 m/s). Aan de benedenstroomse kant van de buitenbocht zijn er verschillen tot 0,2 m/s. Ook in dit geval wordt de stroomsnelheid iets hoger op delen van de vaarweg waar in de huidige situatie de stroomsnelheid lager is. De onrust langs de vaarbaan zal daardoor iets afnemen.
- Dwarsstroomcomponenten veranderen bij vloed en een lage rivierafvoer nauwelijks en zullen geen invloed hebben op de scheepvaart.
- De vergelijking van de Z, ZW en W windpatronen geeft aan dat de wind voor deze richtingen (sterk) afneemt door de afscherming door het stadion en de nieuwe gebouwen. Windgradiënten treden wel op achter de bebouwing maar de gemiddelde windsnelheid is daar zo laag dat dit geen hinder voor de scheepvaart zal geven.

Toetsing aan richtlijnen en vergelijking met gelijksoortige bochten:

- De ontwerpbreedte van de Bocht van Esch is volgens de RVW 2017 ruim voldoende in de huidige en in de toekomstige situatie (ruim 40 m breder dan de richtlijnen aangeven). De RVW 2017 zijn echter niet gevalideerd voor een vaarweg als de Nieuwe Maas met een langsstroming groter dan 0,5 m/s. In een situatie met een grotere langsstroom zal de padbreedte van schepen die stroom mee hebben toenemen. Over het algemeen zal er op stromend water meer ruimte nodig zijn maar die is in de Bocht van Esch ruim voldoende aanwezig.
- De bochtstraal van de Bocht van Esch is te klein volgens de RVW 2017. De bochtstraal zou voor een Klasse VIb vaarweg 6L (6 maal de lengte van het maatgevende schip) moeten zijn. Gezien de manoeuvreereigenschappen van het maatgevende schip is deze kleinere bochtstraal echter geen enkel probleem. Alleen de vlotheid zou door deze kleinere bochtstraal iets negatief beïnvloed kunnen worden, door de grotere beschikbare breedte wordt dit echter ruim gecompenseerd.
- De kleine vermindering van de bochtstraal in de toekomstige situatie zal geen merkbaar effect hebben op de vlotheid en veiligheid omdat er voldoende breedte beschikbaar is.
- De vergelijking met twee gelijksoortige bochten (bocht bij Heerjansdam en bocht bij Nijmegen) qua dimensies (breedte en bochtstraal), verkeersaanbod en vlootsamenstelling geeft aan dat de Bocht van Esch zeker geen kritische bocht is voor het huidige verkeeraanbod.

## REFERENTIES

- [Ref 1] Richtlijnen Vaarwegen 2017, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, december 2017.
- [Ref 2] Rapportage Containerhoogtemetingen, Brolsma Advies, 8 mei 2013.
- [Ref 3] Richtlijnen rivieren – dwarsstroomcriteria en stroomtoeslagen bochten, 29242-5-mscn-rev.3\_Eindrapport, 24 april 2018.
- [Ref 4] Update Verkeersstudie Waal, MARIN rapport 21675.600/4, 16 november 2007.
- [Ref 5] Toelatingsbeleid Oude Maas en Dordtsche Kil, MARIN rapport 29242-1-MSCN-rev.1, 4 oktober 2017.

# **APPENDICES**

**APPENDIX 1 MEMO 'AIS ANALYSE GEBRUIK HUIDIGE VAARWEG'**

Aan : **Havenbedrijf Rotterdam N.V.**  
Van : **Koen Kauffman, Erwin van Iperen**  
CC : **Freek Verkerk**  
Datum : **2 november 2018**

Project nr. : **31355.600\_V0**  
Onderwerp : **AIS analyse gebruik huidige vaarweg V0**

---

## **INHOUDSOPGAVE**

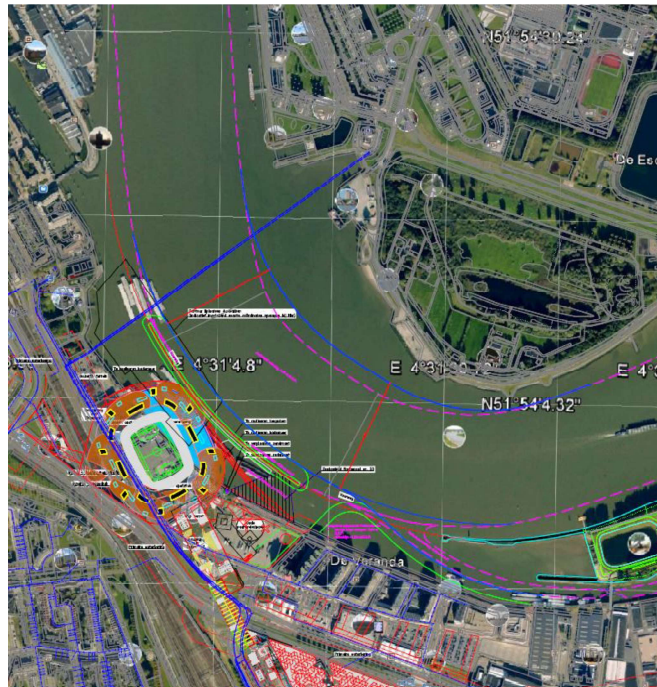
1	LOCATIE .....	2
1.1	Kaart gebied .....	2
2	AANPAK.....	3
2.1	Inleiding .....	3
2.2	AIS tracks passerende schepen.....	3
2.3	Scheepscontouren, passeerafstanden en padbreedte .....	4
3	RESULTATEN .....	6
3.1	Aantal passages per richting per scheepstype.....	6
3.2	Verdeling van diepgang van passerende schepen per scheepstype per vaarrichting.....	7
3.3	Verdeling van vaarsnelheid van passerende schepen per scheepstype per vaarrichting .....	8
3.4	Verdeling van padbreedte van passerende schepen per scheepstype per vaarrichting .....	9
3.5	Verdeling van drifthoek van passerende schepen per scheepstype per vaarrichting .....	10
3.6	Verdeling van padbreedte per windrichting .....	11
3.7	Verdeling van passeerafstanden tot de zuidelijke ontwerpgeulgrens per richting, scheepstype en windconditie .....	12



# 1 LOCATIE

## 1.1 Kaart gebied

De situatie van het verleggen van de vaargeul van de Nieuwe Maas ter hoogte van een nieuw te bouwen Feyenoord stadion is in Figuur 1-1 weergegeven (zie ook Offerte Nr. 31355.600). De huidige vaargeul (gestreepte lijn) zou 35 m naar het noorden verplaatst moeten worden (de blauwe lijnen).



*Figuur 1-1 Voorgestelde situatie bij het Feyenoord stadion*

De kaart in Figuur 1-2 geeft de grenzen van de huidige vaargeul en een ingetekende passagelijns dwars op de vaarroute. De analyses in deze memo hebben betrekking op de scheepvaart die de betreffende lijn passeert.



*Figuur 1-2 Noordelijke en zuidelijke grens huidige vaargeul en passagelijns*



## 2 AANPAK

### 2.1 Inleiding

Voor de analyse is gebruik gemaakt van AIS data van juli 2017 tot en met juni 2018, aangeleverd door het Havenbedrijf Rotterdam. De schepen zijn op basis van de lengte onderverdeeld in drie klassen:

- binnenschepen < 85 m (Kleine motorschepen),
- binnenschepen met een lengte tussen 85 m en 135 m (Grote motorschepen, o.a. CEMT Klasse IV en Va),
- binnenschepen > 135 m (o.a. koppelverbanden en duweenheden).

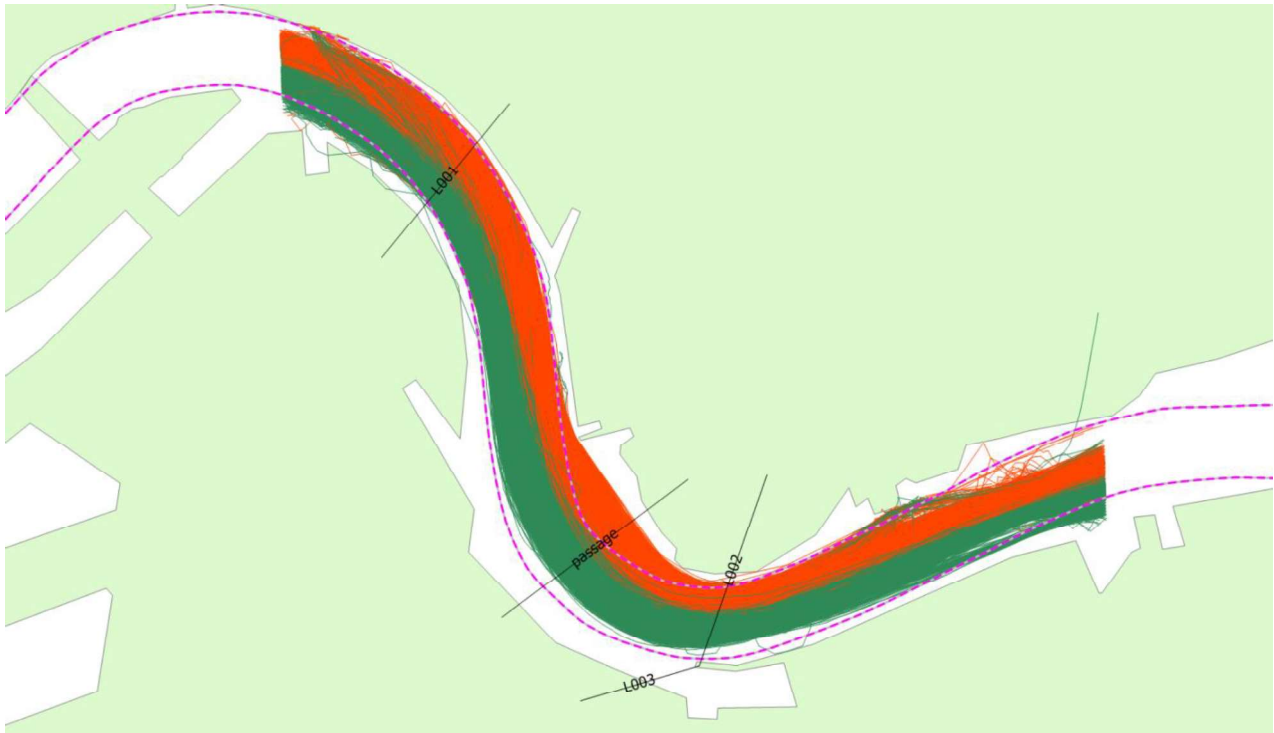
Om de spreiding binnen de AIS-gegevens aan te geven, is steeds zijn de gemiddelde waarden, de 5% percentielen en de 95% percentielen gegeven in een aantal tabellen. 5% van de beschouwde resultaten is kleiner dan het 5% percentiel en 5% is groter dan het 95% percentiel. 90% van de beschouwde resultaten ligt tussen deze grenzen. De minimale en maximale waarden worden niet in de analyse meegenomen omdat deze in veel gevallen het resultaat zijn van onrealistische AIS-gegevens, bijvoorbeeld een foutieve heading waardoor de berekende padbreedte gelijk kan worden aan de lengte van het schip.

De AIS-analyse is uitgevoerd volgens een vaste methode. Hierdoor is de volgorde van de analyses in Hoofdstuk 3 van deze memo niet gelijk aan de volgorde, zoals gebruikt in het hoofdrapport.

### 2.2 AIS tracks passerende schepen

Het doorgaande verkeer op de Nieuwe Maas ter hoogte van de passagelijijn is onderscheiden via de lijnen L001 en L002. Een reis van een schip wordt in een verkeersstroom meegeteld indien het beide lijnen heeft gepasseerd. Figuur 2-1 laat als voorbeeld voor één maand de twee voornaamste verkeersstromen zien van schepen boven de 85m: doorgaande opvaart (groen) en doorgaande afvaart (rood).

Lijn L003 is ingetekend om het scheepsverkeer vanuit en naar 'Zuiddiepje' te onderscheiden. Hier varen met name schepen onder de 85m (zie Paragraaf 3.1). De schepen in deze verkeersstroom worden in de overige paragrafen buiten beschouwing gelaten.



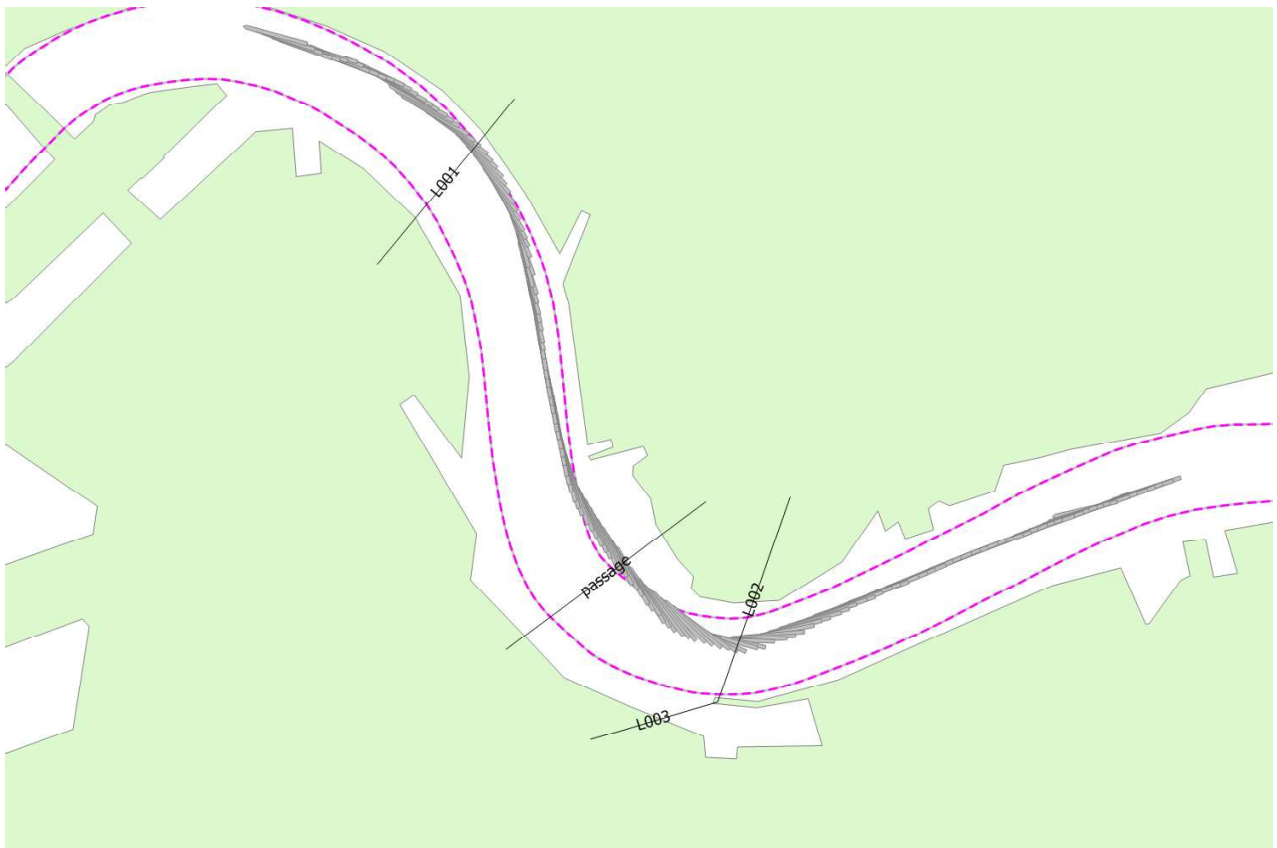
*Figuur 2-1 Vaarbanen van één maand op de Nieuwe Maas, doorgaande opvaart (groen) en afvaart (rood)*

### **2.3 Scheepscontouren, passeerafstanden en padbreedte**

Bij de berekening van de padbreedtes en de passeerafstanden ten opzichte van de vaargeul wordt rekening gehouden met de lengte en breedte van ieder schip (de contouren). In Figuur 2-2 is een voorbeeld opgenomen van de contouren van een binnenvaartschip dat stroomafwaarts over de passagelijne vaart. Hierbij is duidelijk te zien dat de padbreedten in de bocht(en) groter zijn dan daarbuiten. Ter hoogte van de passagelijne is de betreffende padbreedte van dit schip 36,1m.

In Paragraaf 3.5 wordt tevens een analyse van de drifthoek gegeven. Deze analyse is uitgevoerd als extra controle van de padbreedte van de schepen.

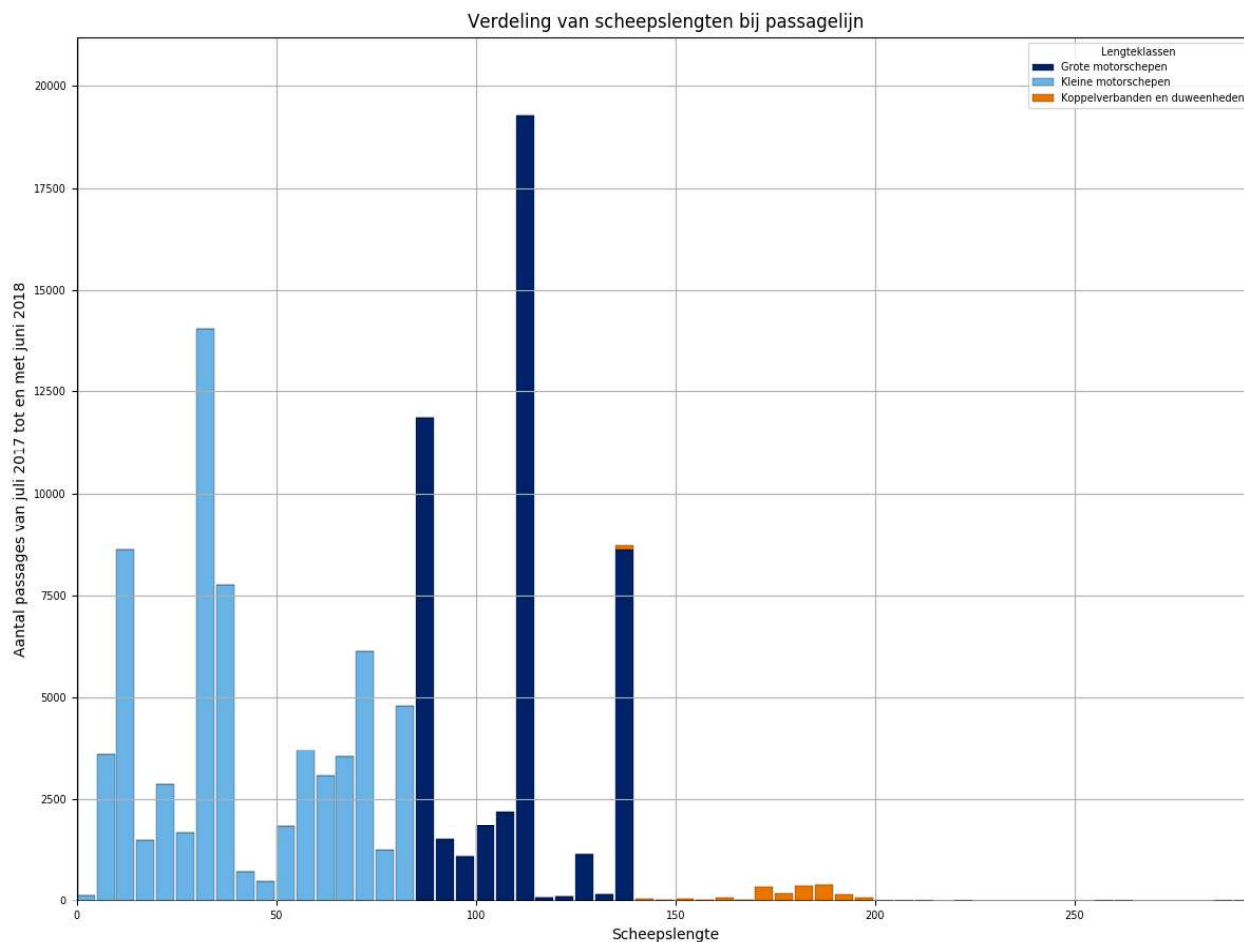
Voor de berekening van de passeerafstand ten opzichte van de zuidelijke grens van de vaargeul wordt met de meest nabijgelegen contourlijnen gerekend: voor afvarende schepen wordt gerekend met de contourlijn van de bakboordzijde, en opvarend wordt met de contourlijn van de stuurboordzijde gerekend. In het onderstaande voorbeeld is de passeerafstand ten opzichte van de zuidelijke grens 263,4m.



*Figuur 2-2 Voorbeeld passage stroomafwaarts*

### 3 RESULTATEN

#### 3.1 Aantal passages per richting per scheepstype.



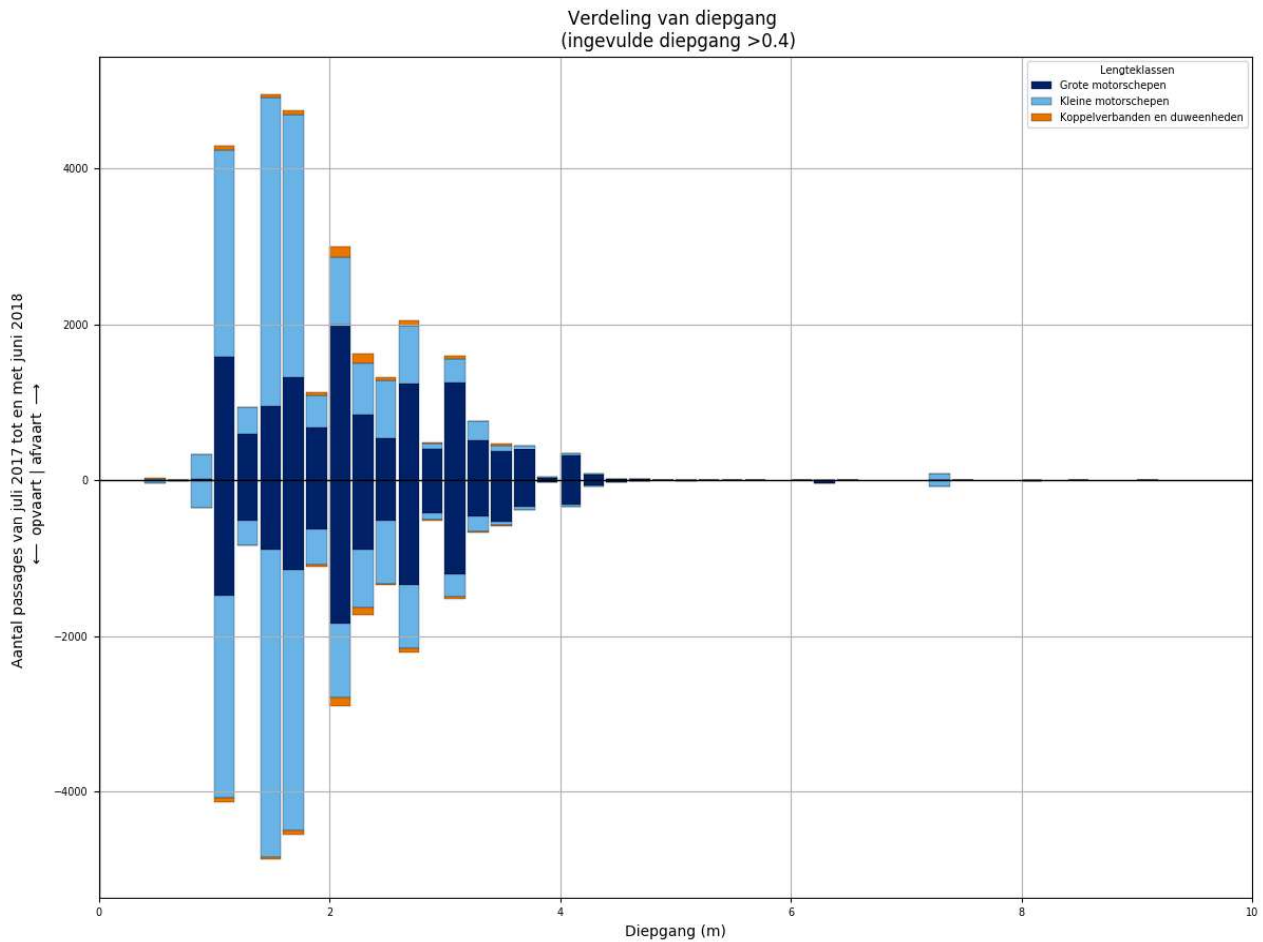
Figuur 3-1 Aantallen passages per scheepslengteklasse van 5 m

Tabel 3-1 Aantal passages per verkeersstroom

Lengteklasse	Afvaart doorgaand	Opvaart doorgaand	Afvaart naar Zuiddiepje	Opvaart naar Zuiddiepje	Afvaart vanuit Zuiddiepje	Opvaart vanuit Zuiddiepje	Overig	Totaal
Kleine motorschepen	31089	30764	1261	2134	1530	683	11214	78675
Grote motorschepen	24496	23347	14	6	3	9	2756	50631
Koppelverbanden en duweenheden	853	865	1				133	1852
<b>Totaal</b>	<b>56438</b>	<b>54976</b>	<b>1276</b>	<b>2140</b>	<b>1533</b>	<b>692</b>	<b>14103</b>	<b>131158</b>



### 3.2 Verdeling van diepgang van passerende schepen per scheepstype per vaarrichting

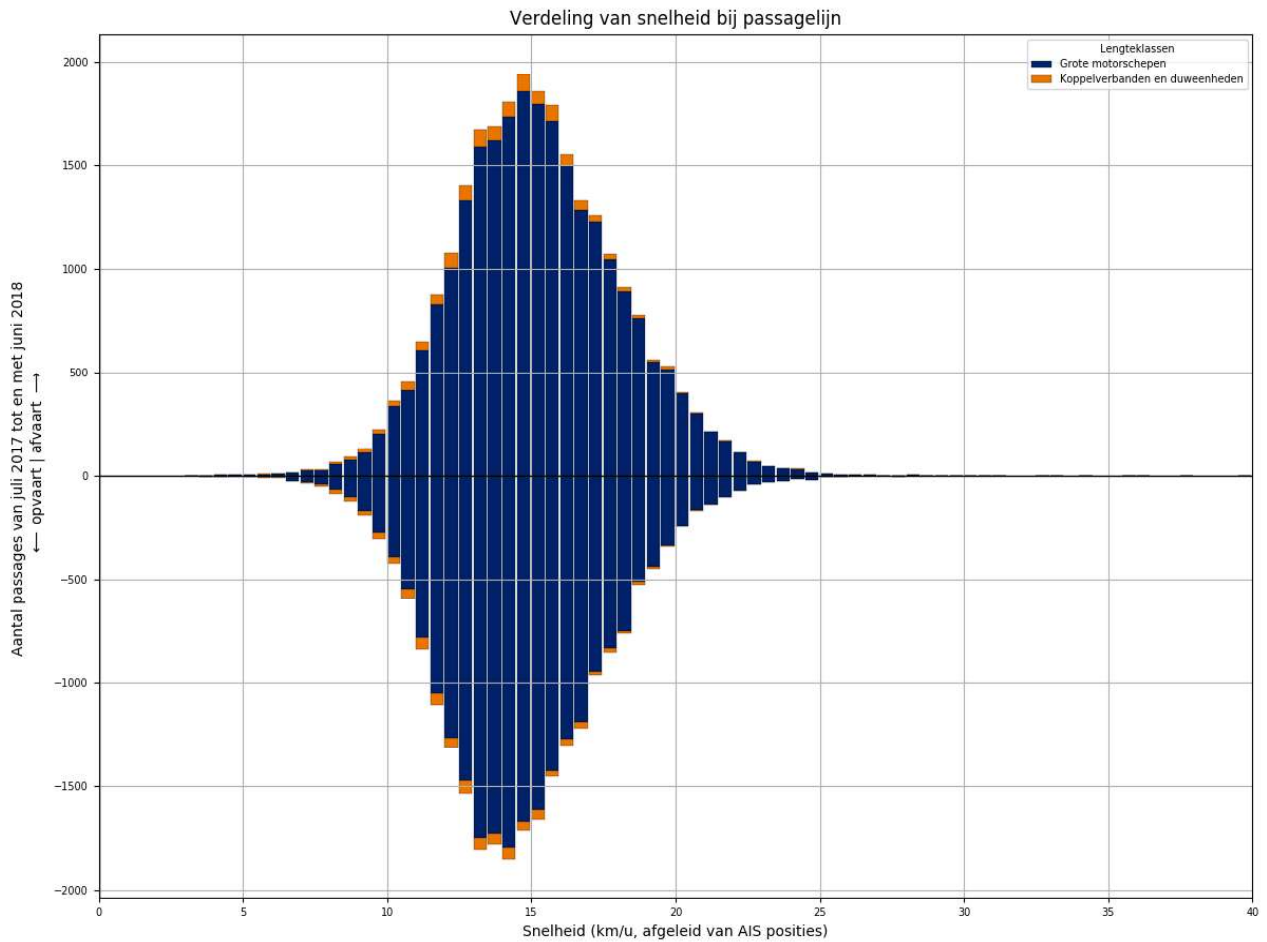


**Figuur 3-2** Diepgang van schepen, mits groter dan 0,4m

**Tabel 3-2** Gemiddelde en 95% percentiel van de diepgangen per lengteklasse (alleen genomen over schepen waarvoor de aangegeven diepgang groter dan 0,4 meter is)

Lengteklasse	Gemiddelde		95% percentiel	
	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
Kleine motorschepen	1,8	1,8	3,0	2,9
Grote motorschepen	2,8	2,9	4,0	4,0
Koppelverbanden en duweenheden	2,2	2,2	3,3	3,4

### 3.3 Verdeling van vaarsnelheid van passerende schepen per scheepstype per vaarrichting



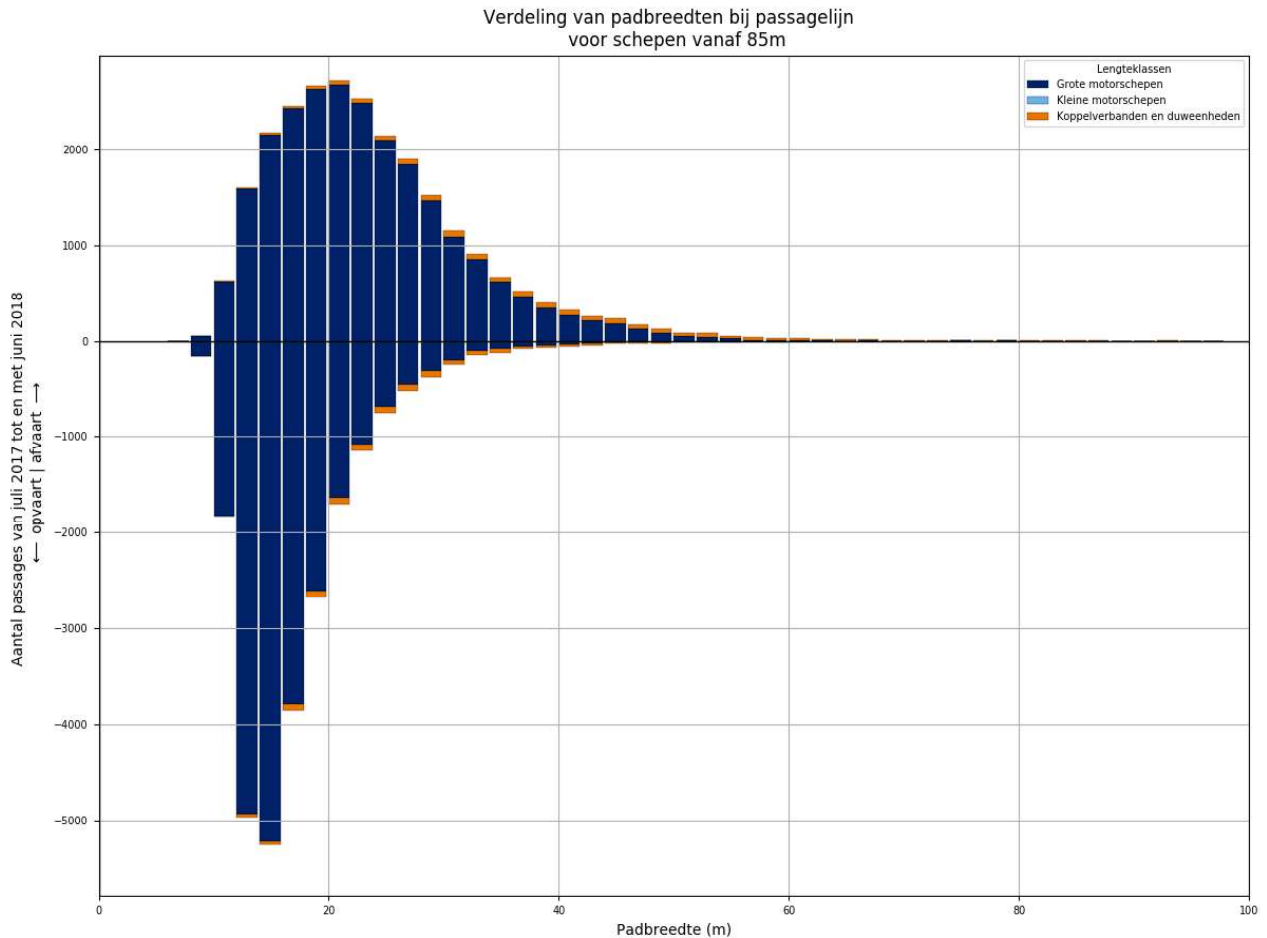
Figuur 3-3 Vaarsnelheid over de grond bij passagelij

Tabel 3-3 Verdeling van snelheid in km/u bij passagelij

Lengteklasse	5% percentiel		Gemiddelde		95% percentiel	
	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
Grote motorschepen	10,9	10,5	15,3	14,8	20,2	19,6
Koppelverbanden en duweenheden	9,5	8,5	14,2	13,3	19,1	18,5

### 3.4 Verdeling van padbreedte van passerende schepen per scheepstype per vaarrichting

Vanwege de rekentijd is de padbreedte alleen berekend voor schepen vanaf 85m lengte. De padbreedte voor de kleinere motorschepen ontbreekt dus in onderstaande figuur en tabel.

