



departement
**Mobiliteit en
Openbare Werken**

Kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium

KARAKTERISTIEKE GETIJDEN UIT HET DECENNIOUM 1991 - 2000
EN TOPO-BATHYMETRISCHE GEGEVENS UIT 2001



00_157

WL Rapporten

Kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium

Karakteristieke getijden uit het decennium 1991 - 2000
en topo-bathymetrische gegevens uit 2001

Plancke, Y.; Schramkowski, G.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Augustus 2014

WL2014R00_157_1

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Schramkowski, G.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium: Karakteristieke getijden uit het decennium 1991 - 2000 en topo-bathymetrische gegevens uit 2001. Versie 3.0. WL Rapporten, 00_157. Waterbouwkundig Laboratorium : Antwerpen, België.



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

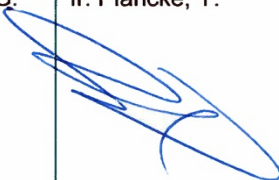
www.waterbouwkundiglaboratorium.be

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welk andere wijze ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Documentidentificatie

Titel:	Kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium: Karakteristieke getijden uit het decennium 1991 - 2000 en topo-bathymetrische gegevens uit 2001		
Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2014R00_157_1
Keywords (3-5):	Kubatuur, Schelde-estuarium, waterbeweging		
Tekst (p.):	55	Bijlagen (p.):	70
Vertrouwelijk:	☐ Ja	Uitzondering:	☐ Opdrachtgever
			☐ Intern
			☐ Vlaamse overheid
		Vrijgegeven vanaf: Augustus 2014	
	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Goedkeuring

Auteur	Revisor	Projectleider	Coördinator Studie & Advies	Afdelingshoofd
Ir. Plancke, Y.	Dr. Schramkowski, G.	Ir. Plancke, Y.	Verwaest, T.	Dr. Mostaert, F.
				

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur(s)
1.0	27/07/2011	Conceptversie	Plancke, Y.
2.0	23/12/2013	Inhoudelijke revisie	Schramkowski, G
3.0	19/08/2014	Definitieve versie	Plancke, Y.

Abstract

In het verleden zijn reeds verschillende kubatuurberekeningen uitgevoerd voor het Schelde-estuarium, waarbij de laatste dateert van de periode 1971-1980. Gelet op de ontwikkelingen in meettechnieken en rekenmogelijkheden, is het uitvoeren van een kubatuurberekening een relatief eenvoudig techniek om een beeld te krijgen van de waterbeweging in het Schelde-estuarium.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de nieuwe kubatuurberekening, waarbij de karakteristieke getijcondities werd gebruikt uit het decennium 1991-2000 en de topo-bathymetrie dateert uit 2001. Afgeleide parameters die de waterbeweging beschrijven (stroomsnelheden, debieten en getijvolumes) worden gepresenteerd voor het Schelde-estuarium, inclusief de aan getij onderhevige bijrivieren.

De resultaten worden vergeleken met beschikbare stroom- en debietsmetingen die in het kader van het geïntegreerd monitoringprogramma voor het Schelde-estuarium werden gemeten. Daarnaast wordt ook een historische vergelijking gemaakt met de resultaten uit de vroegere kubatuurberekeningen.