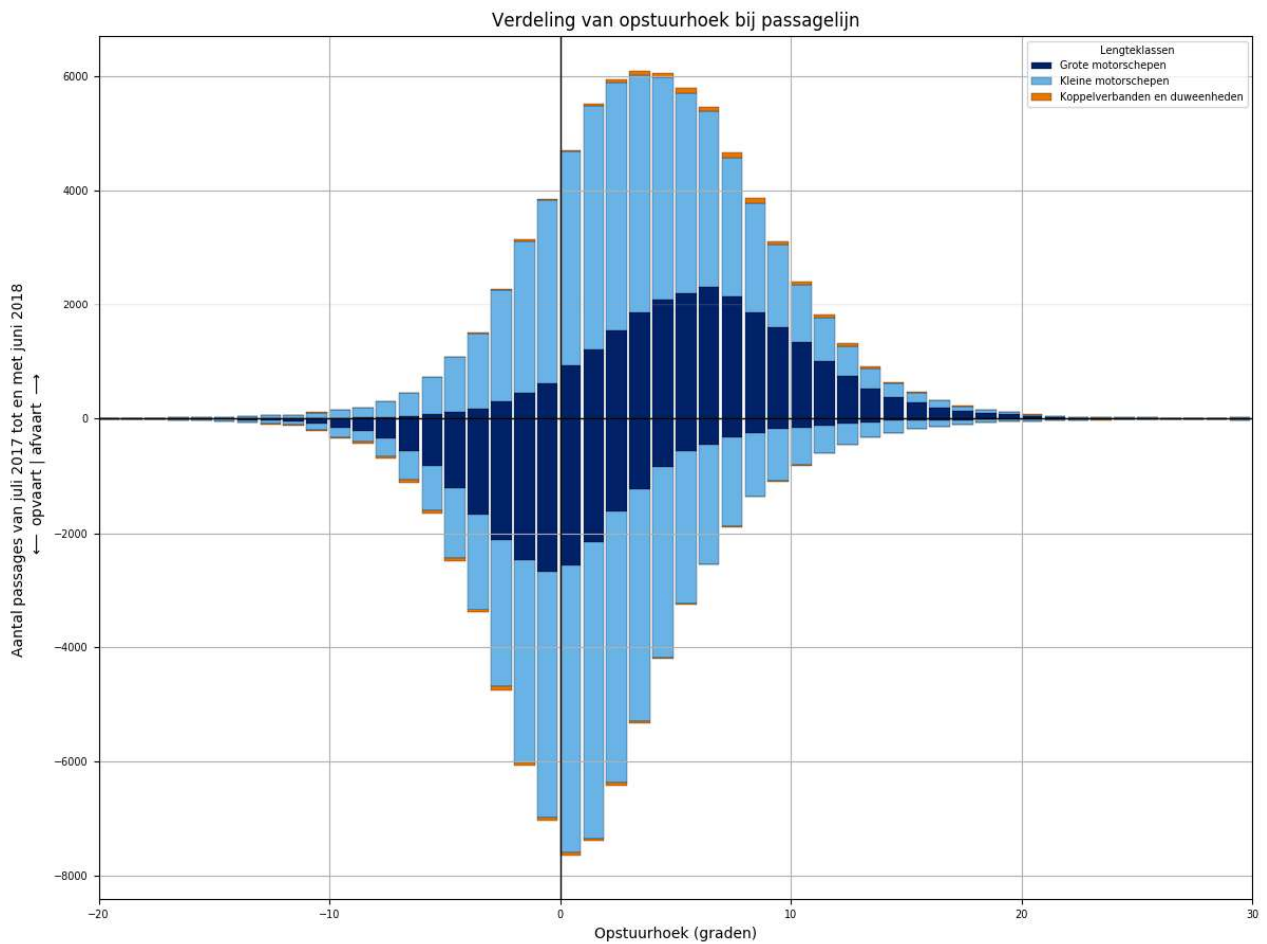


Figuur 3-4 Padbreedte van schepen vanaf 85 m

Tabel 3-4 Verdeling van padbreedte in meters bij passagelijijn

Lengteklasse	5% percentiel		Gemiddelde		95% percentiel	
	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
Grote motorschepen	13	11	23	17	39	27
Koppelverbanden en duweenheden	17	15	39	29	65	53

### 3.5 Verdeling van drifthoek van passerende schepen per scheepstype per vaarrichting



Figuur 3-5 Drifthoek<sup>1</sup> van schepen bij passage

<sup>1</sup> De positieve drifthoeken (boeg naar stuurboord) gelden voor de afvaart; de negatieve drifthoeken (boeg naar bakboord) gelden voor de opvaart.



### 3.6 Verdeling van padbreedte per windrichting

De gemiddelde padbreedte voor alle schepen vanaf 85m is zowel voor opvaart als afvaart het grootst bij harde tot krachtige wind (vanaf 5 Bft) vanuit het noorden, oosten of noordoosten (respectievelijk 18m en 26m, oranje gemarkeerd). Dit weerstype gold voor 11,6% van alle passages. De gemiddelde padbreedte is het kleinst bij harde tot krachtige wind vanuit het zuiden, westen of zuidwesten (17m en 22m, groen gemarkeerd). Dit weerstype gold voor 24,8% van de passages.

Tabel 3-5 Verdeling van padbreedte per windrichting

Windconditie	Frequentie (%)	5% percentiel		Gemiddelde		95% percentiel	
		Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
N, NO en O, krachtig/hard	11,6%	14	12	26	18	45	31
N, NO en O, zwak/matig	19,7%	14	12	26	18	44	29
ZO en NW, krachtig/hard	5,6%	13	12	24	17	41	28
ZO en NW, zwak/matig	9,1%	13	11	25	17	43	28
Z, ZW en W, krachtig/hard	24,8%	12	12	22	17	37	28
Z, ZW en W, zwak/matig	29,0%	13	11	24	17	41	28

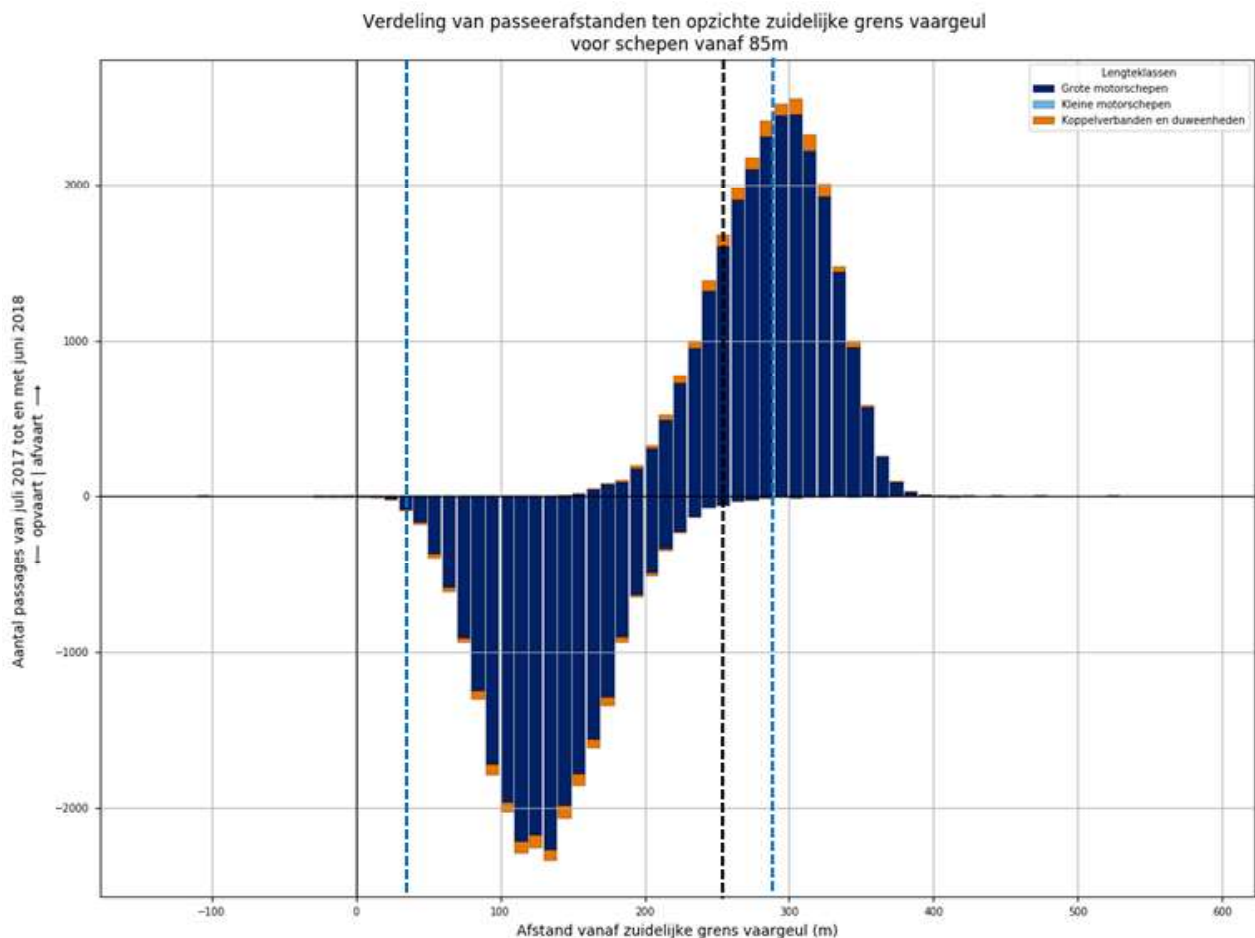
### 3.7 Verdeling van passeerafstanden tot de zuidelijke ontwerpgeulgrens per richting, scheepstype en windconditie

Omdat bij de passeerafstand rekening wordt gehouden met de contouren van het schip, is omwille van de rekentijd de passeerafstand alleen berekend voor schepen vanaf 85m lengte. De passeerafstand van de kleinere motorschepen ontbreekt dus in onderstaande figuren en tabellen.

Tabel 3-6 *Passeerafstand (m) ten opzichte van zuidelijke grens vaargeul per scheepstype voor schepen vanaf 85m*

Lengteklasse	5% percentiel		Gemiddelde		95% percentiel	
	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
Grote motorschepen	220	69	288	133	347	205
Koppelverbanden en duweenheden	202	57	279	129	344	196

In Figuur 3-6 is de verdeling van de afstanden ten opzichte van de zuidelijke grens van de vaargeul weergegeven. De zuidelijke grens ligt dus op de y-as. De noordelijke grens is ter indicatie met een stippellijn aangegeven.



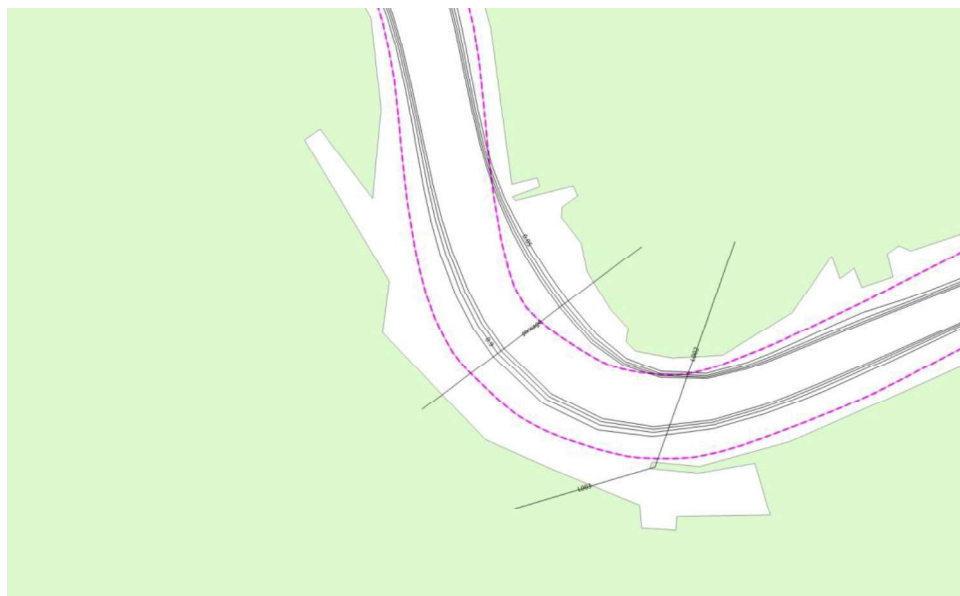
Figuur 3-6 *Afstand tot zuidelijke ontwerpgeulgrens van schepen > 85 m*

De gemiddelde afstand tot de zuidelijke grens van de vaargeul is het kleinst bij krachtige tot harde wind uit het noorden, oosten of noordoosten, respectievelijk 121m voor opvarend verkeer, en 281m voor afvarend verkeer (oranje gemarkeerd). De afstand is het grootst bij krachtige tot harde wind uit het zuiden, westen of zuidwesten, respectievelijk 142 voor opvarend verkeer, en 295m voor afvarend verkeer (groen gemarkeerd).

Tabel 3-7 *Passeerafstand ten opzichte van zuidelijke grens vaargeul per weerstype*

Windconditie	Frequentie (%)	5% percentiel		Gemiddelde		95% percentiel	
		Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
N, NO en O, krachtig/hard	11,6%	212	62	281	121	342	188
N, NO en O, zwak/matig	19,7%	215	62	282	126	344	197
ZO en NW, krachtig/hard	5,6%	219	70	288	134	346	203
ZO en NW, zwak/matig	9,1%	221	65	286	128	345	197
Z, ZW en W, krachtig/hard	24,8%	227	77	295	142	352	213
Z, ZW en W, zwak/matig	29,0%	221	72	288	136	346	205

In Figuur 3-7 zijn de percentielen met een interval van 5% weergegeven voor schepen vanaf 85m. Bij de zuidelijke vaargeul grens het maximum (95% van de schepen vaart ten noorden van deze lijn) en bij de noordelijke vaargeul grens het minimum (5%).



Figuur 3-7 *Percentiellijnen ruimtegebruik voor schepen vanaf 85m*

**APPENDIX 2    RAPPORT 'MODELLERING VAN DE STROMING ROND HET  
NIEUWE STADION'**



# Effectstudie Feyenoord City

Modellering van de stroming rond het nieuwe stadion

Eindrapport

1712/U18209/A/SBom

31 juli 2018

SVAS

HYDRAULICS

COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS

**EK**

**LICS**

**CONSULTANTS**

Schiehaven 13G

3024 EC Rotterdam

Nederland

T +31 - 10 - 467 13 61

F +31 - 10 - 467 45 59

E [info@svasek.com](mailto:info@svasek.com)

I [www.svasek.com](http://www.svasek.com)

Document titel    Effectstudie Feyenoord City  
Modellering van de stroming rond het nieuwe stadion

Verkorte Titel    Effectstudie Feyenoord City

                          Status    Eindrapport

                          Datum    31 juli 2018

                          Project naam    Effectstudie Feyenoord City

Project nummer    1712

Opdrachtgever    Havenbedrijf Rotterdam

                          Referentie    1712/U18209/A/SBom

                          Auteur    S. Bom

Gecontroleerd door    B. van Leeuwen



**INHOUDSOPGAVE**

	Pag.	
1	INTRODUCTIE	1
2	MODELOPZET	3
	2.1 Rekenrooster	3
	2.2 Bodem	4
	2.3 Condities	5
	2.4 Door te rekenen varianten	5
	2.5 Overzicht berekeningen	5
3	RESULTATEN	7
	3.1 Hoge afvoer, extreme ebstroom	8
	3.1.1 Berekening 1 - Referentie	8
	3.1.2 Berekening 2 – Stadion en langsdam	10
	3.1.3 Berekening 3 – Stadion, langsdam en getijdenparken	14
	3.2 Lage afvoer, extreme vloedstroom	19
	3.2.1 Berekening 4 - Referentie	19
	3.2.2 Berekening 5 – Stadion en langsdam	21
	3.2.3 Berekening 6 – Stadion, langsdam en getijdenparken	25
4	DISCUSSIE EN CONCLUSIE	31
	4.1 Discussie	31
	4.2 Conclusie	31
	LITERATUUR	33

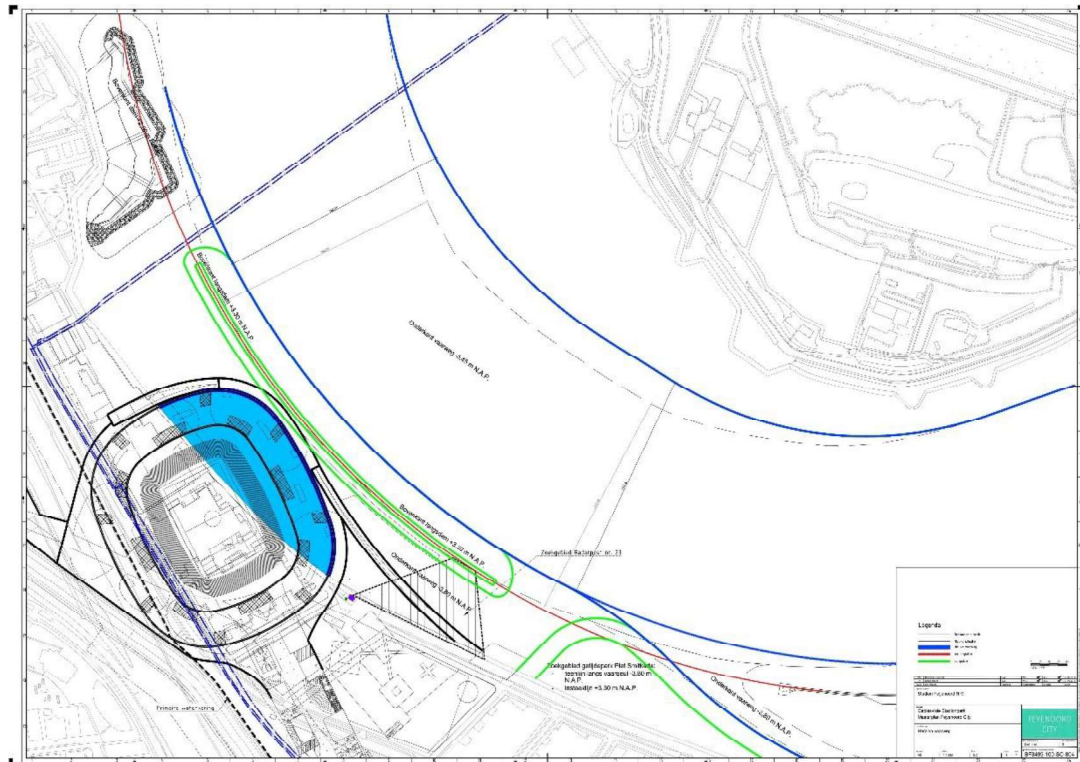




## 1 INTRODUCTIE

Als onderdeel van het project Feyenoord City wordt de mogelijkheid onderzocht om het nieuwe stadion gedeeltelijk in de buitenbocht bij Brienenoord in Nieuwe Maas te plaatsen. Dit gaat gepaard met de aanleg van een langsdam langs de vaargeul en mogelijk twee getijdenparken, zie Figuur 1.1.

In dit hydraulisch onderzoek wordt de impact van het stadion, de langsdam en de getijdenparken op de stroming in de Nieuwe Maas onderzocht ten behoeve van beoordeling van nautische veiligheid.



*Figuur 1.1: Overzicht omgeving Feyenoord City. De blokkerende werking van het stadion is weergegeven in lichtblauw. Daarboven in het groen een langsdam en rechts onder in het groen een getijdenpark. Ten noorden van het stadion is in het zwart een tweede getijdenpark ingetekend. De blauwe lijnen geven de verlegde vaargeul aan.*

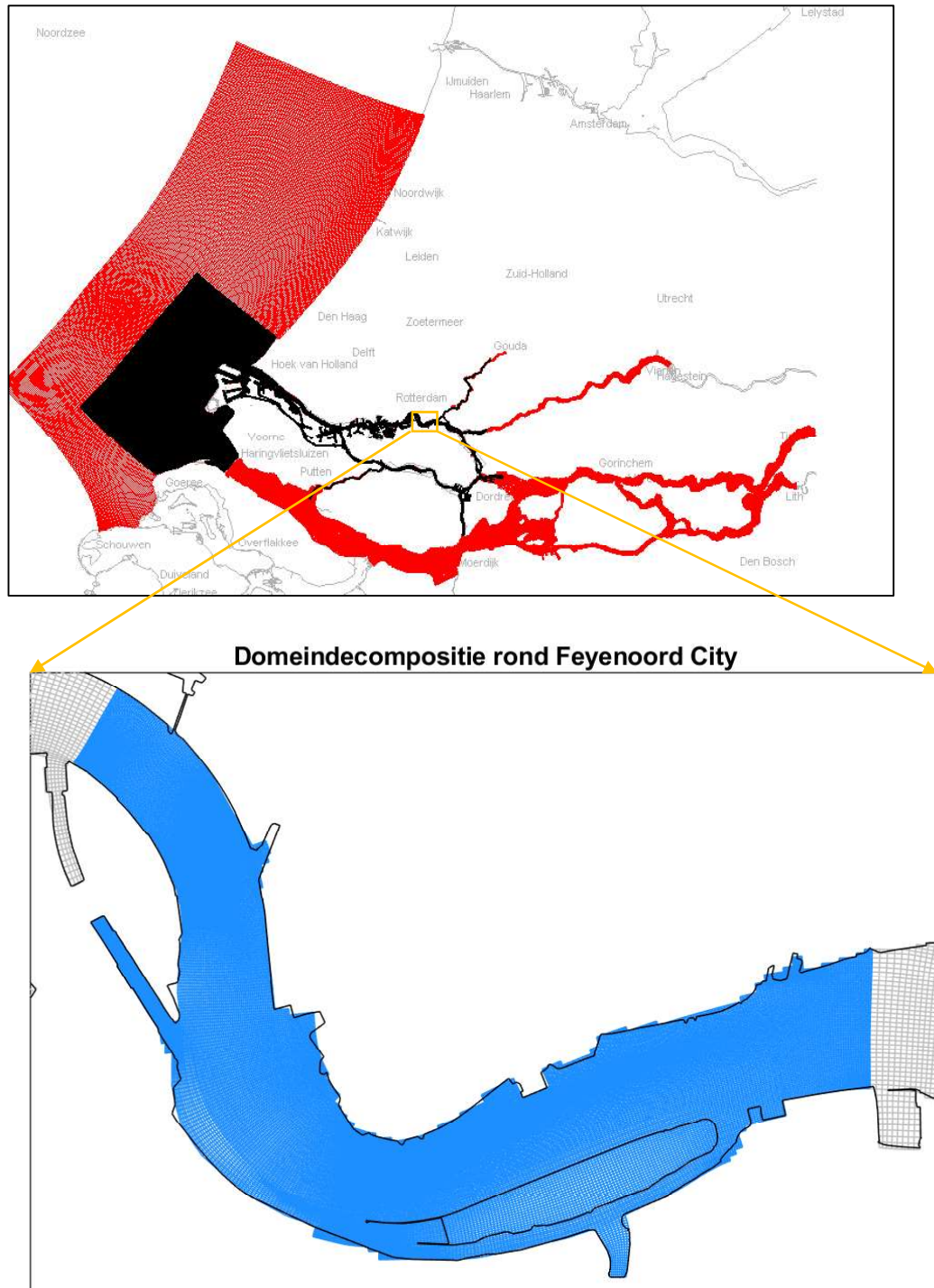
In deze memo zijn dieptegemiddelde stroombeelden en stroombeelden van de bovenste 1.5 m van de waterkolom gepresenteerd. De beelden zijn gegenereerd op basis van uitsnede uit het NSC-Fijn model dat onderdeel is van OSR (Operationeel Stromingsmodel Rotterdam). Met behulp van deze stroombeelden kan door opdrachtgevers een inschatting worden gemaakt ten aanzien van de effecten van Feyenoord City op de scheepvaart.



## 2 MODELOPZET

### 2.1 Rekenrooster

Het uitgangspunt zijn de up to date Simona OSR modellen zoals aangeleverd door het Havenbedrijf (versie 2018\_v102). Deze modellen zijn in opdracht van Rijkswaterstaat door Deltares, goedgekeurd als onderzoeksmodel voor het benedenrivierengebied (zie Deltares, 2015).



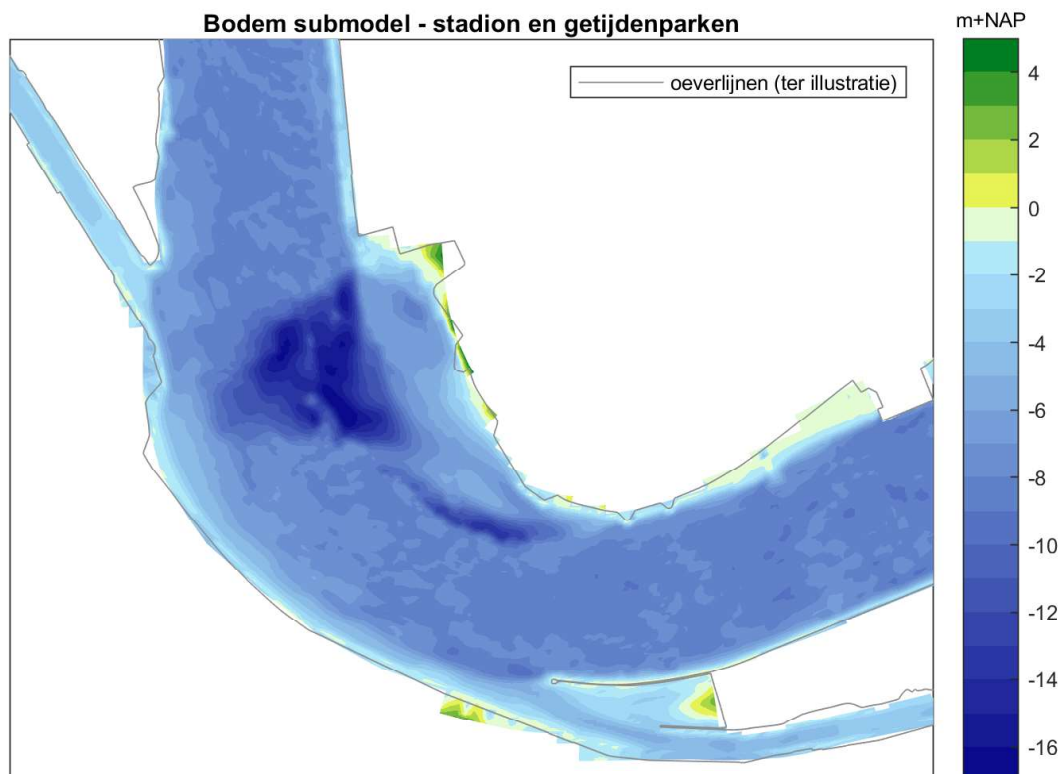
Figuur 2.1: Boven: OSR, met het domein van het Havenmodel in rood, en het domein van het fijnere NSC-Fijn model in zwart. Onder: NSC-Fijn in grijs met in blauw de domeindecompositie met verfijning.

Het OSR bestaat uit een overkoepelend 2D dieptegemiddeld Havenmodel, en een kleiner 3D model met hogere resolutie: het NSC-Fijn model, zie bovenste paneel Figuur 2.1. Dit laatste model is nog niet fijn genoeg om stroming rond het stadion en de langsdam voldoende te representeren. Daarom is een modeldecompositie met een factor 3 horizontale verfijning toegepast (9 keer meer cellen), zie onderste paneel Figuur 2.1. Ook zijn de cellen rondom de langsdam verschoven, zodat de langsdam precies op de randen van de cellen valt. Op deze manier hoeft er geen gebruik te worden gemaakt van de zogenaamde muizen trap om de langsdam te representeren. In het interessegebied is op een resolutie van 6 bij 11 m gehaald (de cellen zijn in de stroomrichting uitgerekt).

Cellen zijn uitgerekt in de richting van de stroom (met circa 1:2), dit betekent dat stroming van opzij minder detail zal hebben en dat ingrepen in de langsrichting met minder detail kunnen worden gerepresenteerd. Voor het bestuderen van effecten op grootschalige (niet turbulente) processen is dit echter nog steeds een valide uitgangspunt.

## 2.2 Bodem

De bodem van het NSC-Fijn model is geactualiseerd, waarbij de verbreding van het Breeddiep en de verdieping van de Nieuwe Waterweg en de Botlek is meegenomen, welke in een e-mail door het Havenbedrijf ter beschikking gesteld zijn (d.d. 03-7-2018, onze referentie 1712/IN18250/BvL). De bodem van het submodel rondom Feyenoord City is ook geleverd door het Havenbedrijf (d.d. 06-7-2018, onze referentie 1712/IN18266/SBom). De resulterende bodem rond Feyenoord City is weergegeven in Figuur 2.2.



*Figuur 2.2: Modelbodem submodel rond Feyenoord City.*



## 2.3 Condities

Er wordt gerekend met extreme eb en extreme vloed. Dit is gedefinieerd als een combinatie van een gemiddeld springtij met een 1/1 jaar hoge Rijnaivoer (voor extreem eb) en een 1/1 jaar lage Rijnaivoer (voor extreme vloed). Voor beide condities zijn geen weersinvloeden meegenomen (wind, luchtdruk, opzet). Als gemiddeld springtij is het astronomisch getij in de periode tussen 11 augustus 2010 15:30 en 12 augustus 2010 16:30 gekozen, zoals toegepast in de effectstudie van de tijdelijke Suurhoffbrug (d.d. 27-7-2017, onze referentie 1712-U17211-C-BvL).

### Afvoer bij Lobith

De 1/1 jaar hoge en lage Rijnaivoer zijn bepaald met een historische afvoerreeks bij Lobith (van 1980-2016). Voor de lage afvoer is het resultaat een afvoer van 1019 m<sup>3</sup>/s, voor de hoge conditie is een afvoer van 5162 m<sup>3</sup>/s afgeleid. De bijbehorende verdeling over de takken Waal, Benedenrijn en IJssel (die laatste niet in het model) is afgeleid uit interpolatie van tabel 3.2 uit Rijkswaterstaat (2007). Op basis van dezelfde tabel wordt de afvoer van Maas verkregen die onder die omstandigheden 50% van de tijd wordt overschreden.

## 2.4 Door te rekenen varianten

Naast de huidige situatie (= referentie zonder stadion, langsdam en getijdenparken) zijn er twee varianten die doorgerekend worden: een variant met alleen het stadion en de langsdam en een variant met zowel het stadion, de langsdam als de getijdenparken. Voor beide varianten worden de objecten gemodelleerd zoals gespecificeerd in de door het Havenbedrijf aangeleverde tekening (zie Figuur 1.1).

Het stadion en de getijdenparken worden gesimuleerd door dampunten. Dergelijke punten zijn inactief en kunnen niet stromen. Op deze wijze kunnen alleen gehele cellen worden 'uitgezet', wat betekent dat de implementatie van een bepaalde variant wordt beperkt door de ligging van de cellen in het rekenrooster. De langsdam is gemodelleerd door middel van schotjes. Een schotje representeert een dunne dam, waardoor stroming dwars op die dam wordt geblokkeerd.

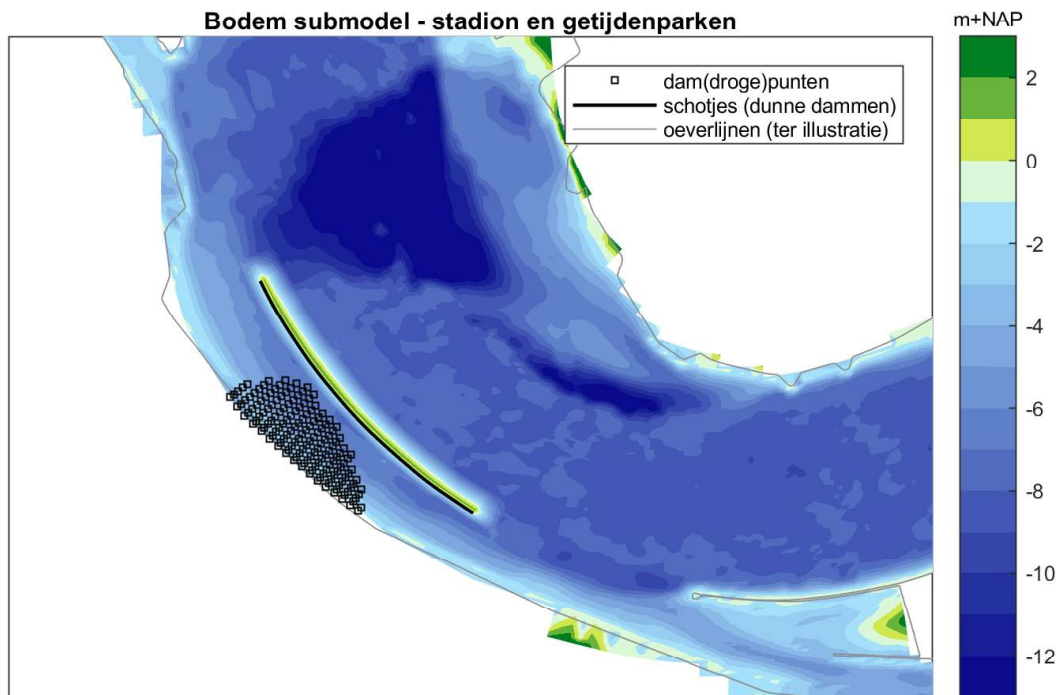
Bij de langsdam en de getijdenparken is een talud in de bodem aangebracht, conform aangeleverd tekening. Het stadion zelf zal verticale damwanden krijgen, daar is dus geen talud opgenomen. De bodem van het referentie variant is te zien in Figuur 2.2. De implementatie voor de verschillende varianten is in Figuur 2.3 en Figuur 2.4 gepresenteerd.

## 2.5 Overzicht berekeningen

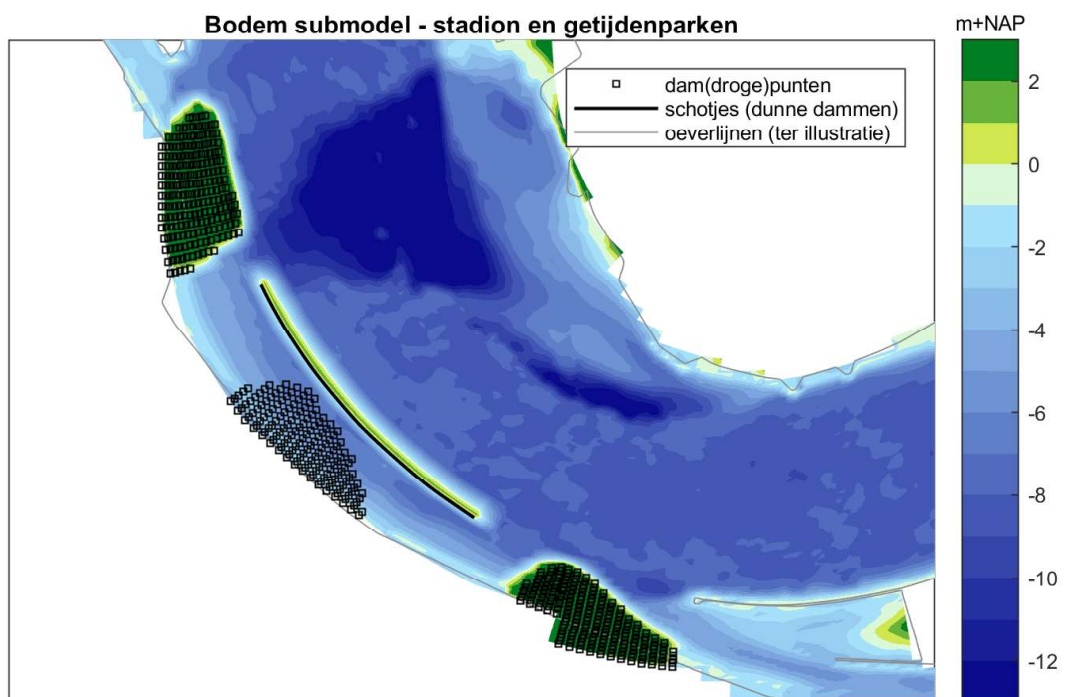
In onderstaand overzicht zijn de 6 uitgevoerde berekeningen weergegeven.

Tabel 2.1: Overzicht berekeningen

Nr.	Variant	Afvoer
1	Huidig (= referentie)	5162 m <sup>3</sup> /s (hoog)
2	Stadion en langsdam	5162 m <sup>3</sup> /s (hoog)
3	Stadion, langsdam en getijdenparken	5162 m <sup>3</sup> /s (hoog)
4	Huidig (= referentie)	1019 m <sup>3</sup> /s (laag)
5	Stadion en langsdam	1019 m <sup>3</sup> /s (laag)
6	Stadion, langsdam en getijdenparken	1019 m <sup>3</sup> /s (laag)



*Figuur 2.3: Bodem en dampunten in het model van de variant met het stadion en de langsdam.*



*Figuur 2.4: Bodem en dampunten in het model van de variant met het stadion, de langsdam en de getijdenparken.*

### 3 RESULTATEN

Voor de periode van 11 augustus 15:30 tot en met 12 augustus 16:30 is iedere tien minuten een 3D stromingsveld gemaakt. Binnen dit tijdsdomein treedt de maximum vloedsnelheid bij Feyenoord City op om 4:40 op 12 augustus en de maximum ebsnelheid om 21:30 op 11 augustus. Om de effecten op schepen te bepalen (die in het bovenste deel van de waterkolom varen) is gemiddeld over de bovenste 0-1.5 m, met andere woorden: vanaf het wateroppervlak tot 1.5 m onder het wateroppervlak. In de volgende figuren zijn stroom- en verschilvelden bij maximum vloed en eb weergegeven, voor zowel de bovenste 1.5 m als dieptegemiddeld.

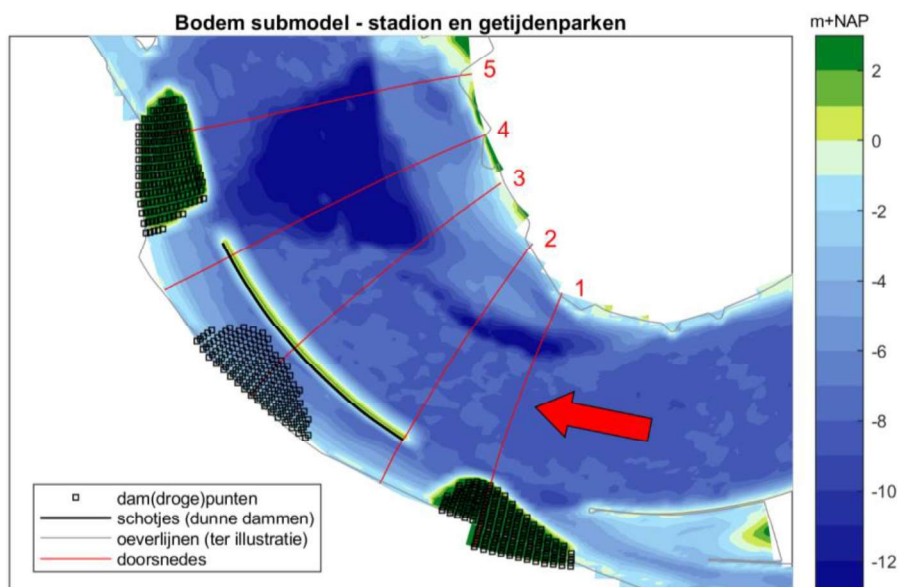
Stroomsnelheden in de kleurschaal zijn absolute stroomsnelheden. Verschilvelden geven het verschil in die absolute stroomsnelheid. Dit betekent dat een richtingsverandering zich niet vertaalt in een snelheidsverschil.

De richting wordt in de figuren aangegeven met snelheidsvectoren. De vectoren van één op drie roosterpunten zijn weergegeven. In de verschilvelden zijn zowel de vectoren van de huidige situatie (referentie) als die van de variant met ingreep weergegeven.

In ieder figuur is linksonder een inzet met daarin de waterstand over de uitgevoerde periode; door middel van een rode streep is het tijdstip aangegeven.

Let op, als één van de hoekpunten van een cel droog is (bijvoorbeeld door een dampunt of door droogvallen) dan wordt die niet geplot in onderstaande figuren. Hierdoor lijken sommige doorgangen smaller dan ze daadwerkelijk in het model zitten.

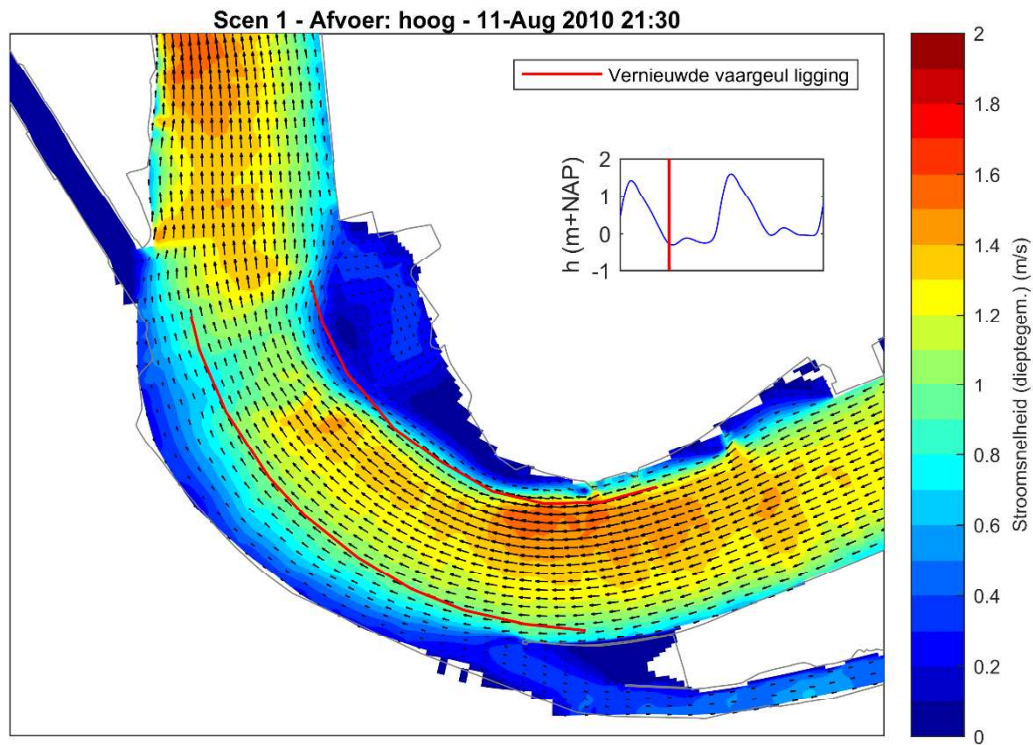
Om het effect van de langsdam op de stroming over de diepte van de rivier inzichtelijk te maken zijn er dwarsdoorsnedes op 5 locaties in de rivier in het rapport opgenomen. Van deze doorsnedes zijn opnieuw zowel stroom- als verschilvelden gecreëerd. Figuur 3.1 geeft de locaties van de dwarsdoorsnedes weer, waarin ook een pijl te zien is welke de richting aangeeft vanwaaruit de dwarsdoorsnedes worden bekeken. De kleurschaal in de doorsnedes geeft de snelheid in langsrichting langs de rivieras weer (dwars op de doorsnede). Een rode kleur in de doorsnede geeft een positieve snelheid aan, welke dezelfde richting als de rode pijl in Figuur 3.1 heeft. De vectoren in de doorsnedes weergegeven de snelheid dwars op de rivieras (langs de doorsnede). Een vector van één op vier roosterpunten is weergegeven.



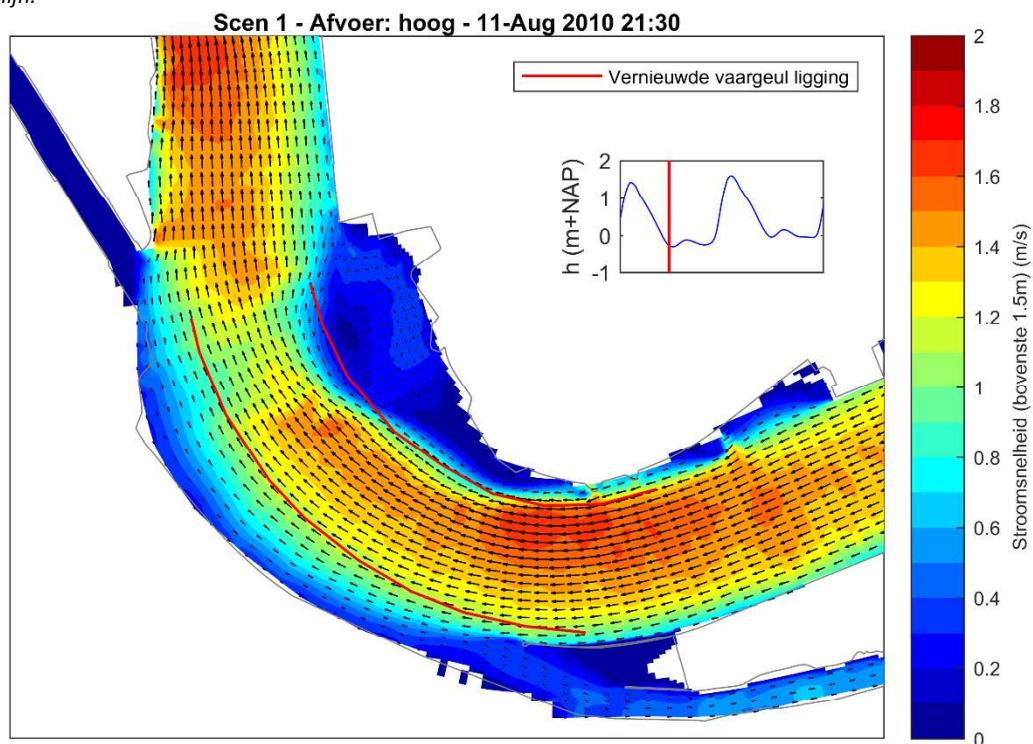
*Figuur 3.1: Locaties van de dwarsdoorsnedes. De rode pijl weergeeft de richting vanaf welke de dwarsdoorsnedes worden bekeken.*

### 3.1 Hoge afvoer, extreme ebstroom

#### 3.1.1 Berekening 1 - Referentie

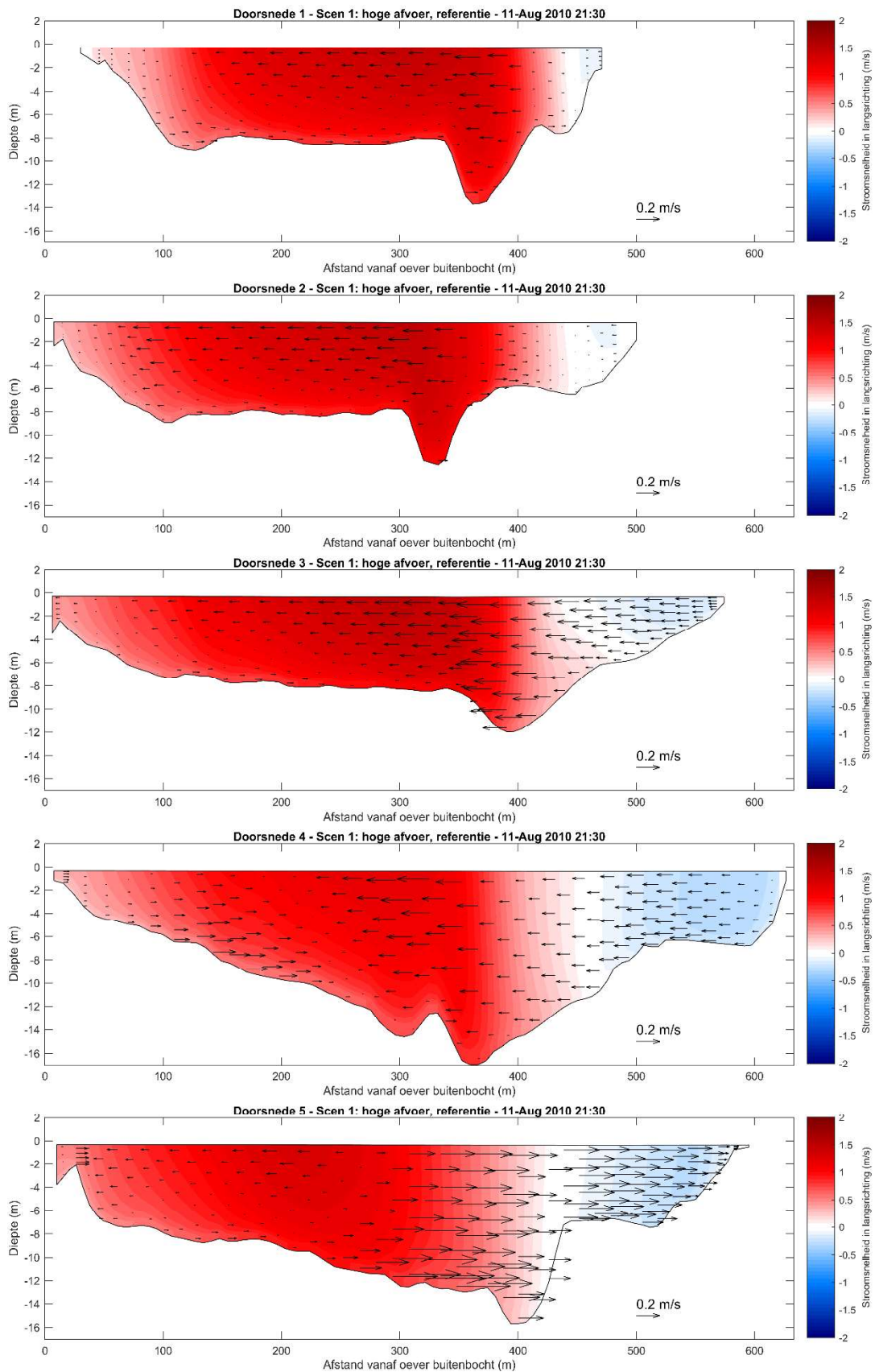


Figuur 3.2: Dieptegemiddelde ebstroomsnelheid in geval van berekening 1 (Tabel 2.1): huidige situatie (referentie) met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.



Figuur 3.3: Ebstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom in geval van berekening 1 (Tabel 2.1): huidige situatie (referentie) met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.

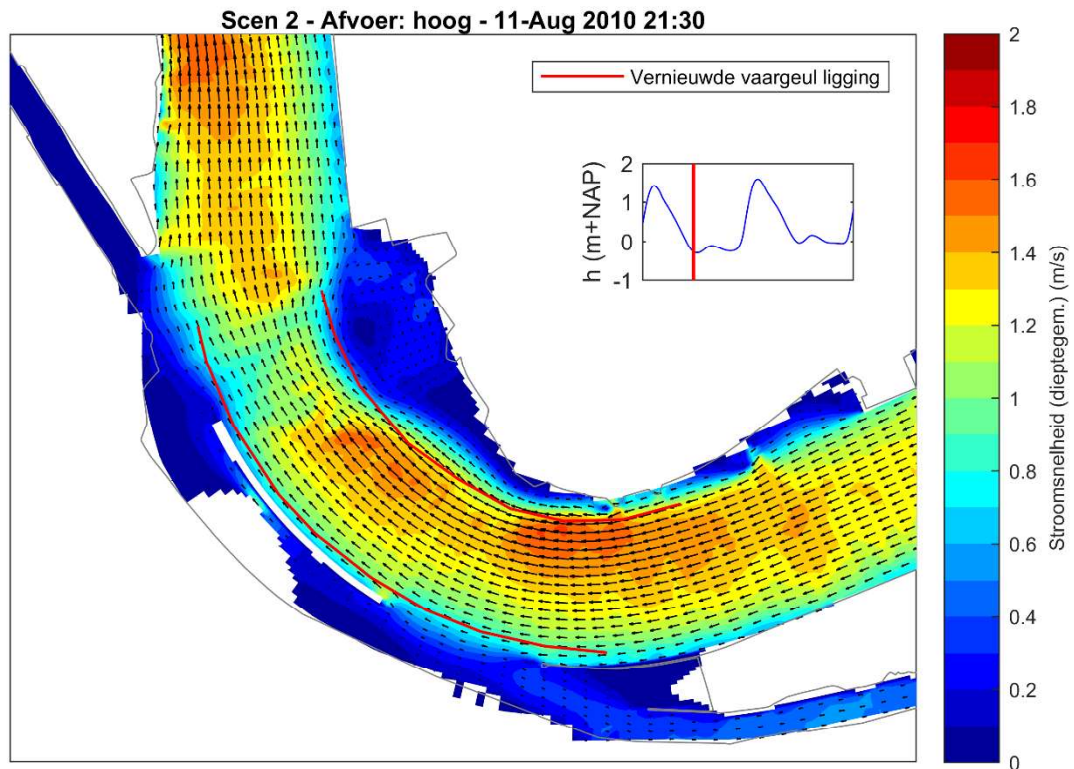




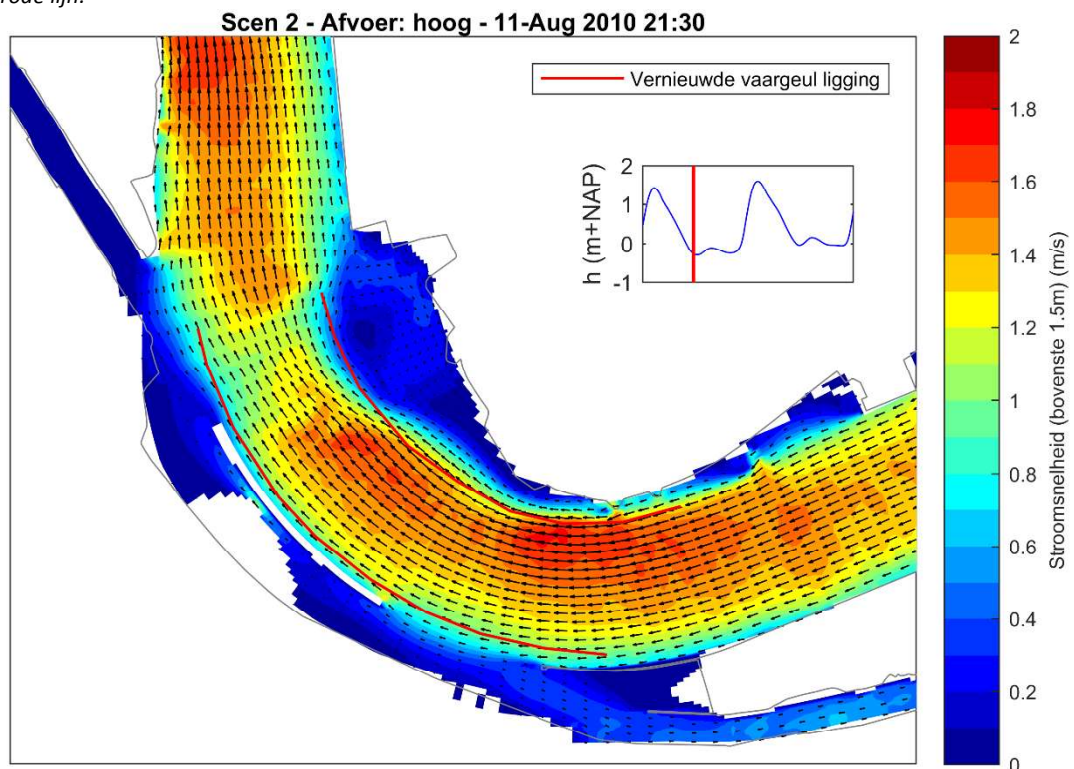
*Figuur 3.4: Dwarsdoorsnedes op vijf locaties (zie Figuur 3.1) met de snelheid langs de as van de rivier in de kleurenschaal, waarbij de rode kleur een snelheid in benedenstroomse richting (richting de Noordzee) weergeeft. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen.*



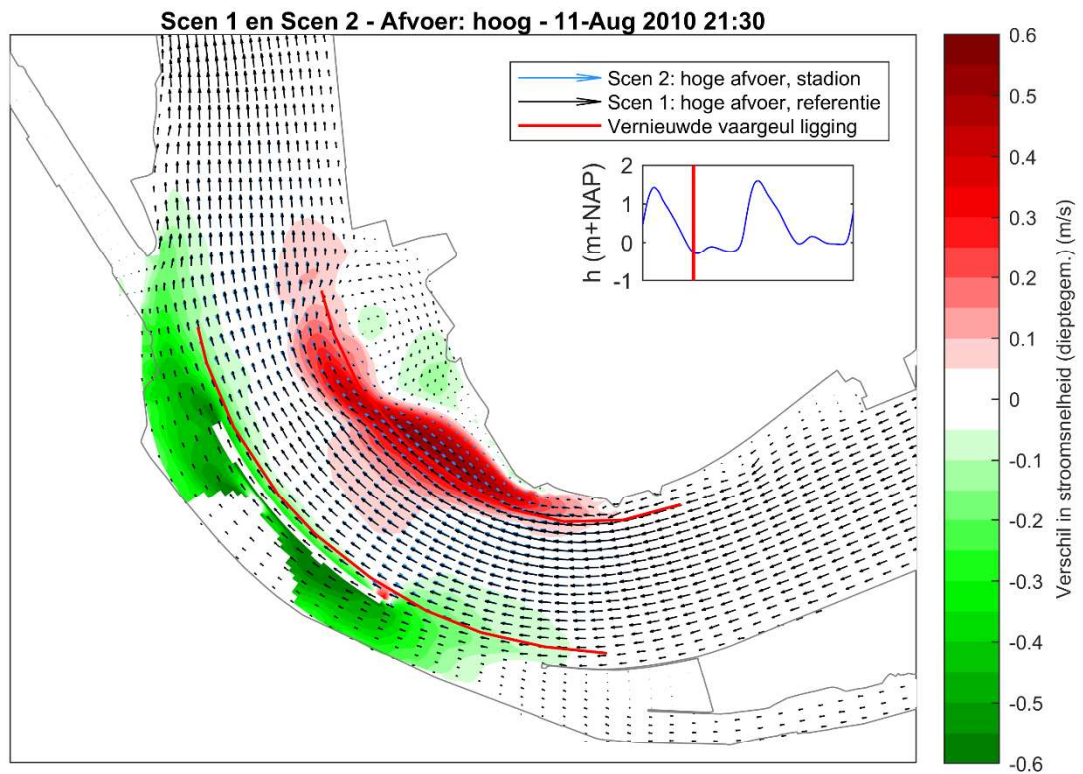
3.1.2 Berekening 2 – Stadion en langsdam



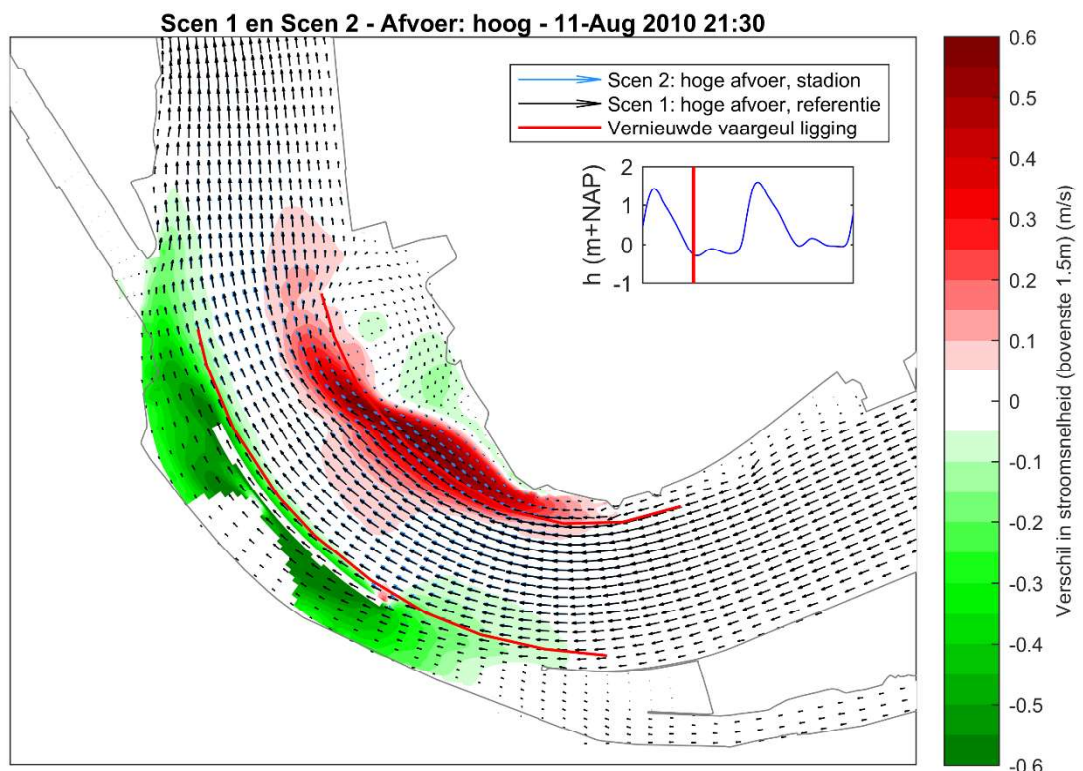
*Figuur 3.5: Dieptegemiddelde ebstroomsnelheid in geval van berekening 2 (Tabel 2.1): situatie met het stadion en de langsdam met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*



*Figuur 3.6: Ebstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom in geval van berekening 2 (Tabel 2.1): situatie met het stadion en de langsdam met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*

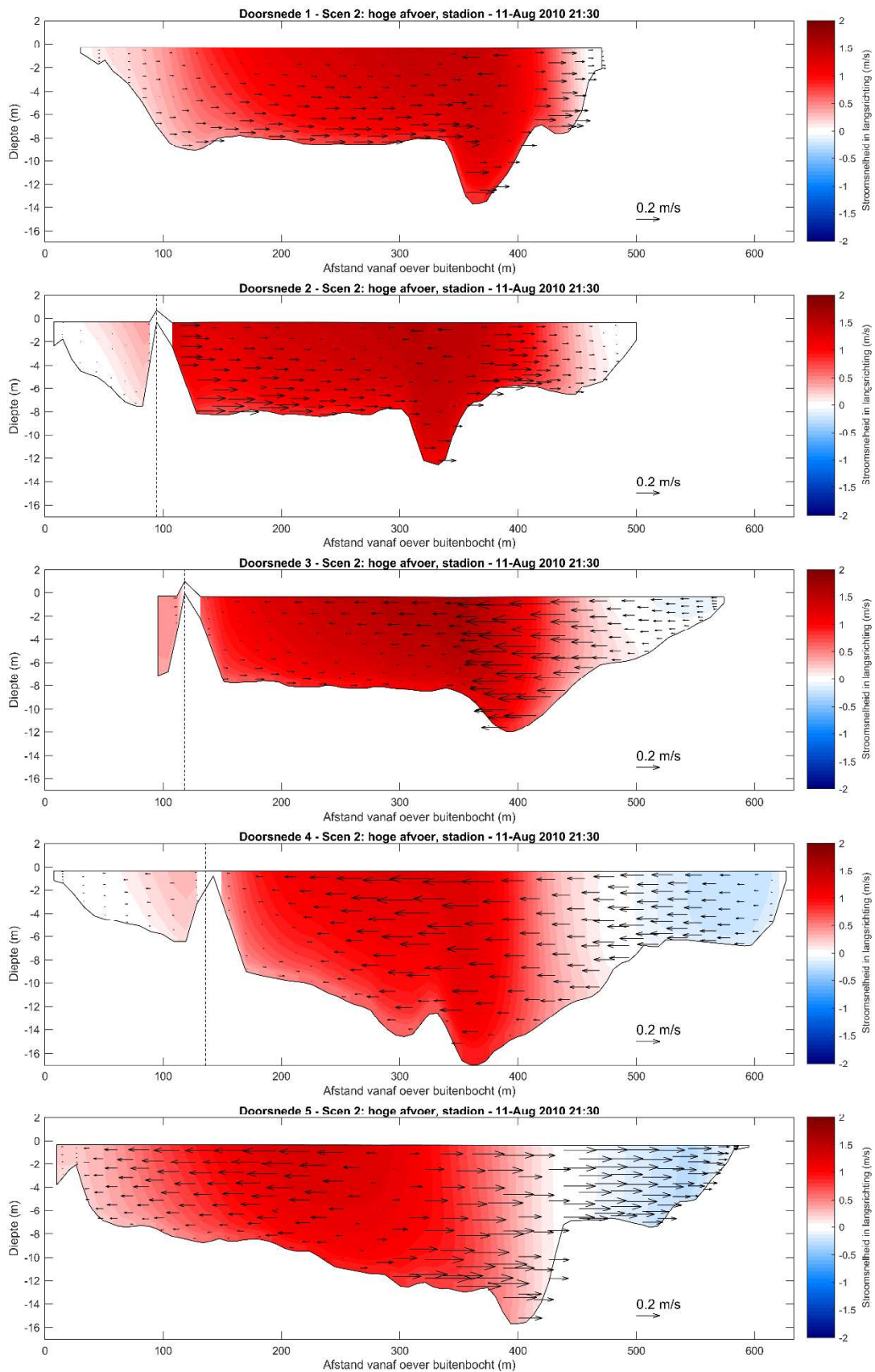


*Figuur 3.7: Verschil in dieptegemiddelde ebstroomsnelheid tussen de situatie met het stadion en de langsdam en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*

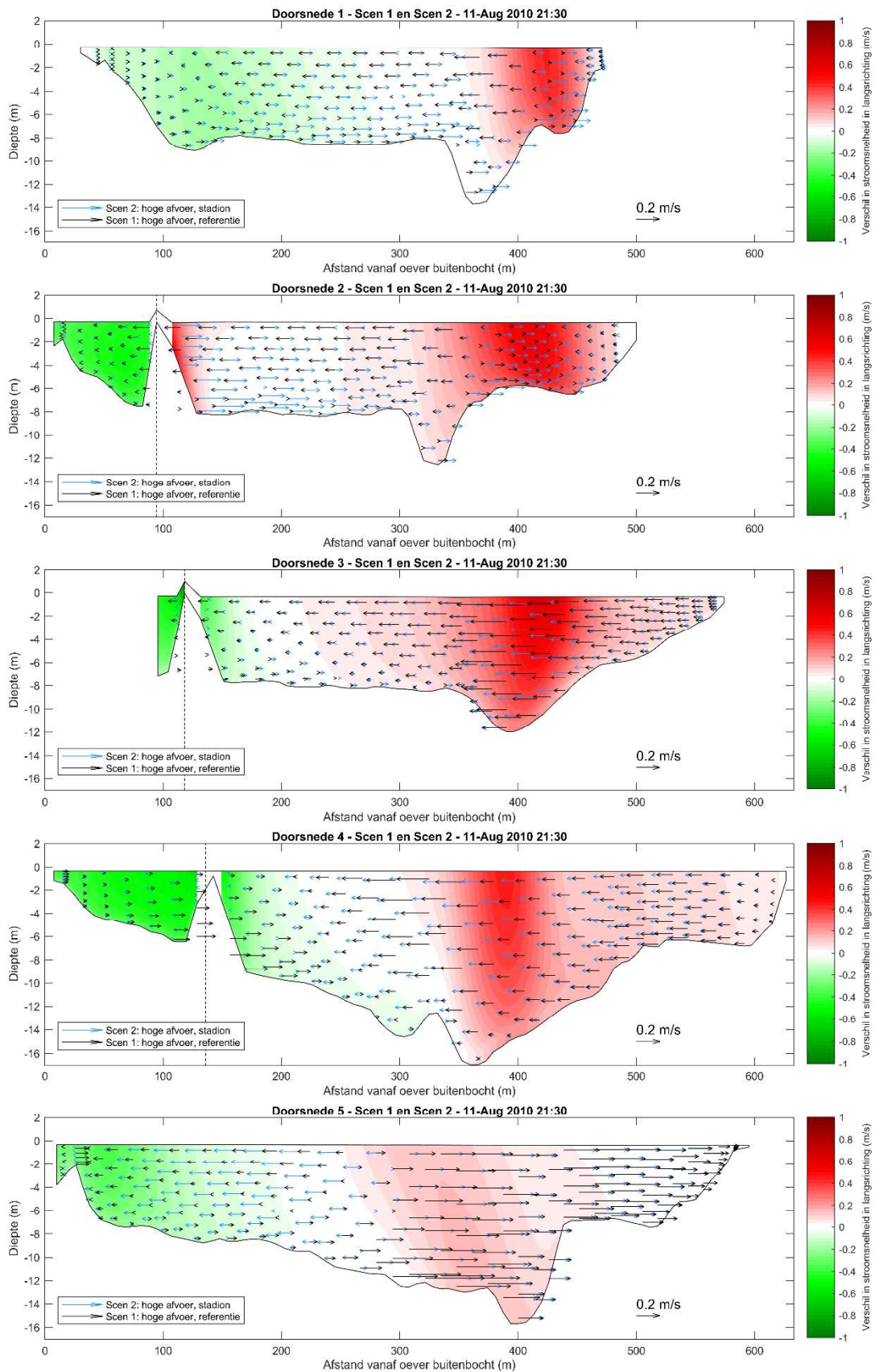


*Figuur 3.8: Verschil in ebstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom tussen de situatie met het stadion en de langsdam en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*



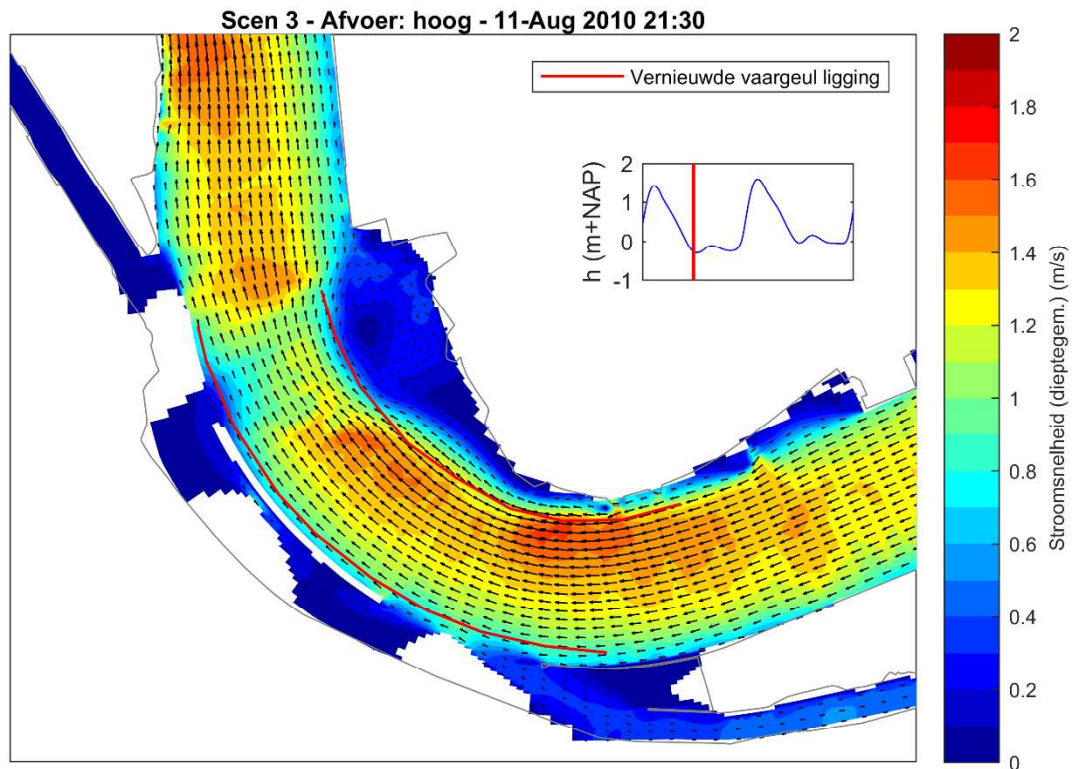


*Figuur 3.9: Dwarsdoorsnedes op vijf locaties (zie Figuur 3.1) met de snelheid langs de as van de rivier in de kleurenschaal, waarbij de rode kleur een snelheid in benedenstroomse richting (richting de Noordzee) weergeeft. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen.*

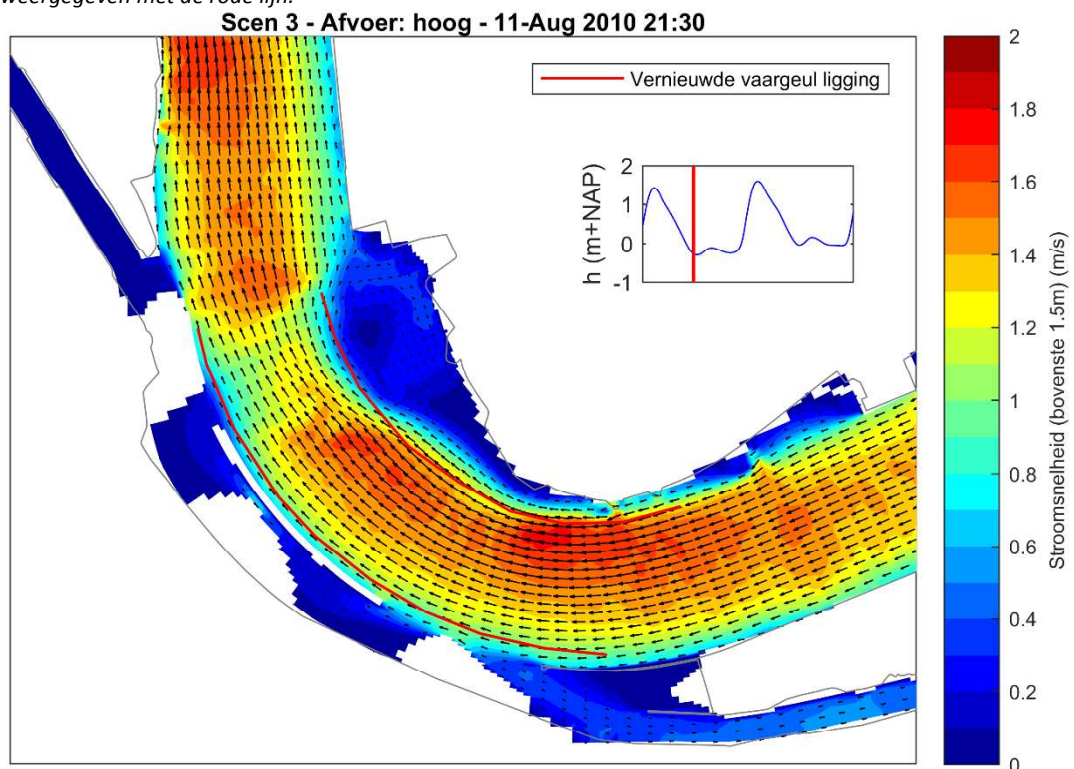


Figuur 3.10: Dwarsdoorsnedes op vijf locaties (zie Figuur 3.1) met het verschil in snelheid langs de as van de rivier in de kleurschaal tussen het referentie scenario en het scenario met het stadion en de langsdam. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen.

3.1.3 Berekening 3 – Stadion, langsdam en getijdenparken

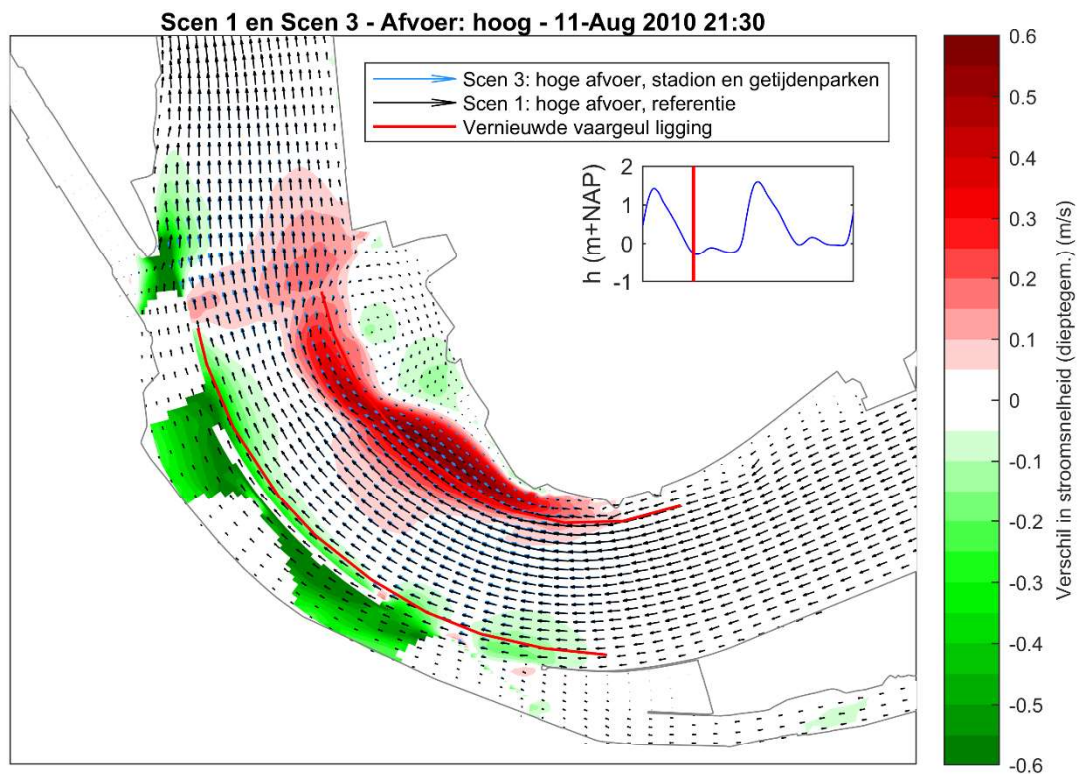


*Figuur 3.11: Dieptegemiddelde ebstroomsnelheid in geval van berekening 3 (Tabel 2.1): situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*

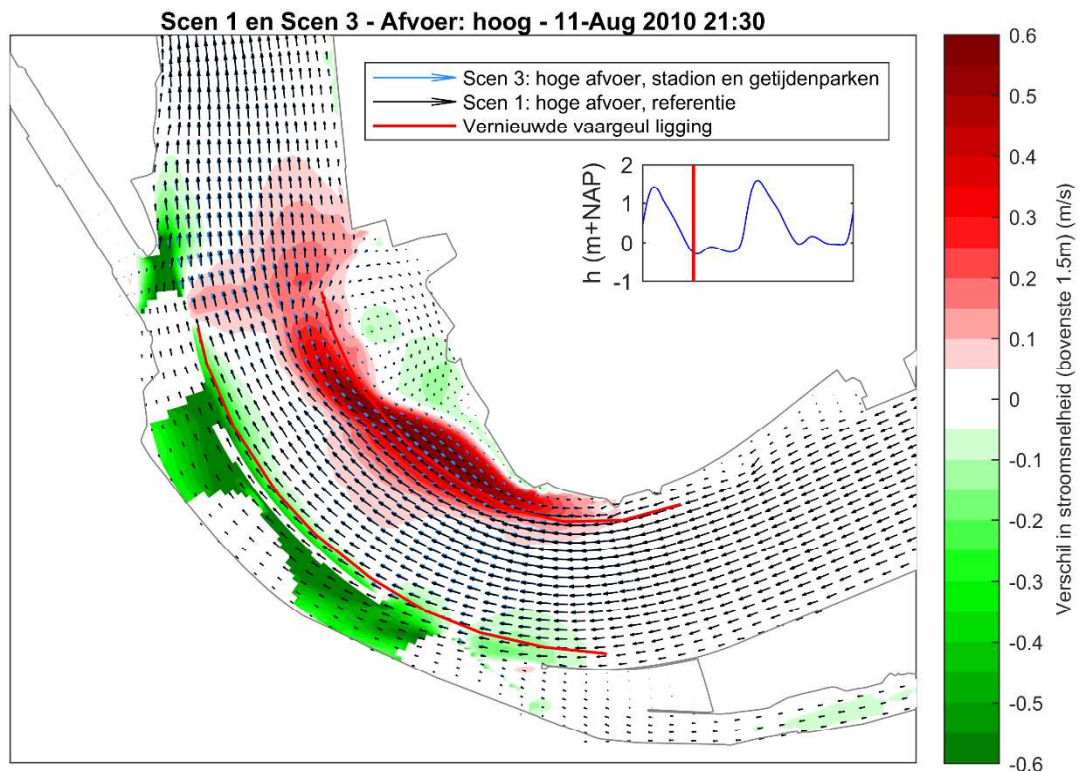


*Figuur 3.12: Ebstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom in geval van berekening 3 (Tabel 2.1): situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*

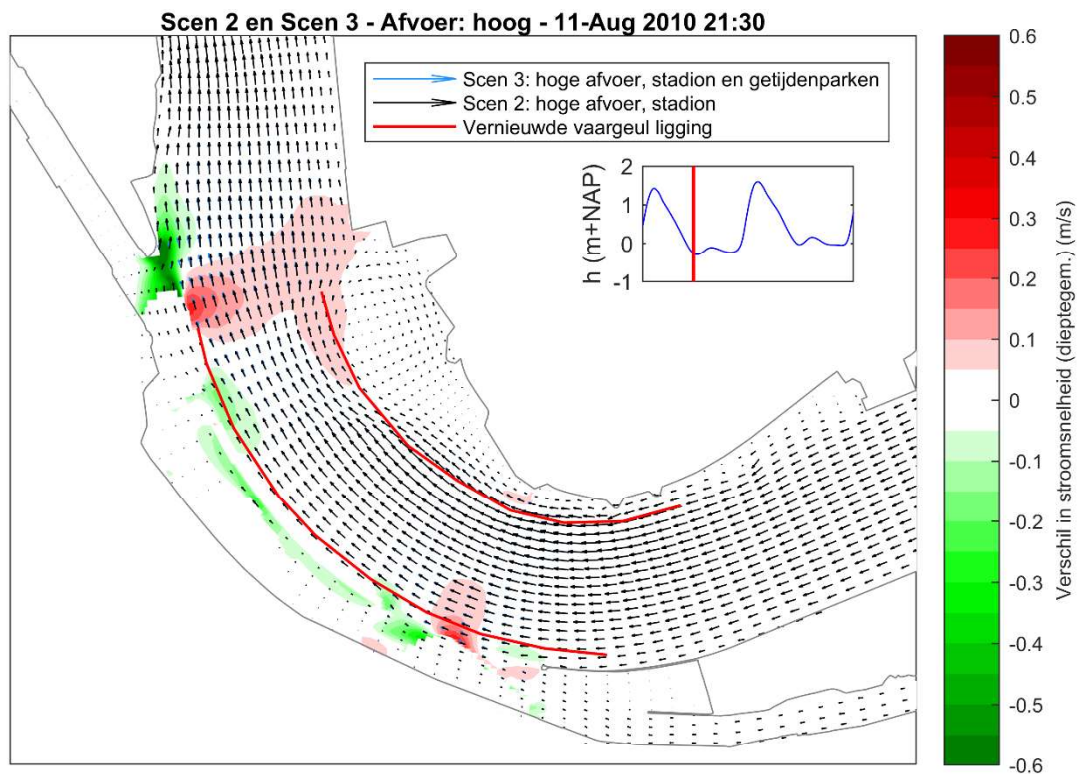




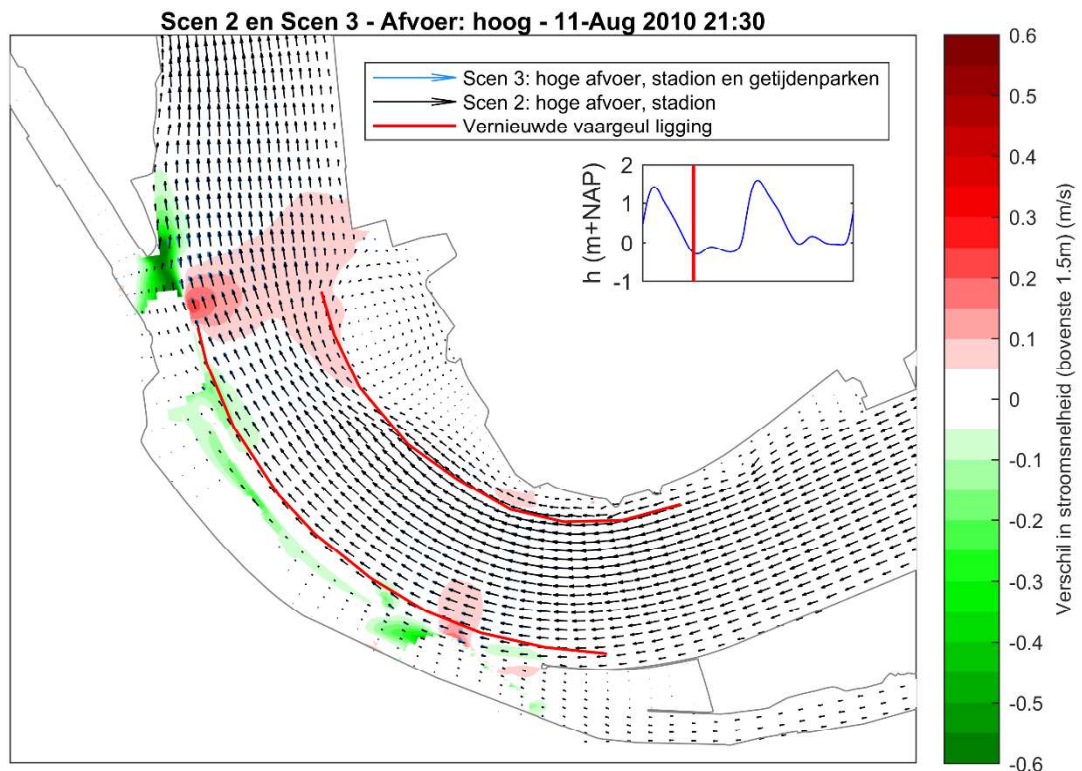
*Figuur 3.13: Verschil in dieptegemiddelde ebstroomsnelheid tussen de situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*



*Figuur 3.14: Verschil in ebstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom tussen de situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*

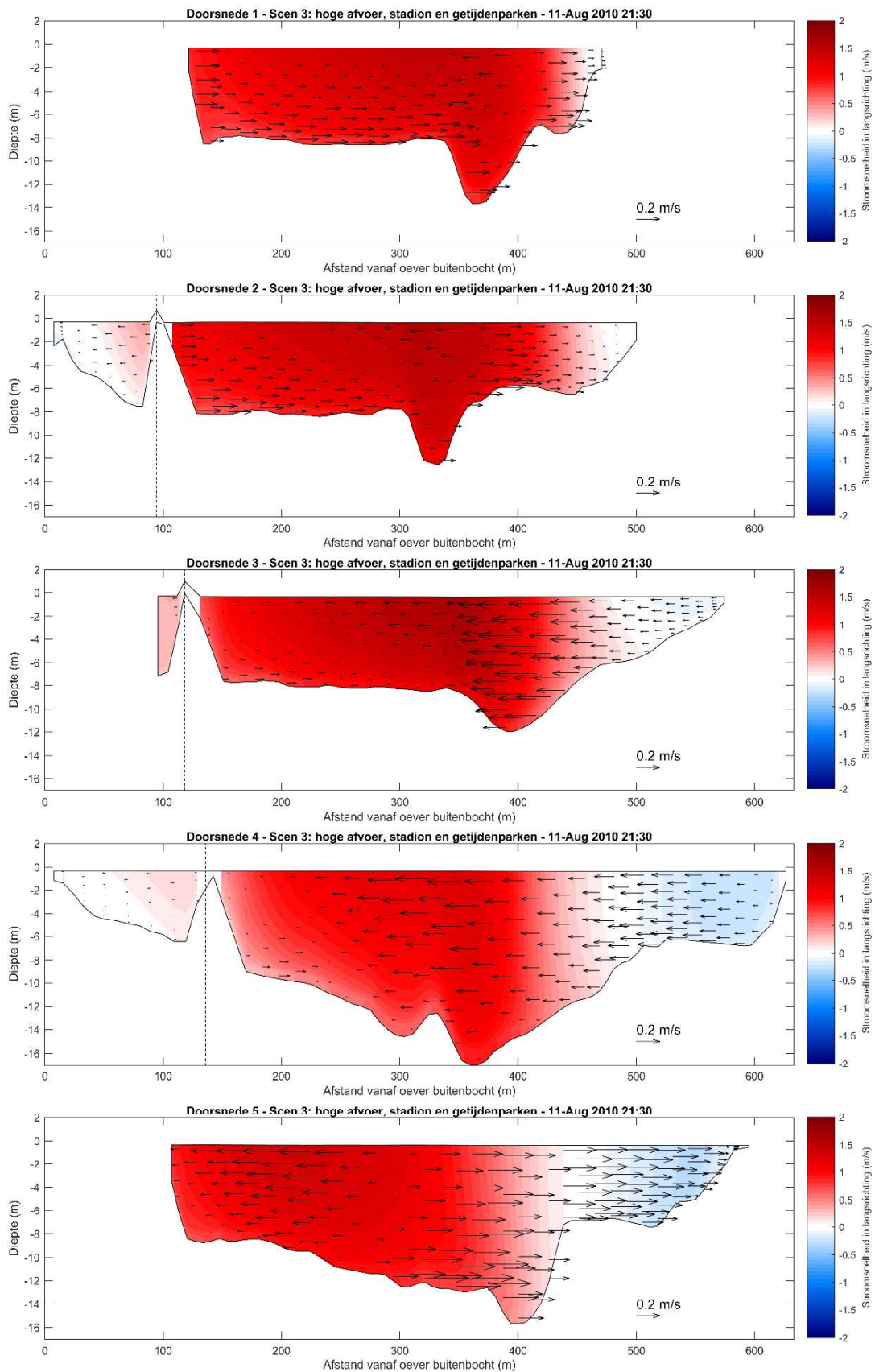


Figuur 3.15: Verschil in dieptegemiddelde ebstroomsnelheid tussen de situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.

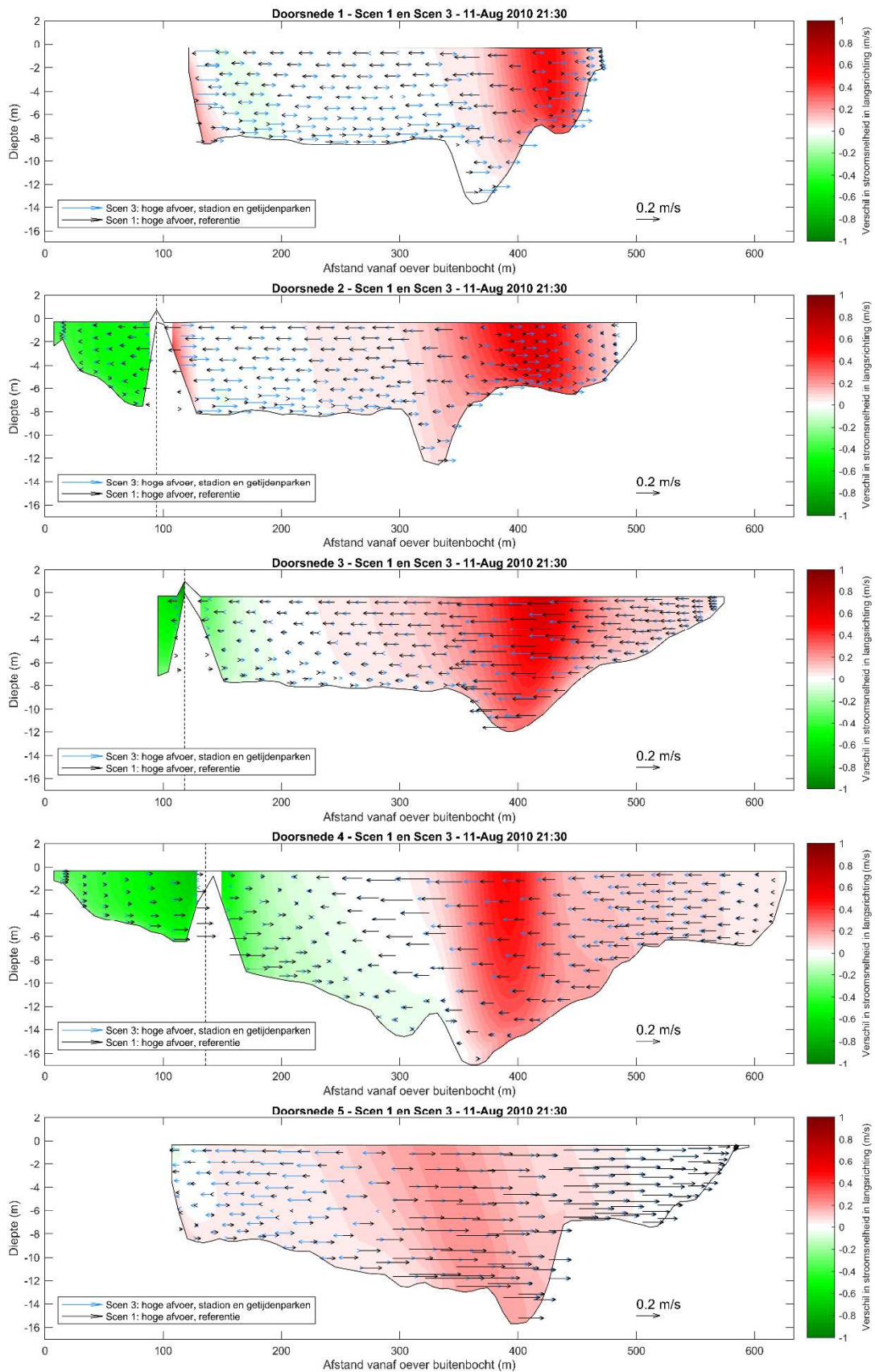


Figuur 3.16: Verschil in ebstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom tussen de situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en hoge afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.





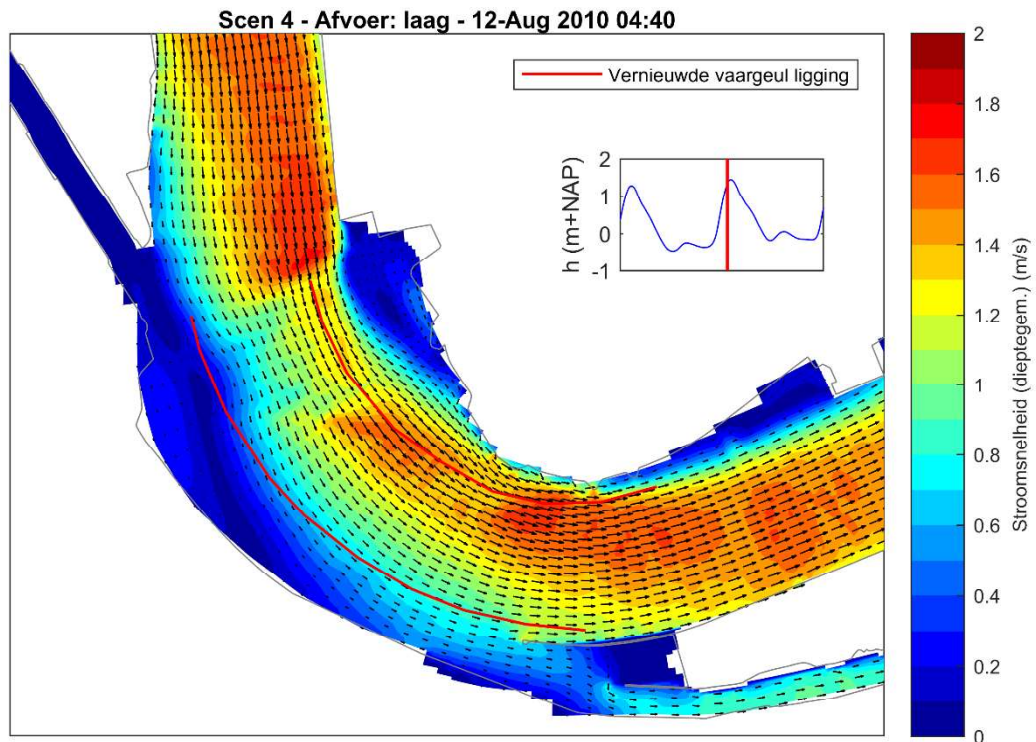
Figuur 3.17: Dwarsdoorsnedes op vijf locaties (zie Figuur 3.1) met de snelheid langs de as van de rivier in de kleurenschaal, waarbij de rode kleur een snelheid in benedenstroomse richting (richting de Noordzee) weergeeft. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen.



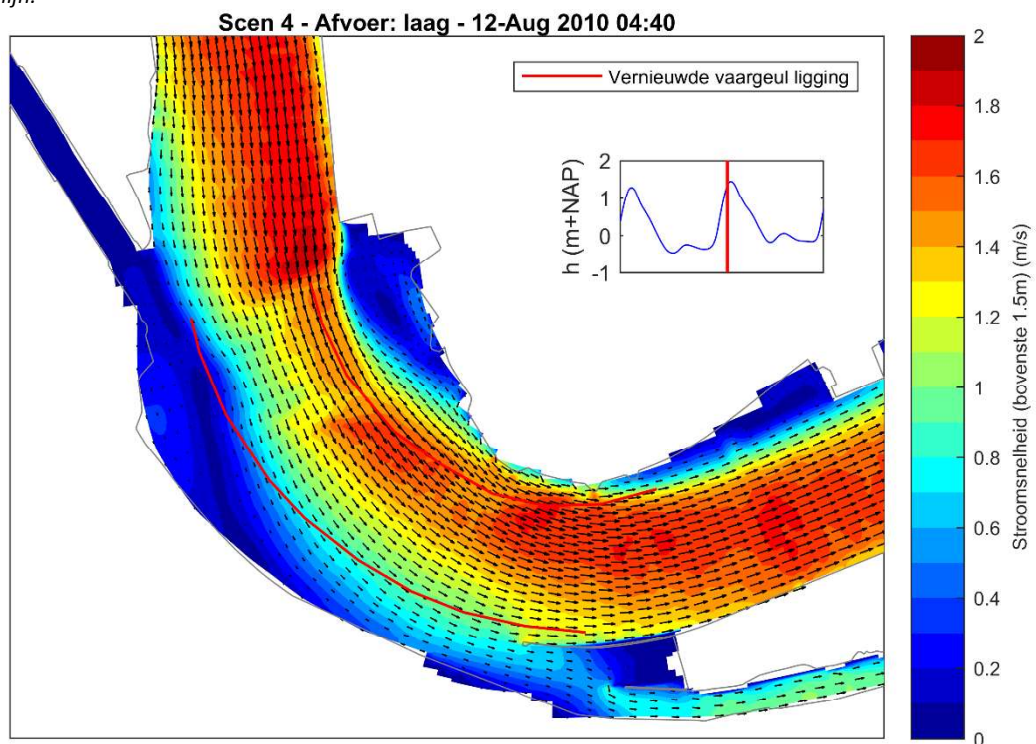
Figuur 3.18: Dwarsdoorsnedes op vijf locaties (zie Figuur 3.1) met het verschil in snelheid langs de as van de rivier in de kleurschaal tussen het referentie scenario en het scenario met het stadion, de langsdam en de getijdenparken. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen.

### 3.2 Lage afvoer, extreme vloedstroom

#### 3.2.1 Berekening 4 - Referentie

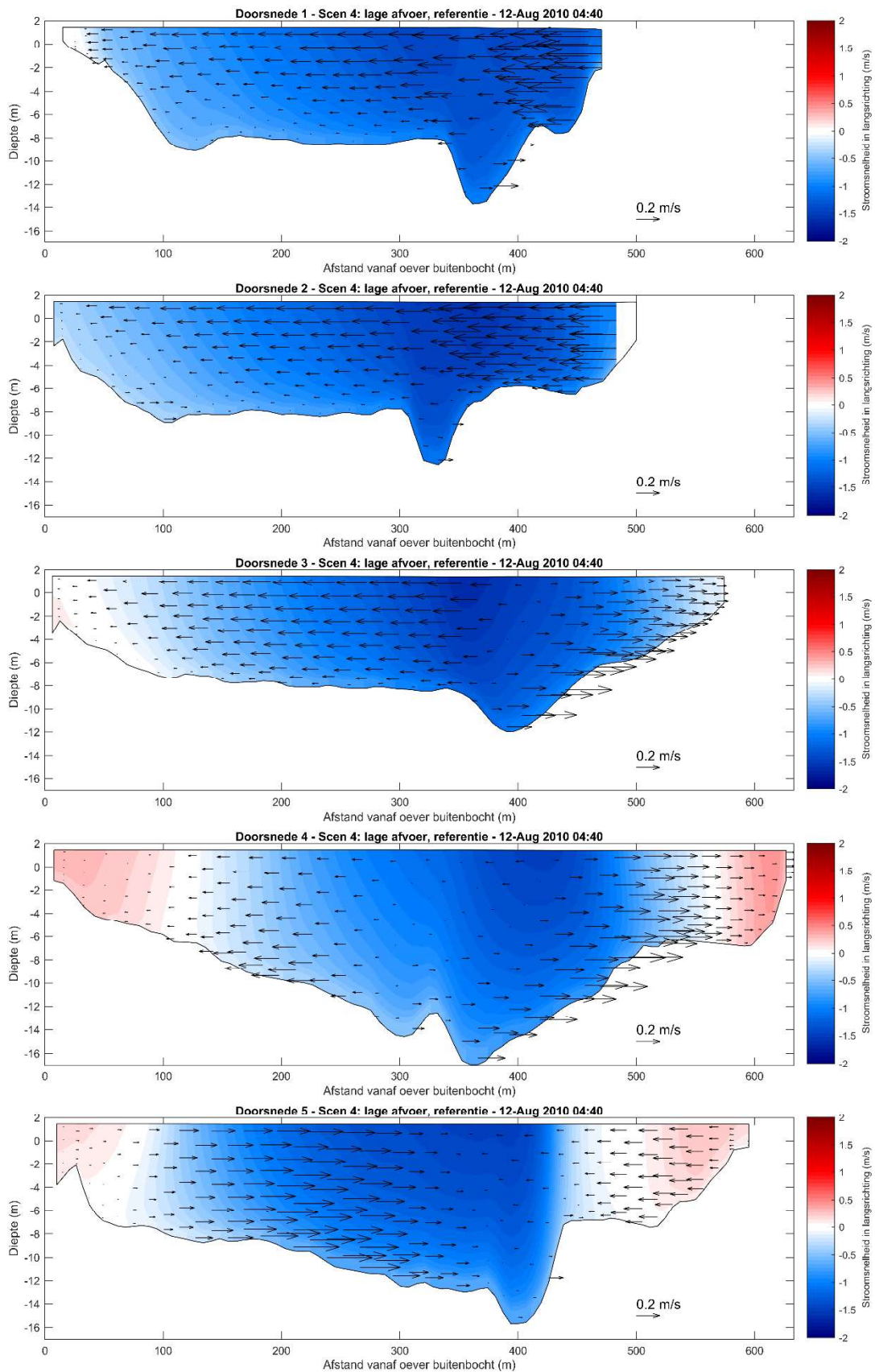


*Figuur 3.19: Dieptegemiddelde vloedstroomsnelheid in geval van berekening 4 (Tabel 2.1): huidige situatie (referentie) met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*



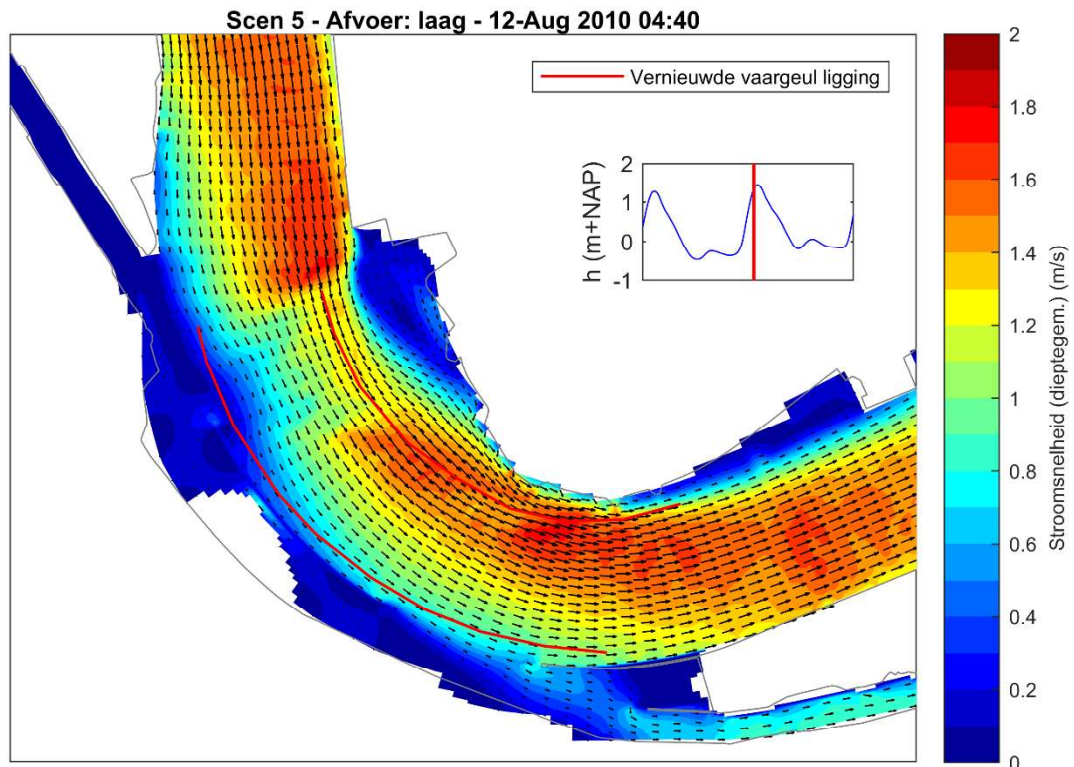
*Figuur 3.20: Vloedstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom in geval van berekening 4 (Tabel 2.1): huidige situatie (referentie) met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*



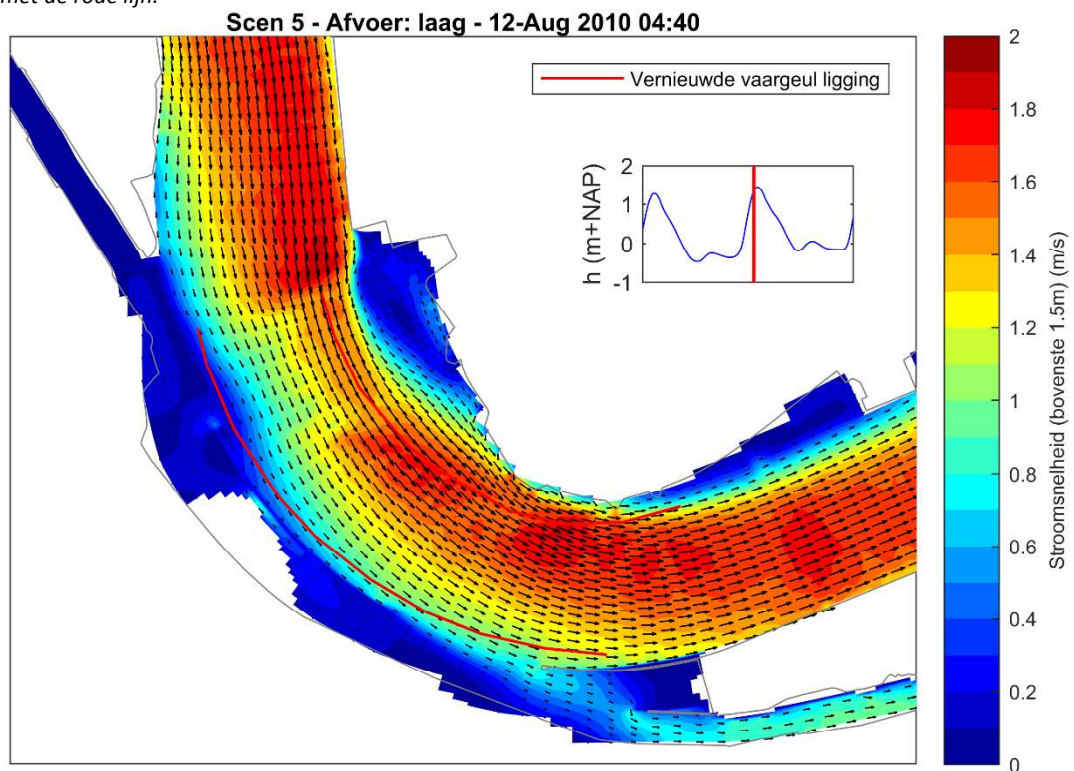


Figuur 3.21: Dwarsdoorsnedes op vijf locaties (zie Figuur 3.1) met de snelheid langs de as van de rivier in de kleurenschaal, waarbij de rode kleur een snelheid in benedenstroomse richting (richting de Noordzee) weergeeft. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen.

3.2.2 Berekening 5 – Stadion en langsdam

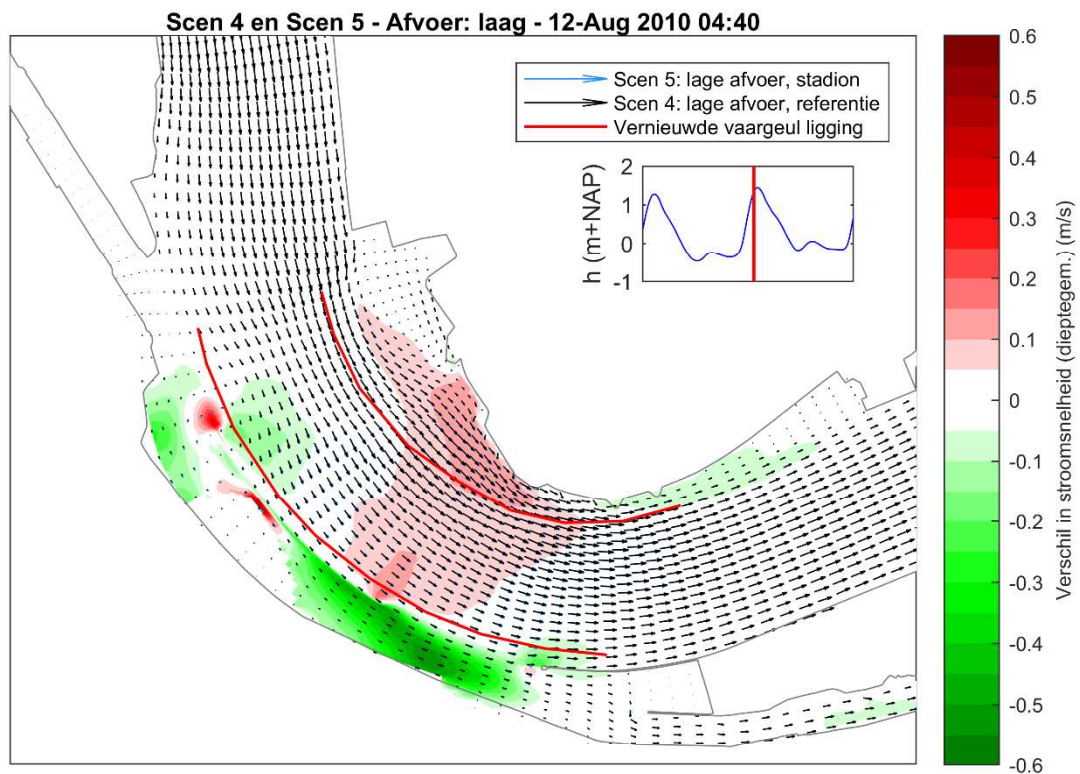


Figuur 3.22: Dieptegemiddelde vloedstroomsnelheid in geval van berekening 5 (Tabel 2.1): situatie met het stadion en de langsdam met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.

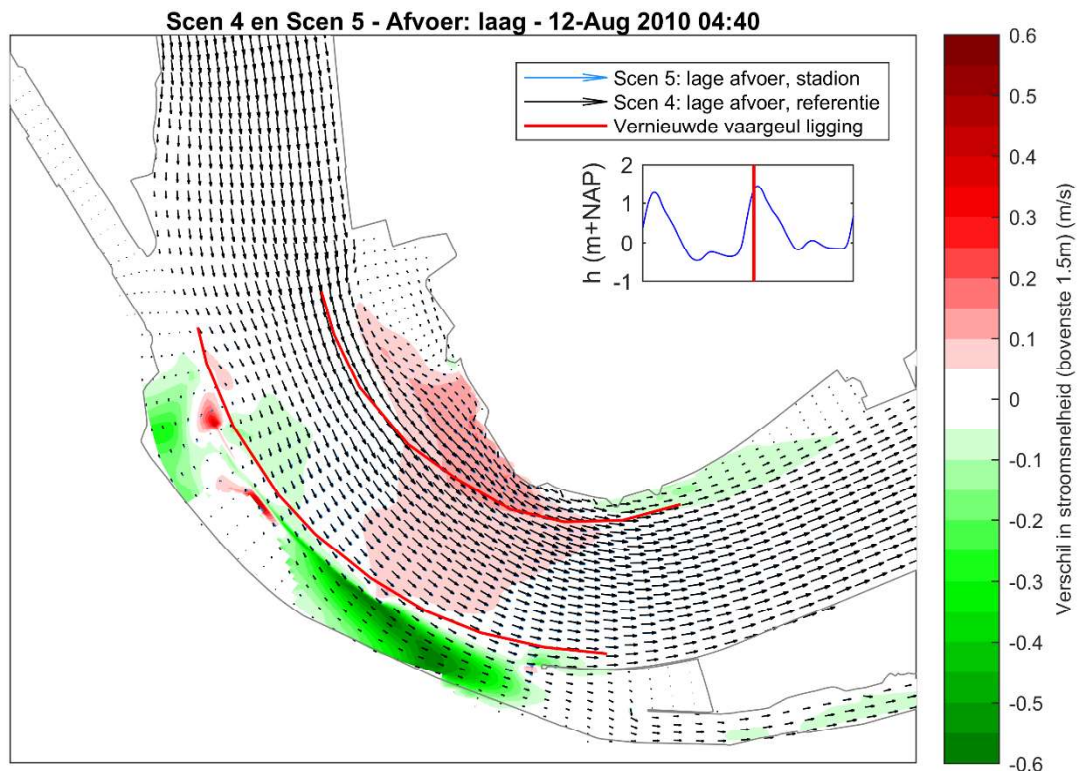


Figuur 3.23: Vloedstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom in geval van berekening 5 (Tabel 2.1): situatie met het stadion en de langsdam met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.

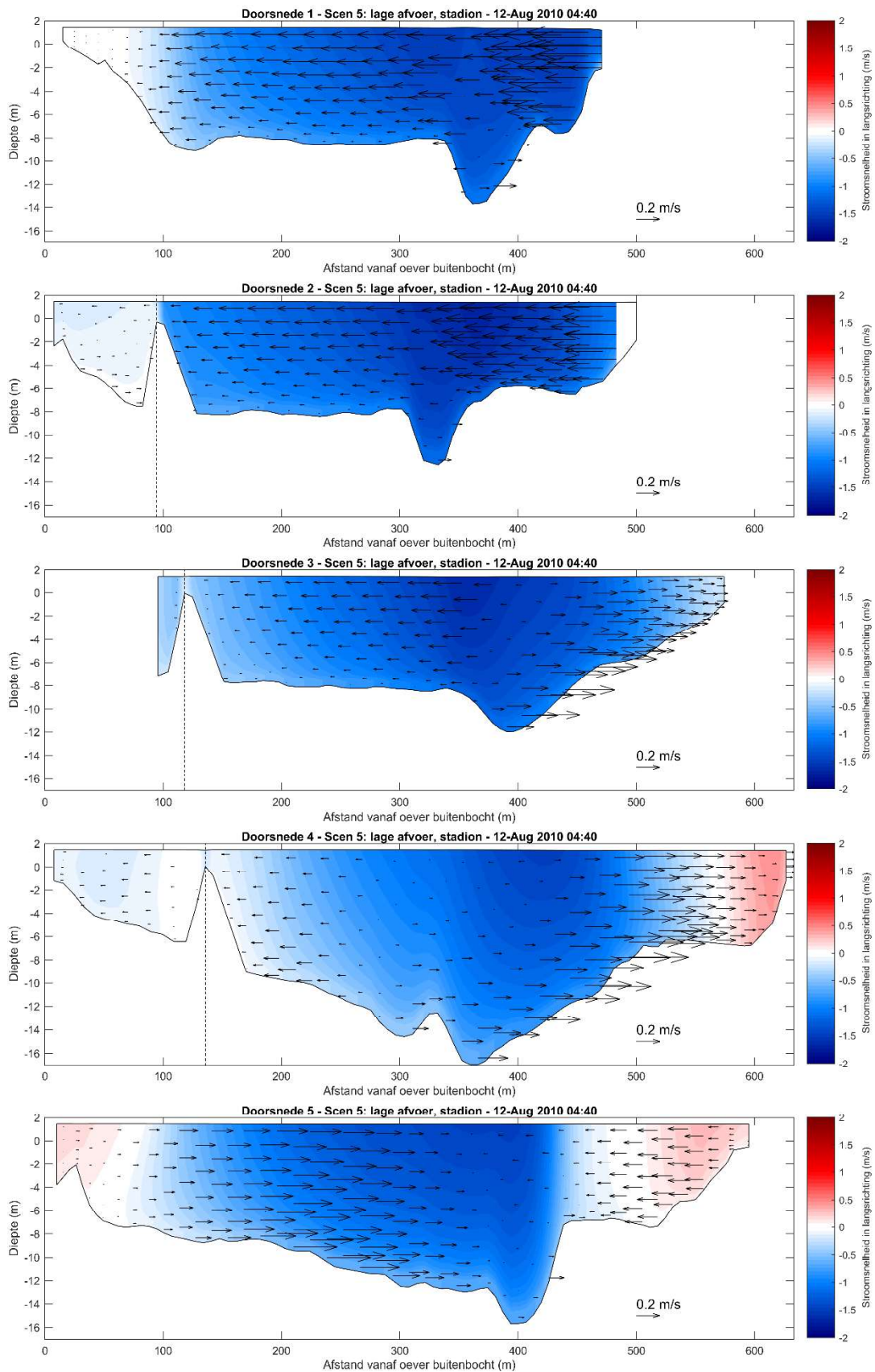




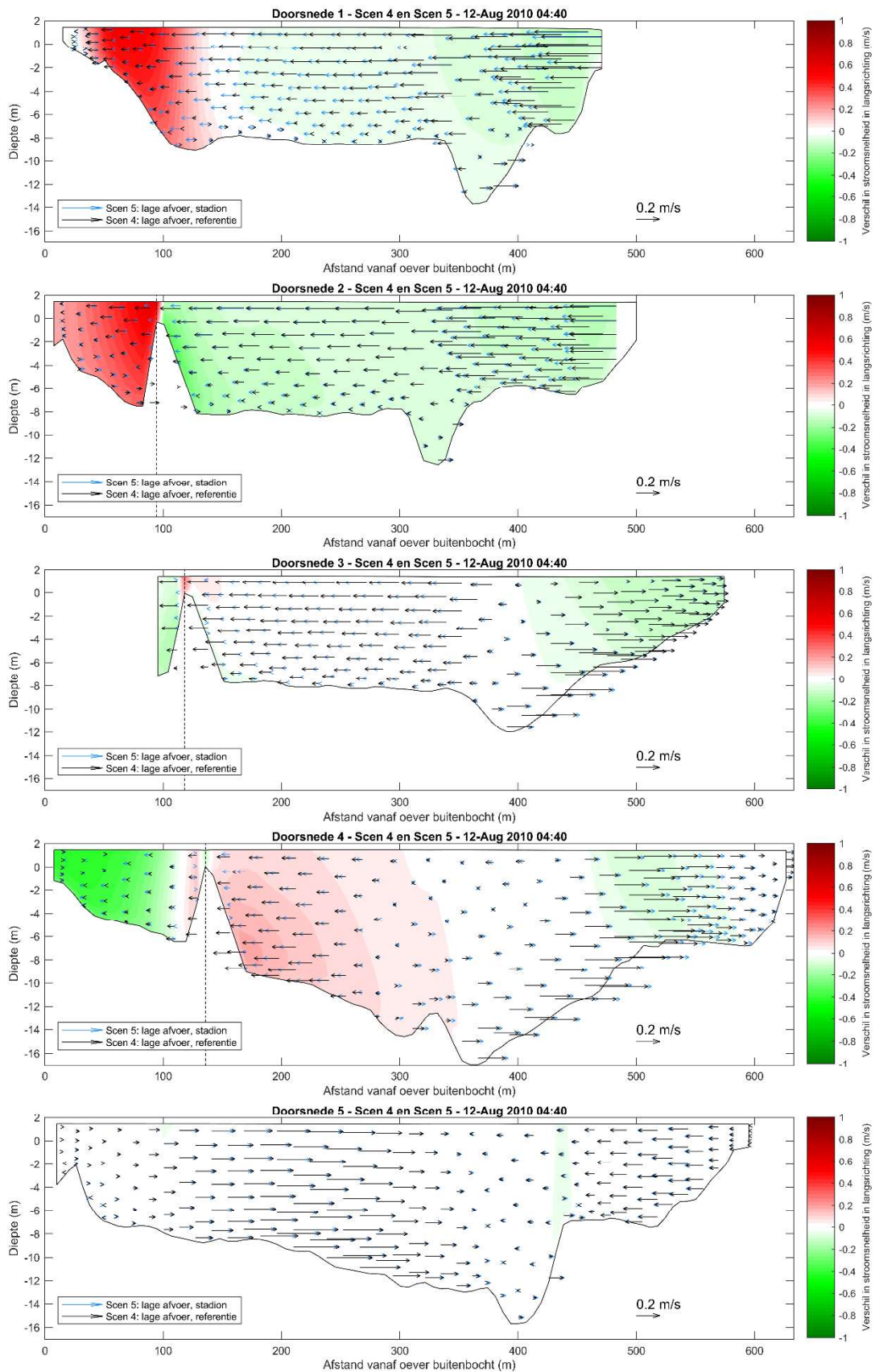
*Figuur 3.24: Verschil in dieptegemiddelde vloedstroomsnelheid tussen de situatie met het stadion en de langsdam en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*



*Figuur 3.25: Verschil in vloedstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom tussen de situatie met het stadion en de langsdam en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*



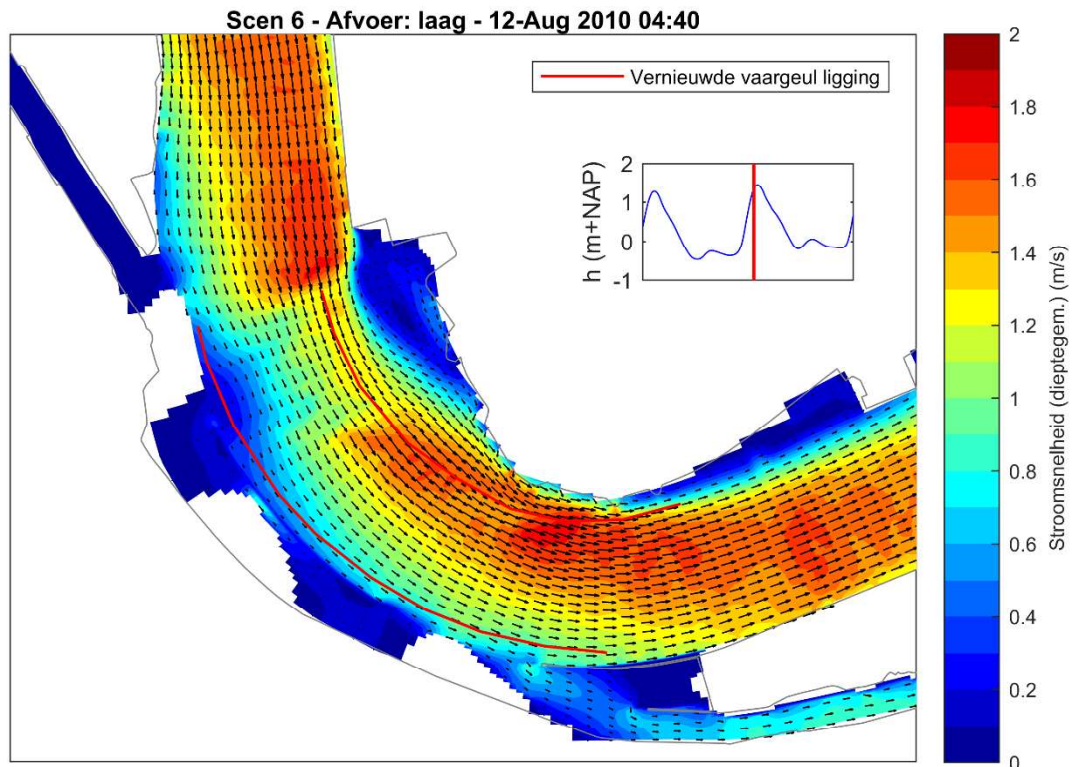
Figuur 3.26: Dwarsdoorsnedes op vijf locaties (zie Figuur 3.1) met de snelheid langs de as van de rivier in de kleurenschaal, waarbij de rode kleur een snelheid in benedenstroomse richting (richting de Noordzee) weergeeft. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen.



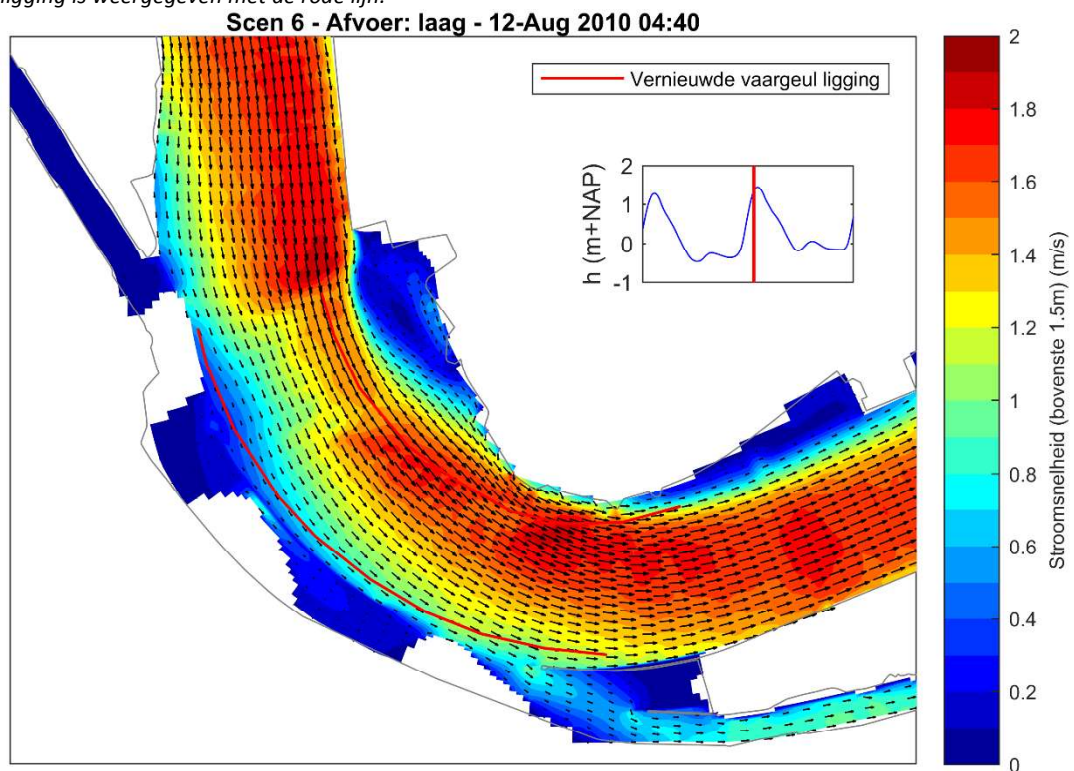
Figuur 3.27: Dwarsdoorsnedes op vijf locaties (zie Figuur 3.1) met het verschil in snelheid langs de as van de rivier in de kleurschaal tussen het referentie scenario en het scenario met het stadion en de langsdam. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen.



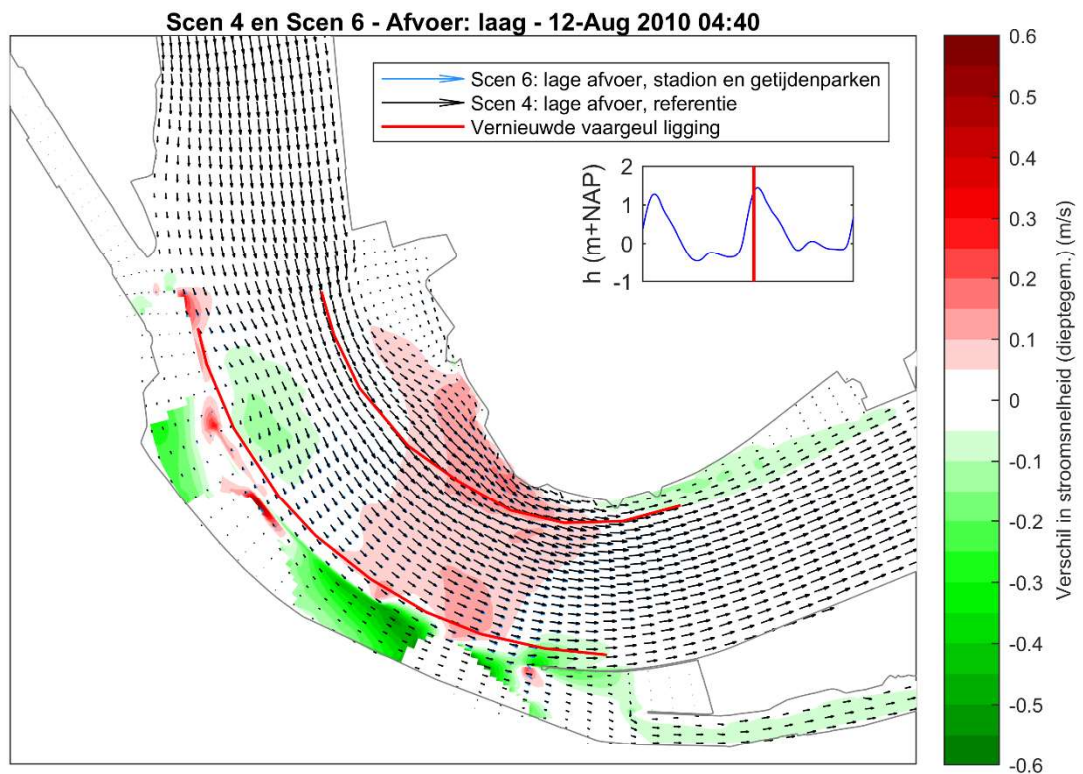
3.2.3 Berekening 6 – Stadion, langsdam en getijdenparken



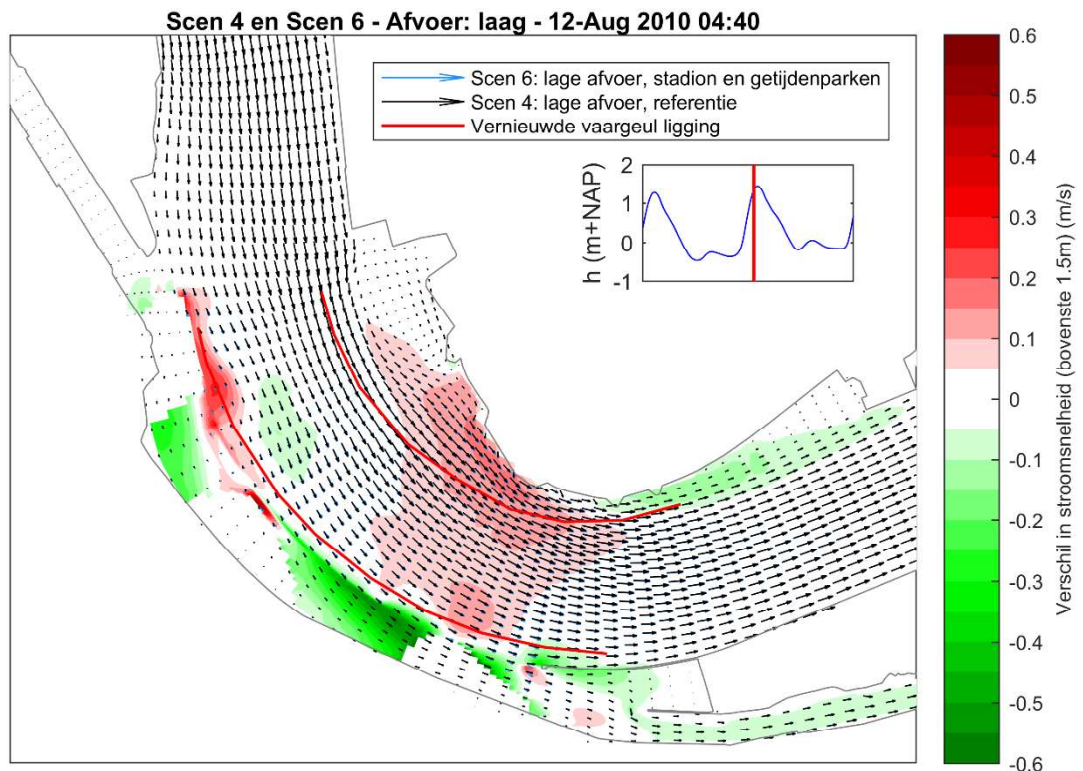
*Figuur 3.28: Dieptegemiddelde vloedstroomsnelheid in geval van berekening 6 (Tabel 2.1): situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*



*Figuur 3.29: Vloedstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom in geval van berekening 6 (Tabel 2.1): situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*

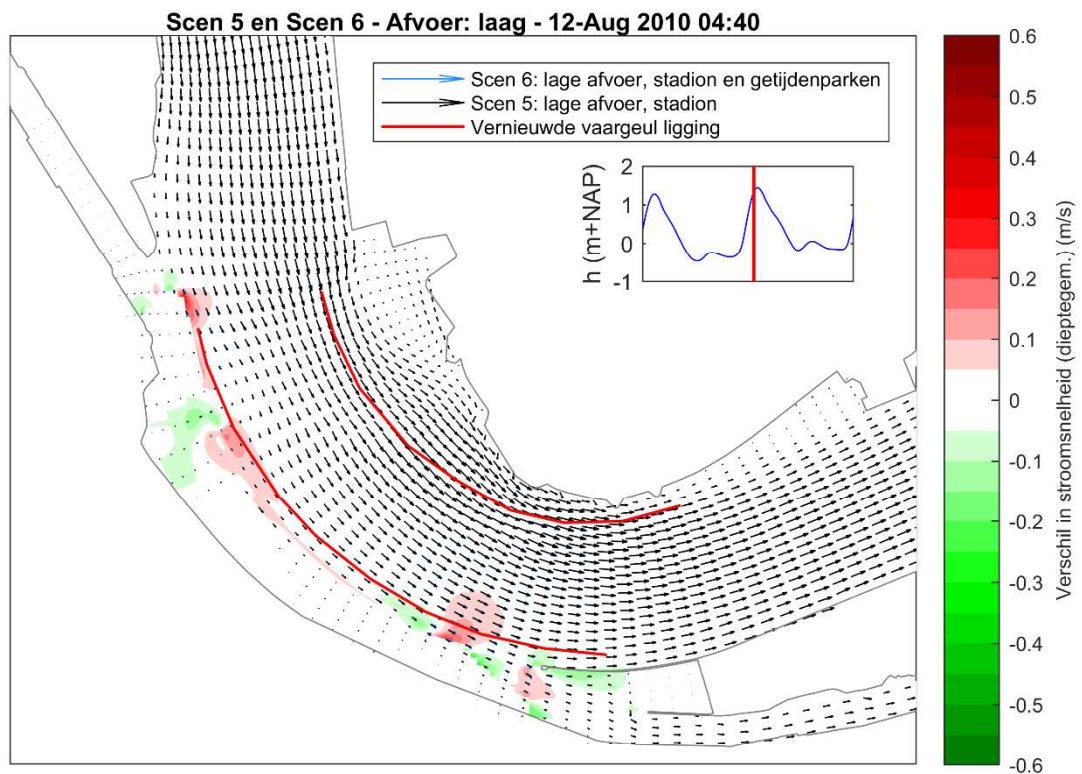


*Figuur 3.30: Verschil in dieptegemiddelde vloedstroomsnelheid tussen de situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*

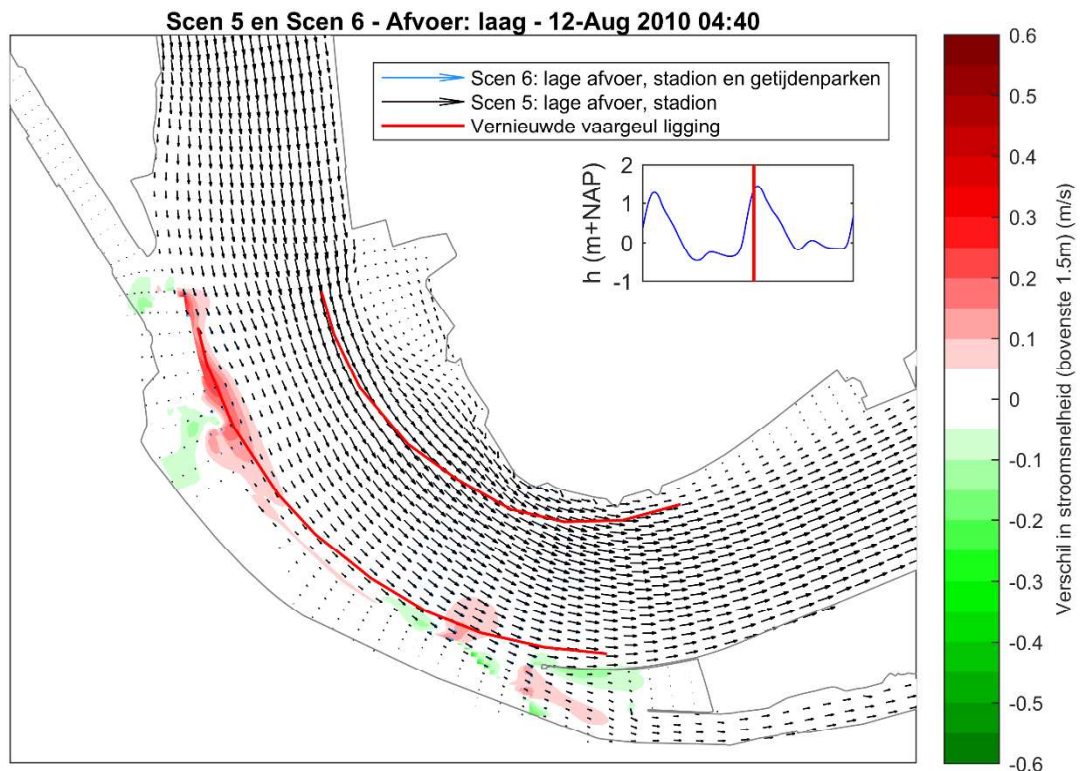


*Figuur 3.31: Verschil in vloedstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom tussen de situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*

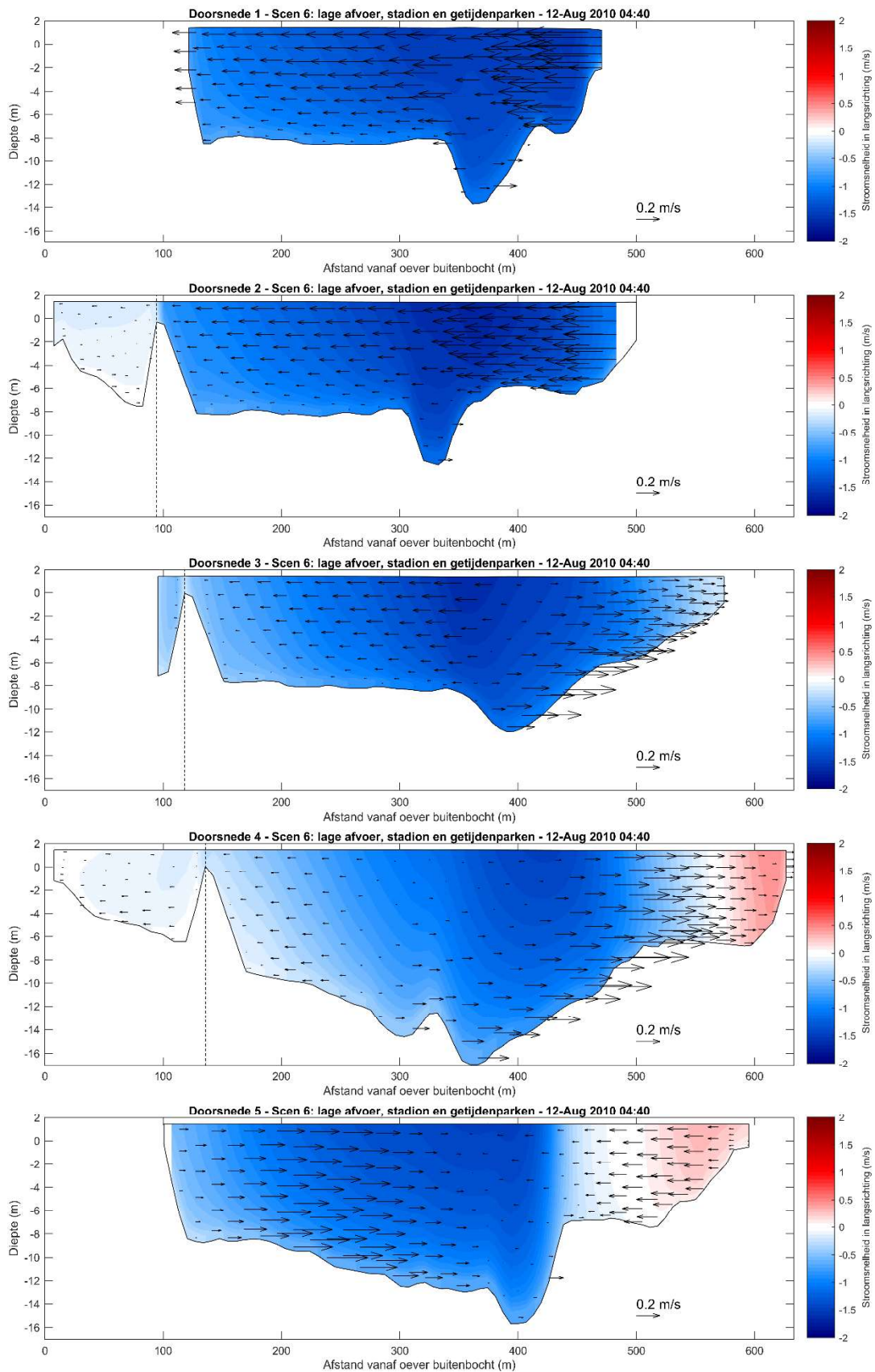




*Figuur 3.32: Verschil in dieptegemiddelde vloedstroomsnelheid tussen de situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*

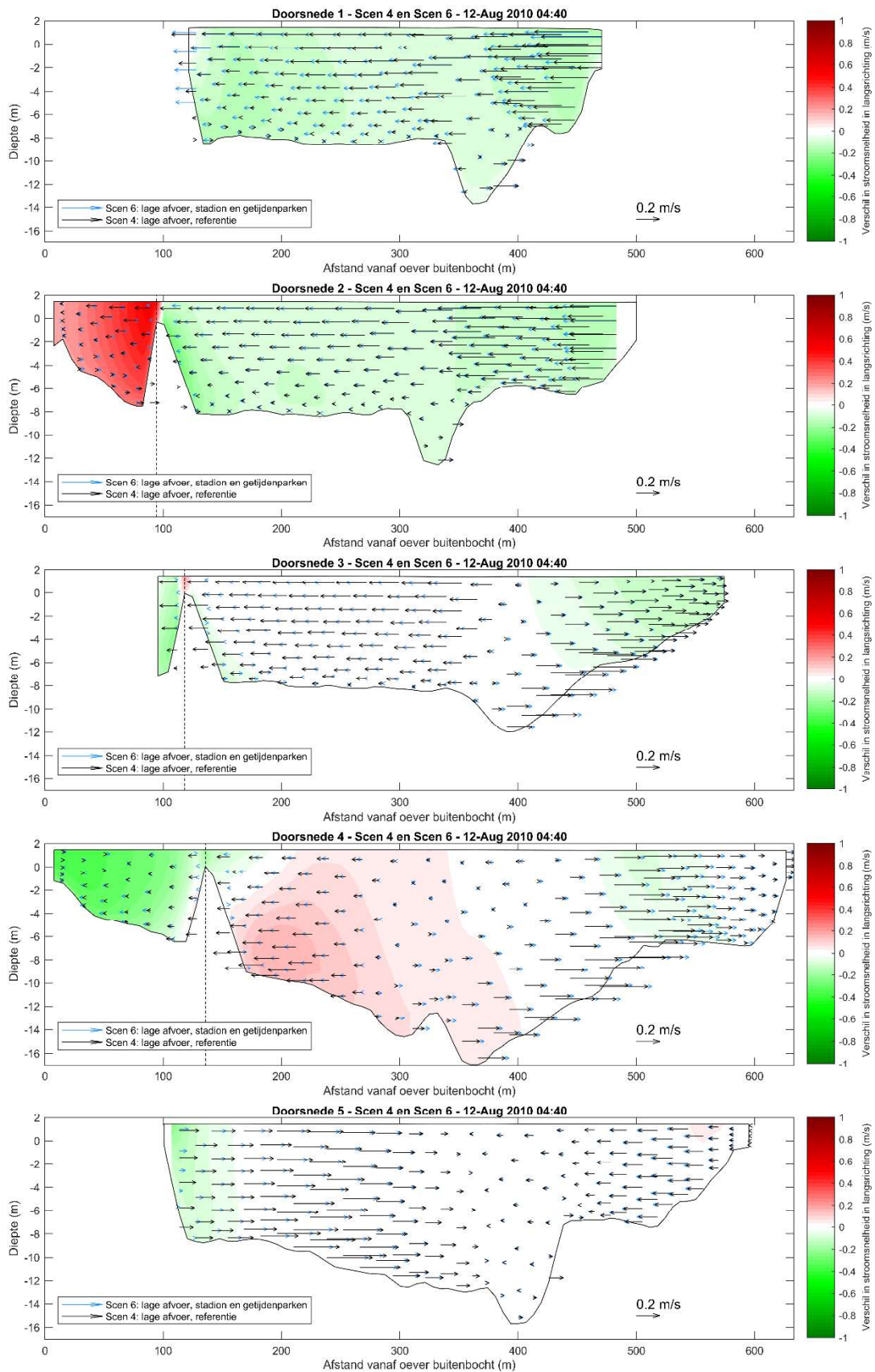


*Figuur 3.33: Verschil in vloedstroomsnelheid in de bovenste 1.5 m van de waterkolom tussen de situatie met het stadion, de langsdam en de getijdenparken en de referentie situatie. Er is gerekend met gemiddeld springtij en lage afvoer. De vernieuwde vaargeul ligging is weergegeven met de rode lijn.*



Figuur 3.34: Dwarsdoorsnedes op vijf locaties (zie Figuur 3.1) met de snelheid langs de as van de rivier in de kleurenschaal, waarbij de rode kleur een snelheid in benedenstroomse richting (richting de Noordzee) weergeeft. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen.





Figuur 3.35: Dwarsdoorsnedes op vijf locaties (zie Figuur 3.1) met het verschil in snelheid langs de as van de rivier in de kleurschaal tussen het referentie scenario en het scenario met het stadion, de langsdam en de getijdenparken. De snelheid dwars op de as van de rivier is weergegeven met de pijlen.



## 4 DISCUSSIE EN CONCLUSIE

### 4.1 Discussie

In de doorsnedes van scenario 1 is er op elke locatie een lichte spiraalstroming te zien. Nabij de bodem is de stroming in tegengestelde richting dan de stroming nabij het oppervlak. Voor scenario 4 is dit echter lang niet altijd te zien. Alleen in doorsnede 1 en 2 is de spiraalstroming aanwezig.

Volgens Gerritsen et al (2008) is er aangetoond dat een 3D model van een flauwe bocht het stromingspatroon van een spiraalstroming goed kan simuleren. Echter, gaat het in het geval van Feyenoord City om een vrij scherpe bocht (vooral tijdens de vloedstroom, scenario 4). Daarnaast bevat de bodem geometrie diepe kuilen en is deze bocht onderdeel van een serie van bochten in de Nieuwe Maas. Dit zijn redenen waarom spiraalstroom niet zo goed ontwikkeld is (in model én werkelijkheid).

Desondanks is het OSR model niet specifiek gevalideerd voor stroming op deze locatie, maar is deze grotendeels afgeregeld op zoutindringing en waterstanden. Snelheidsmetingen op locaties zouden zekerheid verschaffen aangaande de prestaties van het model.

Het gebied tussen het stadion en de langsdam is in het huidige model beschreven door twee cellen, waarvan er één het talud langs de langsdam beschrijft. In principe zou een kleiner doorstromend oppervlak zorgen voor een hogere snelheid, welke alleen in simulaties met lage afvoer en vloedstroom te zien zijn (scenario 4-6). Het wordt aangenomen dat het afwezig zijn van de hogere snelheid in de andere simulaties het resultaat is van de horizontale verplaatsing van de stroming naar de binnenbocht, waardoor er minder water langs het stadion stroomt. Hierdoor is de stroomsnelheid langs het stadion van dezelfde orde als het referentiescenario, maar zijn de stroomsnelheden bovenstrooms en benedenstrooms van het stadion lager.

### 4.2 Conclusie

Deze memo beschrijft de methodiek en resultaten van een zestal berekeningen van drie varianten voor Feyenoord City onder verschillende omstandigheden. De uiteindelijke resulterende stroomvelden kunnen worden gebruikt om een bepaling te maken van de effecten van Feyenoord City op de scheepvaart, deze bepaling zelf valt buiten de scope van deze memo. In onderstaande conclusie worden de belangrijkste resultaten benoemd.

Het plaatsen van het stadion in de Nieuwe Maas heeft voor zowel hoge afvoer met extreme ebstroom als lage afvoer met extreme vloedstroom ongeveer dezelfde effecten, wanneer er naar de stromingskaarten wordt gekeken. De stroming in de binnenbocht van de rivier versterkt, en de stroming in de buitenbocht wordt zwakker (maximaal orde 0.8 m/s). Wat opvalt is dat de stroming tussen de langsdam en het stadion in berekening 2 en 3 (hoge afvoer, extreme ebstroom) niet significant verschilt van de stroming op die locatie in de referentie berekening (berekening 1). Bij de vergelijking tussen de referentie berekening en de berekening met stadion, langsdam en getijdenpark voor lage afvoer en extreme vloedstroom (berekeningen 5 en 6) is er wel een versnelling van de stroming te zien tussen de langsdam en het stadion.

Ook in de doorsnedes is te zien dat de stroming naar de binnenbocht trekt. Bovenstrooms van de obstakels trekt de stroming naar binnen, benedenstrooms van de obstakels beweegt de stroming weer naar buiten. Dit geldt voor zowel de situatie met alleen het stadion en de langsdam, als voor de situatie met stadion, langsdam en getijdenparken. De verschillen in dwarsstroming zijn significant (orde 0.1 m/s).

Over het algemeen zijn er weinig verschillen tussen de berekeningen met het stadion en de langsdam en de berekeningen met het stadion, de langsdam en de getijdenparken. Dit is te zien in

Figuur 3.15, Figuur 3.16, Figuur 3.32 en Figuur 3.33. Alleen rond de getijdenparken is er enige versnelling of vertraging van de stroming te zien.

Wanneer op basis van deze resultaten wordt geconcludeerd dat de dwarsstroming in de vaargeul te sterk is, en daarmee de aanleg van het stadion problematisch wordt, is het aan te raden om in meer detail naar de prestaties van het model in de bochten te kijken en met metingen te valideren.



## LITERATUUR

Deltares (2015) Evaluatie van het OSR-model voor zoutindringing in de Rijn-Maasmonding (II).  
Rapport, kenmerk: 1220070-000-ZKS-0009. In opdracht van Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat (2007). Waterloopkundige berekeningen TMR 2006 Benedenrivierengebied.  
Beschrijving van de waterloopkundige methode. RWS RIZA rapport 2007.017.

Gerritsen, H, de Goede, E.D., Platzek, F.W., van Kester, J.A.Th.M., Genseberger, M, Uittenbogaard,  
R.E. (2018) Validation document Delft3D-FLOW. Referentie: X0356, M3470, Deltares.





**SVASEK**  
HYDRAULICS

COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS



**APPENDIX 3    RAPPORT 'VO WINDONDERZOEK VAARGEUL'**

# RAPPORT

## VO Windonderzoek vaargeul

Feyenoord

Klant: Feyenoord City

Referentie: BF3499 R020 I&BRP1810041721

Versie: 03/Finale versie

Datum: 4 oktober 2018

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 8520  
3009 AM Rotterdam  
Netherlands  
Industry & Buildings  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 90 00 **T**  
+31 10 209 44 26 **F**  
info@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: VO Windonderzoek vaargeul

Ondertitel: Windonderzoek vaargeul Feyenoord  
Referentie: BF3499 R020 I&BRP1810041721  
Versie: 03/Finale versie  
Datum: 4 oktober 2018  
Projectnaam: VO Windonderzoek vaargeul  
Projectnummer: BF3499-113-100  
Auteur(s): Frank van Gool

Opgesteld door: Frank van Gool



Gecontroleerd door: Chiara Witteman-Tesauro

Datum/Initialen: 04 Oktober 2018



Goedgekeurd door: Chiara Witteman-Tesauro

Datum/Initialen: 04 Oktober 2018

Classificatie

Vertrouwelijk



## Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

## Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2 Uitgangspunten</b>	<b>3</b>
2.1 Inleiding	3
2.2 Geometrie	4
2.3 Randvoorwaarden	6
<b>3 Onderzoek</b>	<b>7</b>
3.1 Programmatuur	7
3.2 Berekeningen	7
<b>4 Resultaten</b>	<b>9</b>
4.1 Inleiding	9
4.2 Overzichtsafbeeldingen huidige situatie	9
4.3 Overzichtsafbeeldingen nieuwe situatie	10
4.4 Windvectoren	12
<b>5 Conclusies</b>	<b>12</b>

## Bijlagen

### Bijlage 1 - Projectgegevens

## Samenvatting

In opdracht van Feyenoord City is een windonderzoek uitgevoerd ten behoeve van de windsnelheid boven de Nieuwe Maas ter hoogte van plangebied Feyenoord City te Rotterdam.

Om windsnelheden in de huidige en toekomstige situatie te bepalen zijn de bebouwing in beide situaties ingevoerd in het CFD-rekenprogramma. Vervolgens is de windsnelheid rond de ingevoerde gebouwen berekend voor de 3 hoofdwindrichtingen van dit gebied (Z, ZW, W), voor beide situaties (totaal 6 simulaties).

Het eindresultaat van het onderzoek is gevisualiseerd door middel van doorsnedes op 6 m hoogte van de windsnelheden boven het doelgebied. Hiernaast zijn tabellen opgesteld met de waarden van de afzonderlijke windvectoren voor het doelgebied op hoogten 2, 4, 6, 8 en 10 m.



## 1 Inleiding

Als onderdeel van het plan "Feyenoord City", een herontwikkeling van de omgeving van de locatie van het huidige Feyenoord stadion de kuip, wordt er gekeken naar een verschuiving van de vaargeul op de Nieuwe Maas. Om de effecten van deze verschuiving op het scheepvaartverkeer te onderzoeken is een onderzoek ingesteld door onderzoeksinstituut MARIN. Een input in dit onderzoek is het windgedrag in dit gebied.

De verwachting is dat de hoogbouw in het ontwikkelplan, welke een hoogte heeft tot 125 m, en de grootte van het nieuwe stadion uitwerking heeft op de wind boven de vaargeul. Om dit effect inzichtelijk te maken heeft Royal HaskoningDHV in opdracht van Feyenoord City een windonderzoek uitgevoerd.

Het onderzoek is uitgevoerd met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD). Hierbij wordt een 3D model van de huidige bebouwing en de nieuwe bebouwing uit het VO opgezet in het CFD-programma. Vervolgens wordt hiermee de windsnelheid rond de ingevoerde gebouwen berekend vanuit 3 hoofdwindrichtingen (Z, ZW, W). Vanuit deze resultaten worden doorsnedes gemaakt welke als input dienen voor het onderzoek van MARIN.

In voorliggend rapport worden de resultaten van het windonderzoek gepresenteerd en uitleg gegeven bij bijgeleverde tabellen met windvectoren.

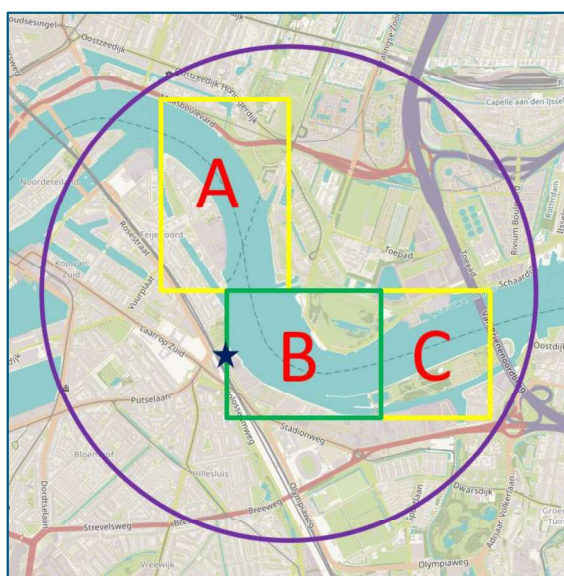
## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Inleiding

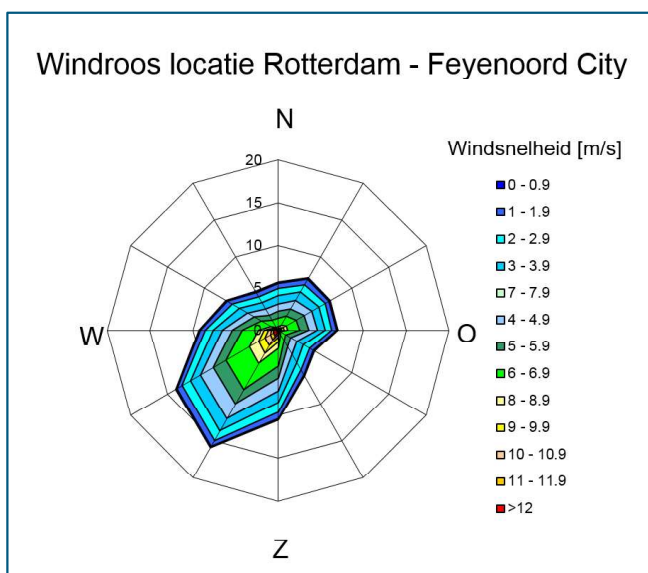
Voor de berekening is uitgegaan van de interessegebieden als aangegeven in Afbeelding 2-1. Hierbij is voor gebied B een hoog detail van het resultaat gewenst (10 m x 10 m), en voor gebied A en C een lager detailniveau (20 m x 20 m). Om deze gebieden is een cirkel geplaatst met een diameter van 3600 m, waarbinnen de gebouw geometrie geplaatst is.

In totaal zijn er 6 modellen gemaakt, deze bestaan uit 2 configuraties, met elk 3 windrichtingen. De configuraties zijn een *huidige situatie*, welke overeenkomt met de huidige bebouwing en een *nieuwe situatie*, naar het voorlopig ontwerp van het nieuwe stadion en omgeving.

De windrichtingen waarmee gerekend wordt zijn zuid, zuidwest en west, omdat de meest voorkomende harde wind is in dit gebied, zie Afbeelding 2-2.



Afbeelding 2-1: Kaart van modelgebied (paarse cirkel is interessegebied; blauwe ster is oorsprong (0;0) van de geëxporteerde waarden; gebieden A, B en C zijn de exportgebieden)



Afbeelding 2-2: Windros locatie Feyenoord. Snelheden op 10 m hoogte.

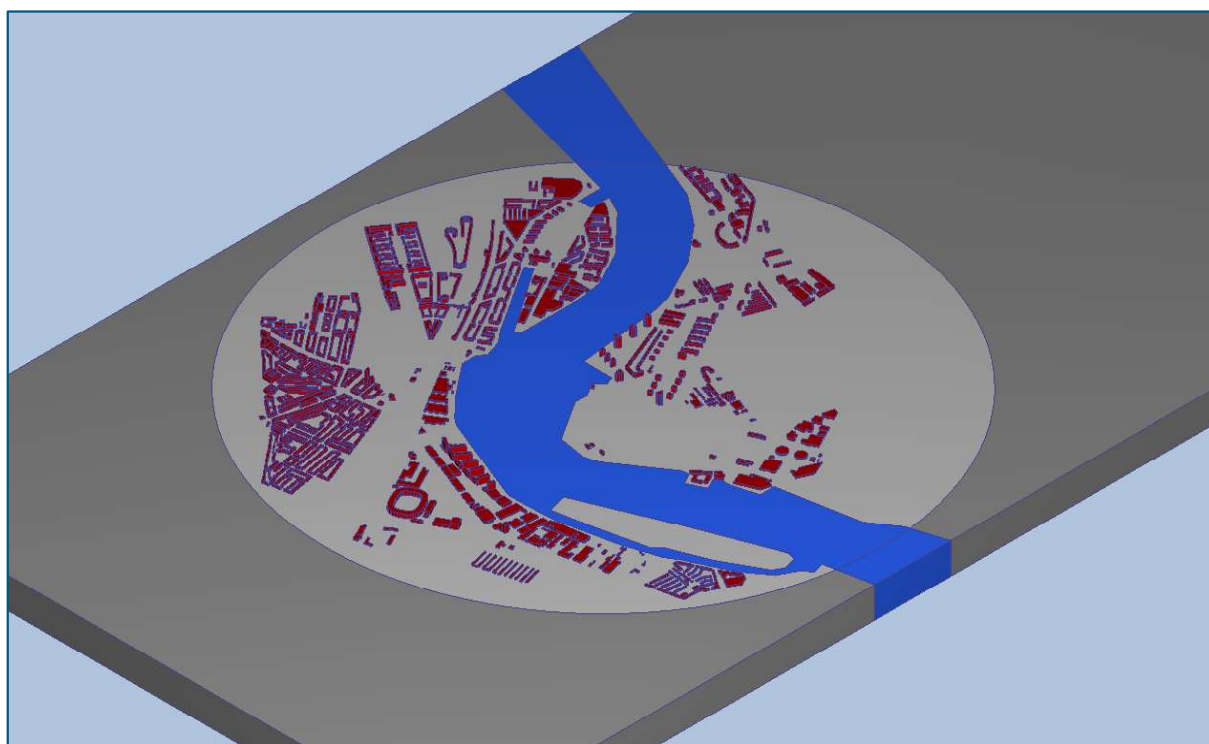
## 2.2 Geometrie

De gebruikte geometrie bestaat uit 2 verschillende varianten, de huidige situatie en de nieuwe situatie. Voor de huidige situatie is gebruik gemaakt van een 3D model van de omgeving, waarbij minimaal de gebouwen binnen 400m van de rivier zijn meegenomen als bouwmassa. De nauwkeurigheid van de maatvoering en het detailniveau van de ingevoerde geometrie zijn afgestemd op het belang daarvan voor een waarheidsgetrouwe simulatie van de optredende luchtstroming boven de rivier.

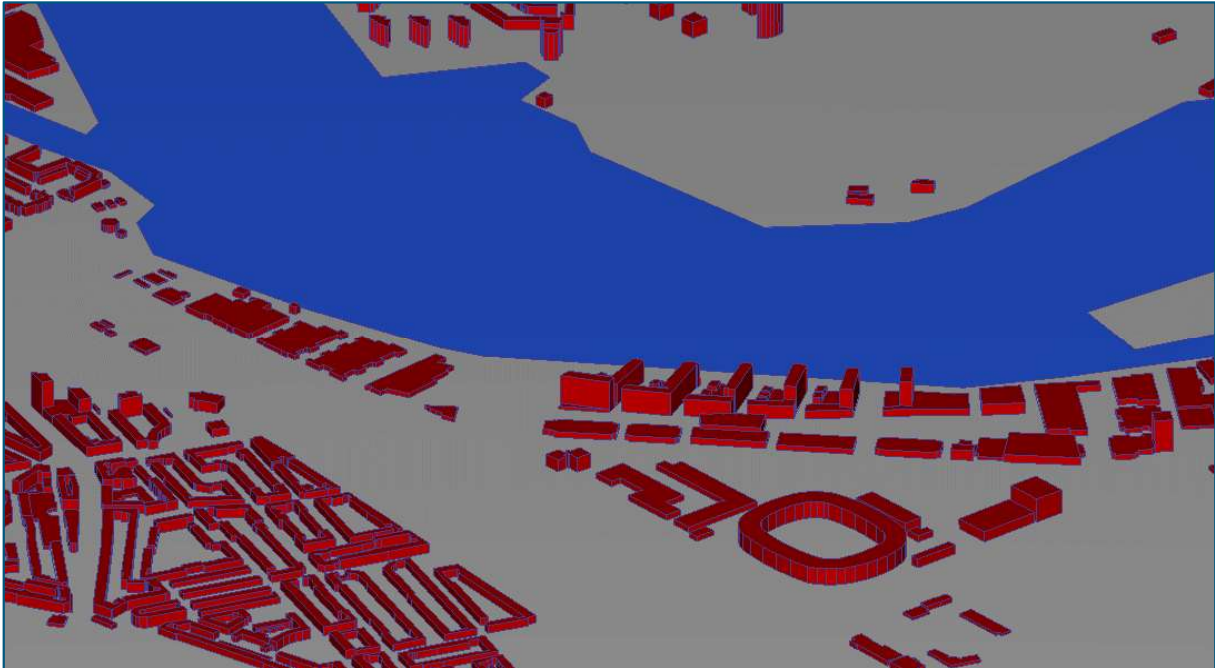
Een overzicht van de geometrie van de huidige variant is zichtbaar in Afbeelding 2-3, waar een detail hiervan zichtbaar is in Afbeelding 2-4.

Voor de nieuwe situatie is gebruik gemaakt van ontwerpen van de architect en zijn deze vereenvoudigd om tot de gebruikte geometrie te komen. Een detail van het plangebied *nieuwe situatie* is zichtbaar in Afbeelding 2-5.

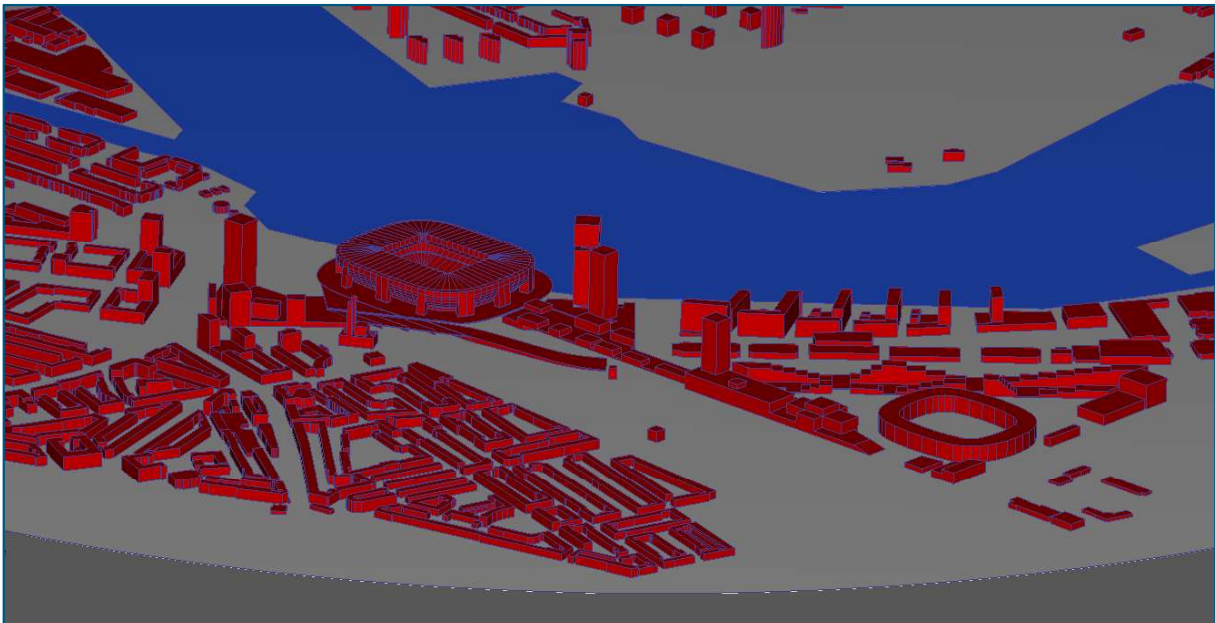
Deze bouwmassa's zijn in het model op een schijf geplaatst met een diameter van 3.600 m. Hieromheen is een luchtdoos geplaatst van 600 m hoog, 10.000 m lang en 4.000 m breed. In het gebied buiten de schijf zijn geen bouwmassa's gemodelleerd, maar is gebruik gemaakt van een zogenaamde wandruwheid "stad". Voor de 3 verschillende windrichtingen (Z, ZW, W) wordt de schijf gedraaid voor de juiste oriëntatie ten opzichte van de aanstromende wind.



Afbeelding 2-3: Overzicht geometrie huidige situatie (luchtdoos S)



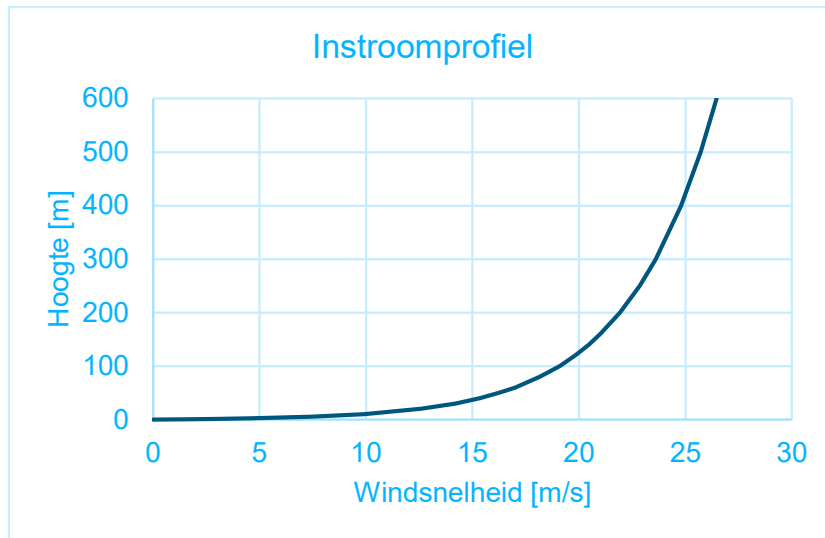
Afbeelding 2-4: Detail geometrie huidige situatie



Afbeelding 2-5: Detail geometrie nieuwe situatie

## 2.3 Randvoorwaarden

De doorgerekende situatie gaat uit van een windprofiel met snelheid van 17 m/s op 60 m hoogte, met profiel "stad". Dit profiel voor de volledige hoogte is zichtbaar in Afbeelding 2-6. Dit profiel is opgelegd aan de instroomkant van het model (korte zijde luchtdoos).



Afbeelding 2-6: Instroomprofiel wind

De overige randvoorwaarden zijn slip/symmetrie op de zij- en bovenzakken en een uitstroom met vaste druk aan de uitstroomkant van het model (uiteinde lange zijde luchtdoos).



## 3 Onderzoek

### 3.1 Programmatuur

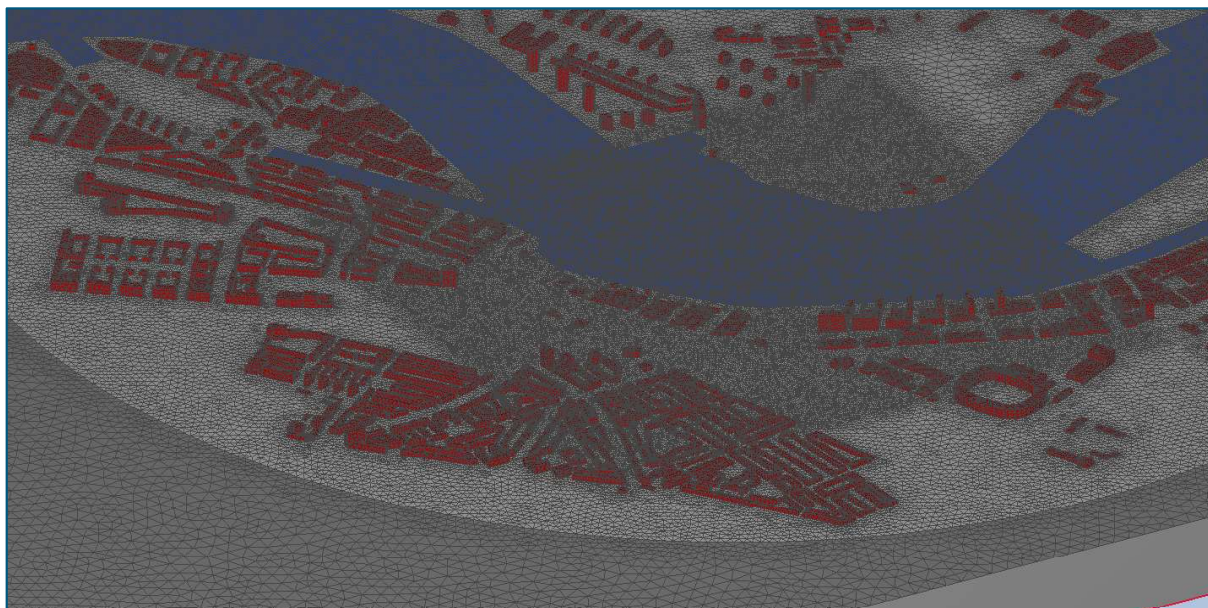
Ter bepaling van de windsnelheden zijn berekeningen gemaakt met behulp van stromingsprogrammatuur (Computational Fluid Dynamics, CFD). Het gebruikte rekenpakket is Autodesk CFD, versie 2019. Voor technisch-inhoudelijke informatie over de CFD-berekening wordt verwezen naar bijlage 1.

### 3.2 Berekeningen

Rondom de ingevoerde geometrie wordt een gedetailleerd raster van rekenpunten gemodelleerd welke afhankelijk van de modelgeometrie en het interessegebied verdichtingen kent in het aantal rekenpunten. Een door vier rekenpunten omsloten gebied wordt een element genoemd.

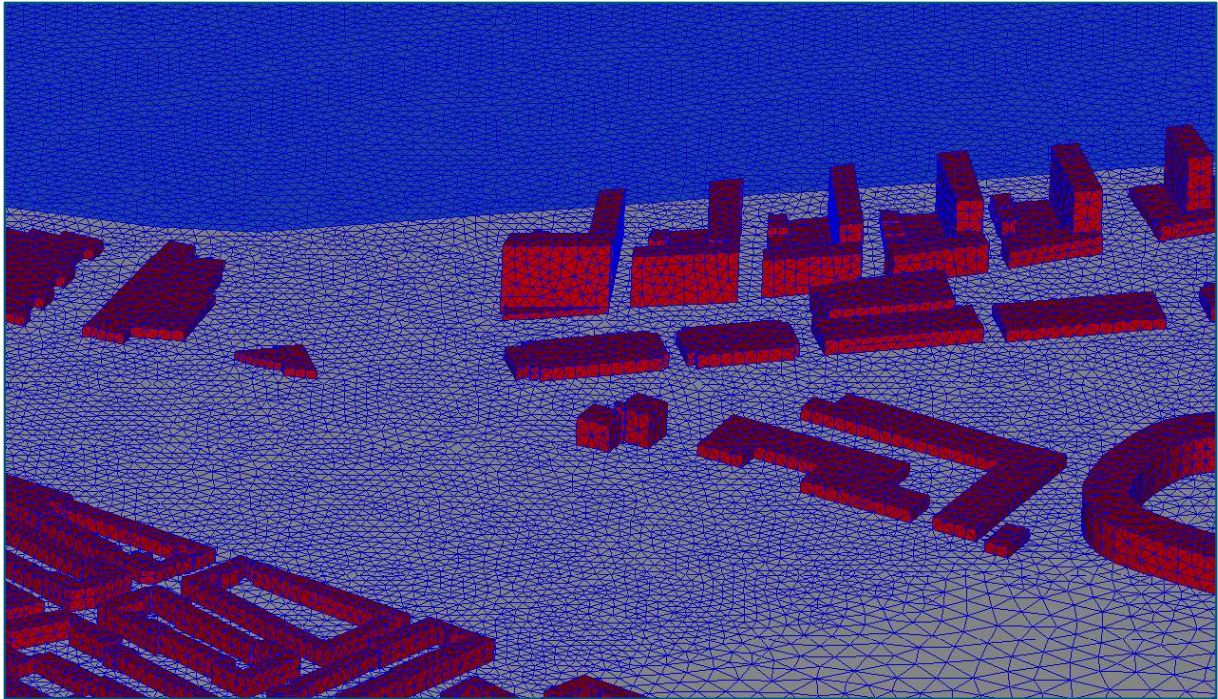
Een overzicht van het rekenrooster is weergegeven in Afbeelding 3-1, waarbij het onderscheid tussen de kleinere elementen rond het interessegebied en de grotere elementen in het achterland goed te zien is. Afbeelding 3-2 geeft de details van het rekenrooster weer nabij het huidige stadion, waarbij een impressie wordt gegeven van de grote hoeveelheid elementen die gebruikt zijn (circa 8 miljoen). Afbeelding 3-3 geeft een overzicht van het rekenrooster in de nieuwe situatie.

Het gebruikte type elementen zijn tetraëders voor de volumes, met 5 prismatische elementen tegen de wanden (boundary layers).

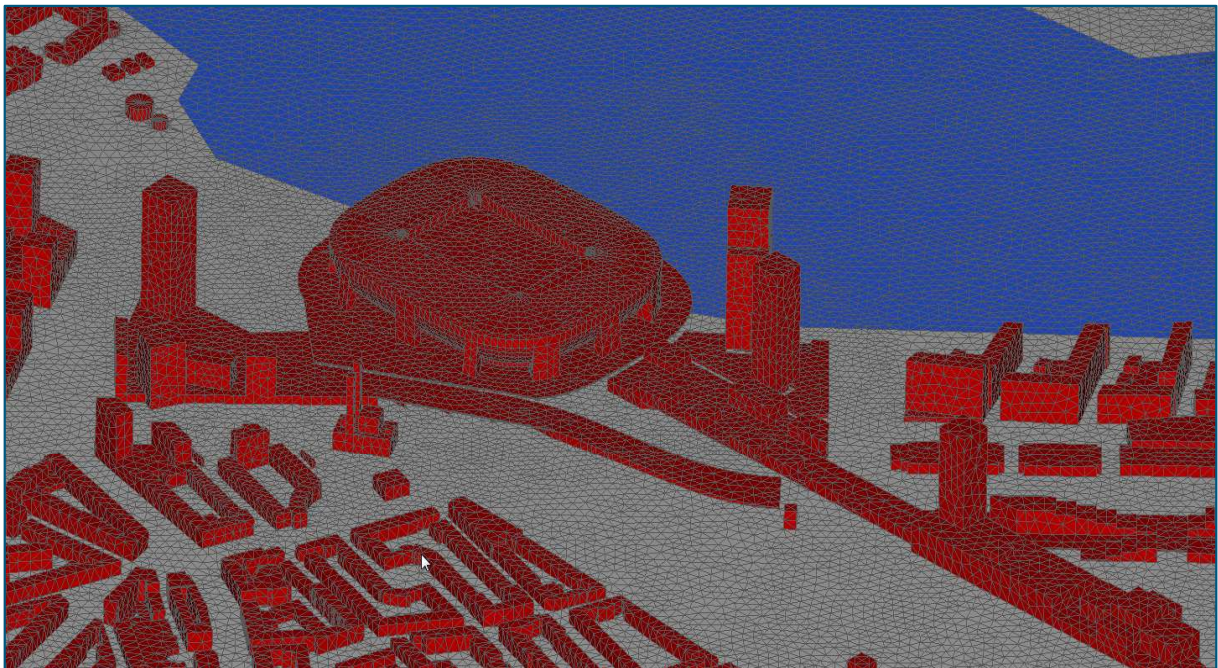


Afbeelding 3-1: Overzicht rekenrooster





Afbeelding 3-2: Detail rekenrooster huidige situatie



Afbeelding 3-3: Detail rekenrooster nieuwe situatie

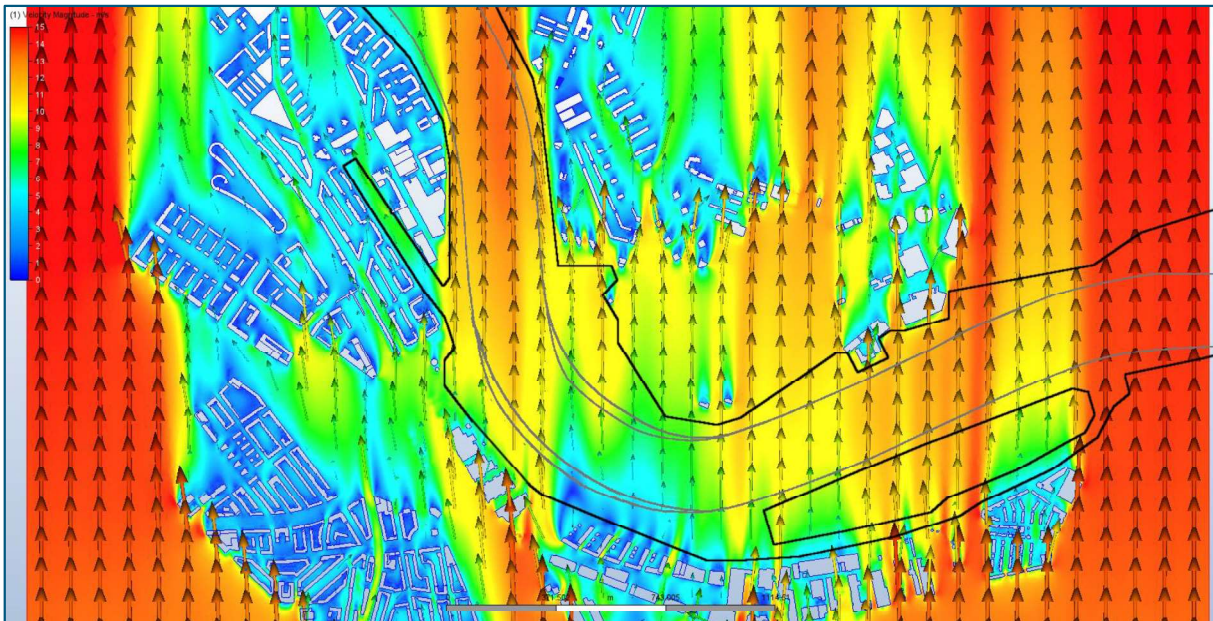


## 4 Resultaten

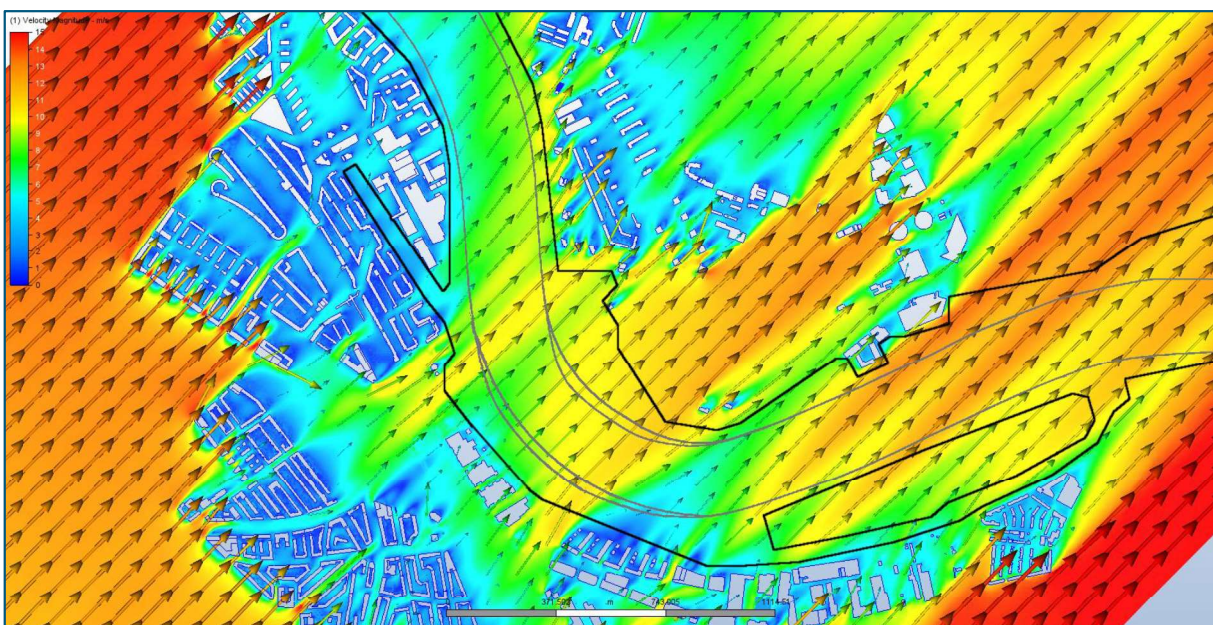
### 4.1 Inleiding

De op te leveren resultaten van de berekeningen zijn afbeeldingen van de absolute windsnelheid op 6 m hoogte, met pijlen die de richting aangeven, voor alle 6 simulaties. Hiernaast ook .csv bestanden van de windvectoren op verschillende hoogten. De vectoren geven een indicatie van de windrichting.

### 4.2 Overzichtsafbeeldingen huidige situatie

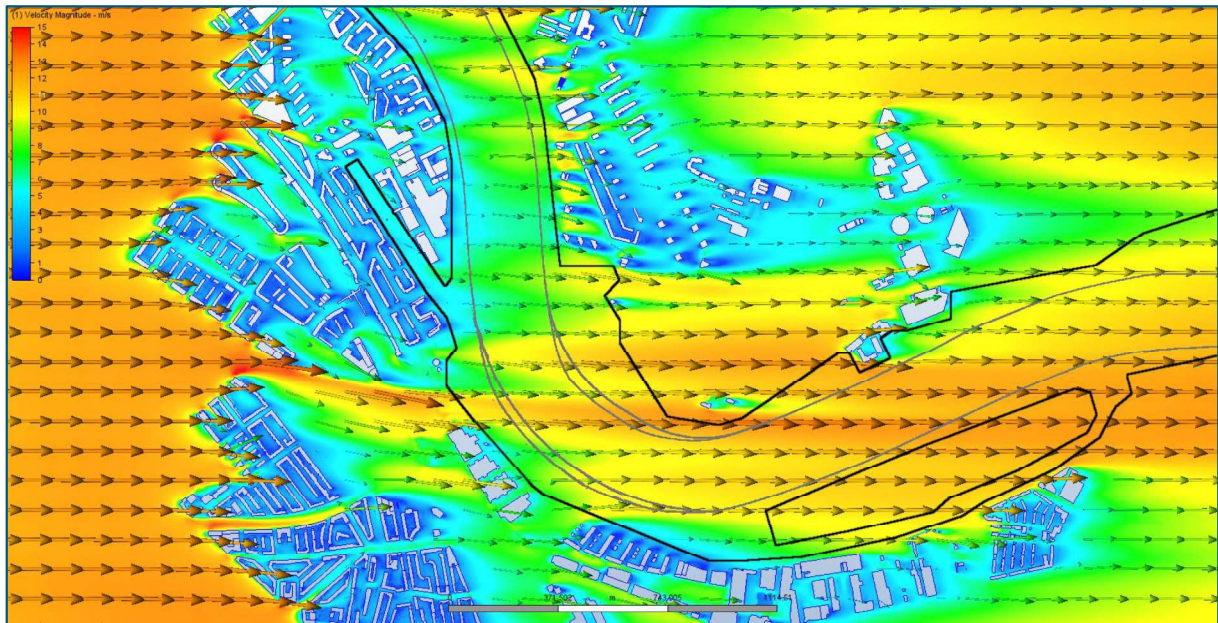


Afbeelding 4-1: overzicht windvector 6m hoogte, situatie huidig, S.



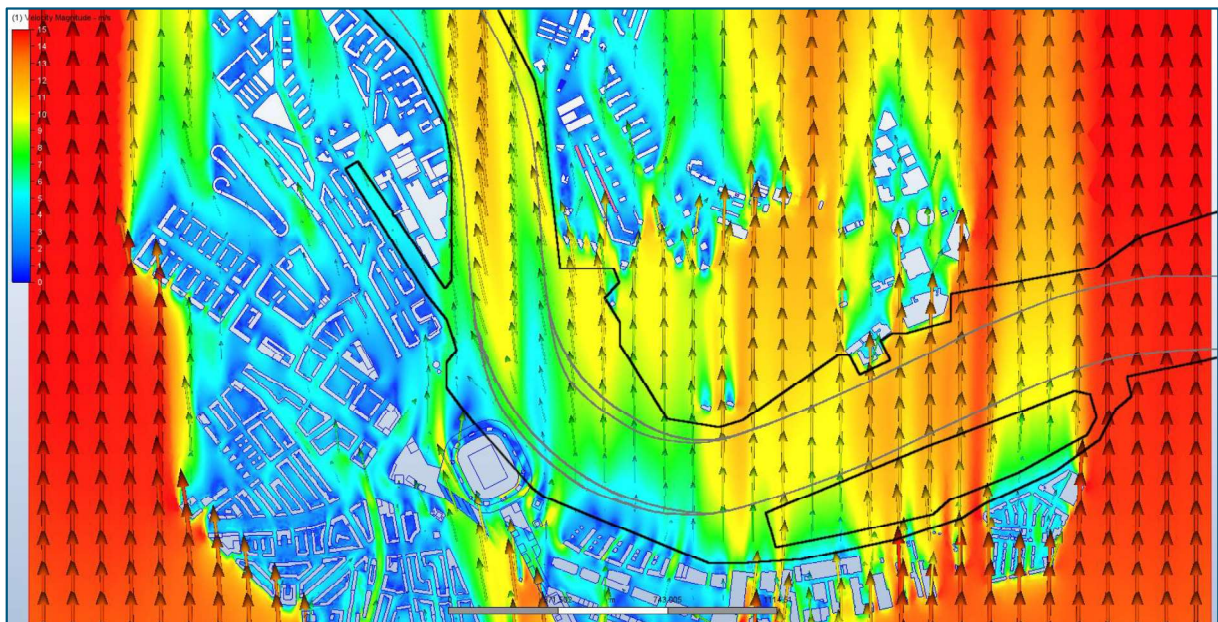
Afbeelding 4-2: overzicht windvector 6m hoogte, situatie huidig, SW.





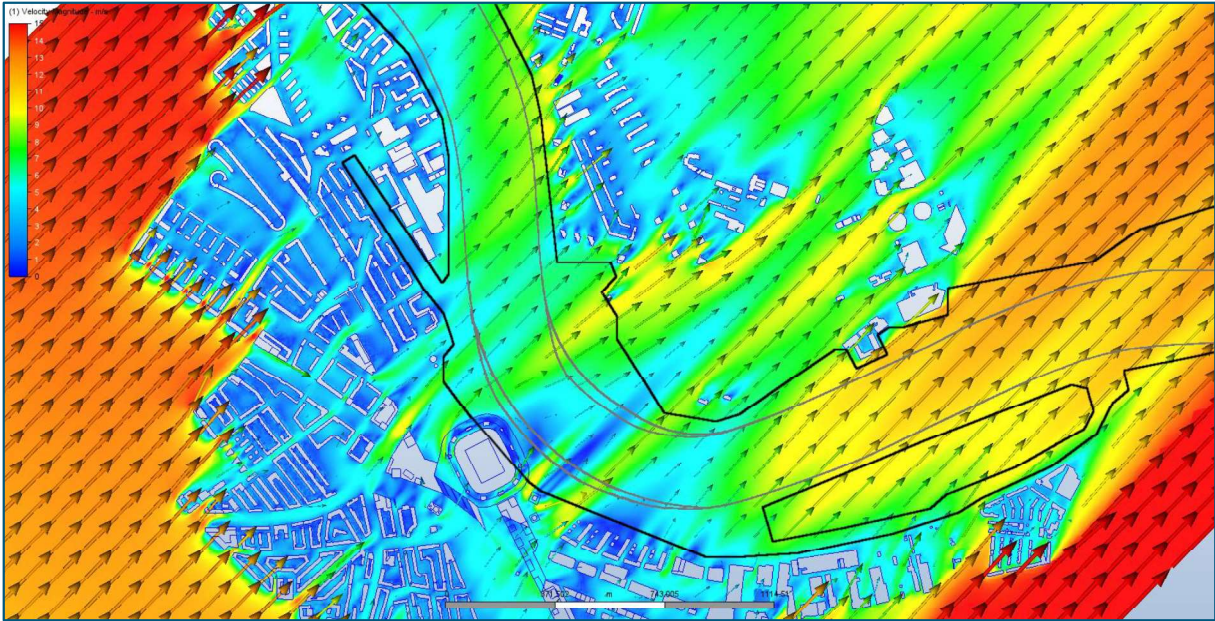
Afbeelding 4-3: overzicht windvector 6m hoogte, situatie huidig, W.

### 4.3 Overzichtsafbeeldingen nieuwe situatie

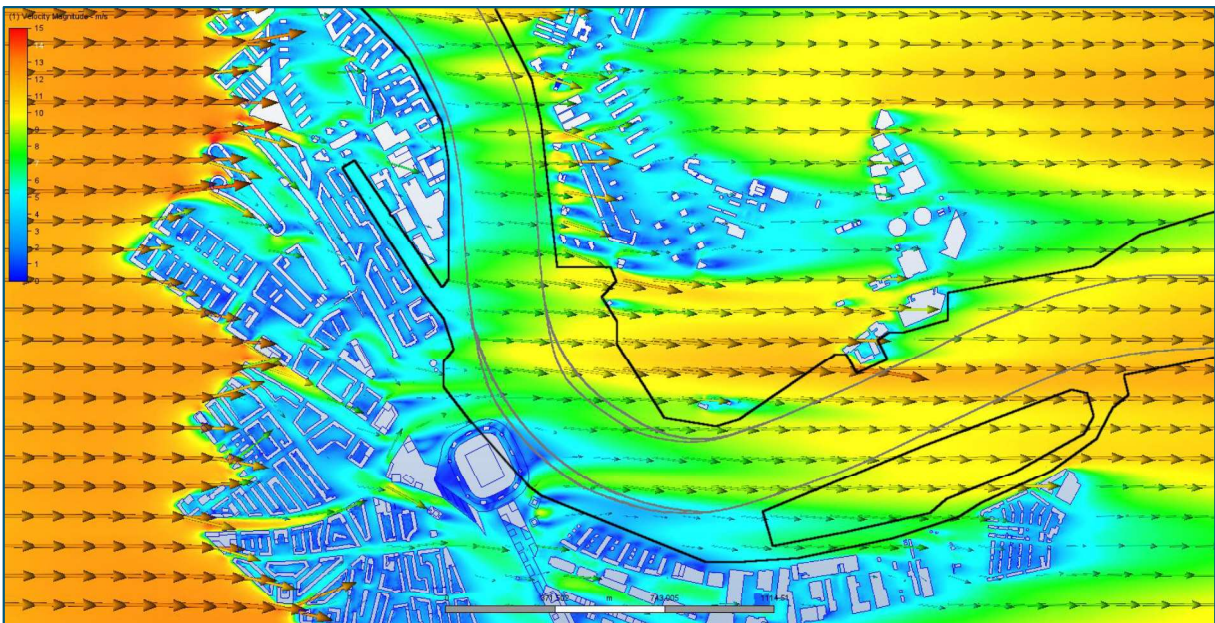


Afbeelding 4-4: overzicht windvector 6m hoogte, situatie nieuw, S.





Afbeelding 4-5: overzicht windvector 6m hoogte, situatie nieuw, SW.



Afbeelding 4-6: overzicht windvector 6m hoogte, situatie nieuw, W.



## 4.4 Windvectoren

De windvectoren ( $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$ ) worden geëxporteerd voor de gebieden A, B en C (zie Afbeelding 2-1) op een grid van 10 m x 10 m (gebied B) of 20 m x 20 m (gebied A en C), op hoogten 2, 4, 6, 8 en 10 m. Deze vectoren zijn aangeleverd als .csv bestand. In totaal zijn dit 90 bestanden (6 configuraties x 3 gebieden x 5 hoogten).

De oorsprong (0; 0) voor de x en y coördinaten komen overeen met Amersfoortse coördinaten (94965; 435045), dit komt ongeveer overeen met de middenstip van het nieuwe stadion.

De coördinaten van de hoeken van de deelgebieden zijn aangegeven in Tabel 1.

Gebiedsnaam	Resolutie	x_min [m]	x_max [m]	y_min [m]	y_max [m]
A	20 m	-450	330	640	2000
B	10 m	-80	1080	-400	640
C	20 m	1080	2140	-400	640

Tabel 1: coördinaten deelgebieden

```
x(m),y(m),z(m),vx(m/s),vy(m/s),vz(m/s),v_abs(m/s)
-450.0,640.0,2.0,-0.7467065080693386,3.786934597516714,-0.0409264437629089,3.8600672570385686
-430.0,640.0,2.0,-0.5824075582996215,3.3839391200890185,0.035055669507428604,3.433871202068881
-410.0,640.0,2.0,-0.020693515679296882,0.4050017851114853,0.18823169587226735,0.4470859412524719
-390.0,640.0,2.0,-1.150821646813616,1.159691852845415,0.5068515019420845,1.7106063548788137
-370.0,640.0,2.0,-2.4632580593722515,3.1357071613403096,-0.000548335433324322,3.9875180212027
-350.0,640.0,2.0,-1.4917871931891469,2.180506206509284,-0.7064826217182301,2.734804205272934
-330.0,640.0,2.0,0.8935625235529581,3.78751560355595,0.047267294876701726,3.8917814208718204
-310.0,640.0,2.0,0.8770545823654005,1.5252343991833792,0.2043166873618356,1.771245330730598
-290.0,640.0,2.0,-1.3318954164609322,1.7549398117639952,0.22522195907165654,2.214606979613304
-270.0,640.0,2.0,-1.5687688138919271,1.2513893896666024,-0.7350503067869374,2.137126563757422
-250.0,640.0,2.0,-1.409527509464628,1.3880085725092035,0.20286313326875266,1.9885897133738297
-230.0,640.0,2.0,-1.398571050544711,1.0989130320913725,-0.4188668498933468,1.8273095724210406
-210.0,640.0,2.0,-1.4536731850020086,1.833751668815521,0.010526774267589314,2.3400687435744434
-190.0,640.0,2.0,-1.096074241422757,3.0227225896287555,-0.05871711861003118,3.2158479902788173
-170.0,640.0,2.0,-1.01067380085483,3.230573146955738,-0.03992031809166532,3.3852116656661795
```

Afbeelding 4-7: Voorbeeld resultaatbestand vectorwaarden

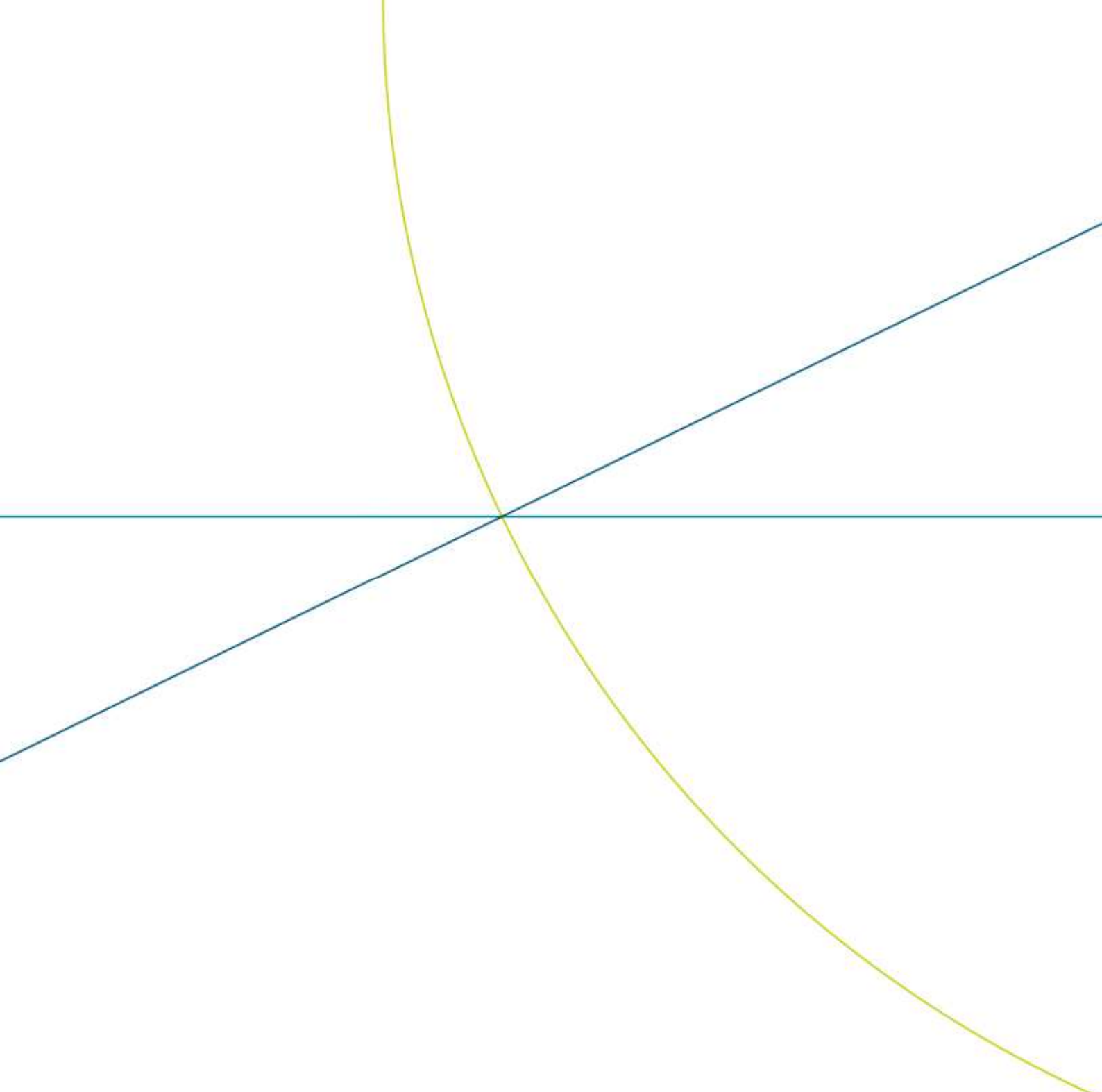
## 5 Conclusies

Een windhinderonderzoek is uitgevoerd met doel het bepalen van het te verwachten windsnelheden boven de Nieuwe Maas ter hoogte van ontwikkelgebied Feyenoord City. Deze resultaten zijn gepresenteerd als afbeeldingen van doorsnedes van de absolute windsnelheid en de afzonderlijke snelheidscomponenten in tabellen voor alle varianten.

Deze resultaten kunnen worden gebruikt voor verder onderzoek van MARIN naar de effecten van het nieuwbouw en het verschuiven van de vaargeul voor het scheepsvaartverkeer.

## **Bijlage 1 - Projectgegevens**

<b>Project</b>	<b>Projectgegevens</b>
Projectnaam	Onderzoek Windklimaat Vaargeul Feyenoord
Opdrachtgever	Feyenoord City
Projectleider	Frank van Gool (Royal HaskoningDHV)
Datum	04 oktober 2018
<b>Model</b>	<b>Algemene gegevens van het model</b>
Omvang gemodelleerd gebied	
Kerngebied	Ø 3.600 m × 600 m
Omgeving	10.000 × 4.000 × 600 m
Blokkeringsgraad	< 5%
Gemodelleerd groen	Geen
Onderzochte windrichtingen	3
Onderzochte configuraties	2
<b>Computeropstelling</b>	<b>Specifieke gegevens van gebruikte programmatuur</b>
Programmatuur	<input type="checkbox"/> FVM (eindige volume methode) <input type="checkbox"/> anders <input checked="" type="checkbox"/> FEM (eindige elementen methode) Programmatuur: AUTODESK CFD Versie: 2019
Algemeen	<input checked="" type="checkbox"/> driedimensionaal <input checked="" type="checkbox"/> tijdsafhankelijk <input checked="" type="checkbox"/> isothermisch <input type="checkbox"/> passieve scalars <input type="checkbox"/> tweedimensionaal <input type="checkbox"/> tijdsafhankelijk <input type="checkbox"/> thermisch <input type="checkbox"/> actieve scalars
Rekenrooster	Niet-gestructureerd; > 8 × 10 <sup>6</sup> elementen
Turbulentiemodellering	kε-model
Convectieve differentieschema's	Snelheidscomponenten: ADV5 Turbulentiegrootheden: ADV5 Scalaire variabelen: nvt
<b>Randvoorwaarden</b>	<b>Gebruikte randvoorwaarden</b>
Instroomprofiel	Atmosferische grenslaag stedelijke omgeving. 17 m/s @ 60 m
Uitlaat	Standaard uitstroomrandvoorwaarde
Boven-/zijwanden	Symmetrie
Vloer/bodem	Wand
Overige	Wand
<b>Gegevensverwerking en -beoordeling</b>	
Amersfoortse coördinaten van de locatie	(94965; 435045)
<b>Gepresenteerde resultaten</b>	Snelheidscomponenten boven vaargeul op geïnterpoleerd grid (.csv)
<b>Opmerkingen en eventuele conclusies van proefoverschrijdend belang</b>	-





MARIN  
P.O. Box 28

6700 AA Wageningen  
The Netherlands

T +31 317 49 39 11  
E [info@marin.nl](mailto:info@marin.nl)

I [www.marin.nl](http://www.marin.nl)  
   