Inhoudstafel

Inhoudstafel	I
Lijst van de tabellen	III
Lijst van de figuren	IV
1 Inleiding	1
2 Schelde-estuarium	2
2.1 Waterbeweging	3
2.2 Morfologie	3
3 De kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium	7
3.1 Het belang van de kubatuurberekening	7
3.2 Methodiek voor het uitvoeren van de kubatuurberekening	7
3.3 Afgeleide grootheden uit de kubatuurberekening	8
4 Gebruikte basisgegevens	10
4.1 Getij	10
4.1.1 Gemiddeld getij	10
4.1.2 Gemiddeld springtij	11
4.1.3 Gemiddeld doottij	13
4.2 Bovenafvoer	14
4.3 Topo-bathymetrie	15
5 Resultaten	18
5.1 Gemiddeld getij	18
5.1.1 Getijvoortplanting	18
5.1.2 Stroomsnelheden	19
5.1.3 Debieten	21
5.1.4 Getijvolumes	24
5.2 Gemiddeld springtij	26
5.2.1 Getijvoortplanting	26
5.2.2 Stroomsnelheden	26
5.2.3 Debieten	29
5.2.4 Getijvolumes	32
5.3 Gemiddeld doottij	34
5.3.1 Getijvoortplanting	34
5.3.2 Stroomsnelheden	34
5.3.3 Debieten	37
5.3.4 Getijvolumes	40
6 Validatie kubatuurberekening met metingen	42
7 Vergelijking met eerdere kubatuurberekeningen	46
7.1.1 Getij	46
7.1.2 Stroomsnelheden	48
7.1.3 Getijvolumes	52
8 Conclusies en aanbevelingen	54
8.1 Conclusies	54
8.2 Aanbevelingen	54
9 Referentielijst	55

Tabellen	T1
Bijlage 1A: Resultaten bijrivieren (gemiddeld getij)	B1
Rupel en Kleine Nete	B2
Grote Nete	B3
Dijle	B4
Zenne	B5
Durme	B6
Bijlage 1B: Resultaten bijrivieren (gemiddeld springtij).....	B7
Rupel en Kleine Nete	B8
Grote Nete	B9
Dijle	B10
Zenne	B11
Durme	B12
Bijlage 1C: Resultaten bijrivieren (gemiddeld doodtij)	B13
Rupel en Kleine Nete	B14
Grote Nete	B15
Dijle	B16
Zenne	B17
Durme	B18
Bijlage 2: Verloop stroomsnelheid op de belangrijkste getijposten	B19
Bijlage 3: Verloop debiet op de belangrijkste getijposten	B40

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Vergelijking 10-jarige karakteristieken getij t.o.v. gehanteerde getij kubatuurberekening	10
Tabel 2 – Vergelijking 10-jarige karakteristieken getij t.o.v. gehanteerde getij kubatuurberekening	12
Tabel 3 – Vergelijking 10-jarige karakteristieken getij t.o.v. gehanteerde getij kubatuurberekening	13
Tabel 4 – Overzicht gebruikte bovenafvoer per waterloop	14
Tabel 5 – Overzicht connectie bijrivieren aan “hoofd”-waterloop.....	17
Tabel 6 – Relatieve verandering van de vloed- en ebvolumes voor Vlissingen, Antwerpen en Dendermonde	52
Tabel 7 – Overzicht gebruikte waterstandstations.....	T1
Tabel 8 – Overzicht afgeleide grootheden in de belangrijkste getijposten (gemiddeld getij).....	T2
Tabel 9 – Overzicht afgeleide grootheden in de belangrijkste getijposten (gemiddeld springtij)	T5
Tabel 10 – Overzicht procentuele verandering (toename) afgeleide grootheden gemiddeld springtij ten opzichte van gemiddeld getij	T7
Tabel 11 – Overzicht afgeleide grootheden in de belangrijkste getijposten (gemiddeld doottij).....	T8
Tabel 12 – Overzicht procentuele verandering (afname) afgeleide grootheden gemiddeld doottij ten opzichte van gemiddeld getij	T10

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzicht Schelde-estuarium met ligging getijposten	2
Figuur 2 – Verloop kombergende breedte (bij gemiddeld HW en LW) langsheen Schelde-estuarium	4
Figuur 3 – Verloop kombergende breedte (bij gemiddeld HW en LW) langsheen Schelde-estuarium (zoom).....	5
Figuur 4 – Verloop natte sectie (bij gemiddeld HW en LW) langsheen Schelde-estuarium	5
Figuur 5 – Verloop natte sectie (bij gemiddeld HW en LW) langsheen Schelde-estuarium (zoom).....	6
Figuur 6 – Verloop gemiddelde diepte (bij gemiddeld HW en LW) langsheen Schelde-estuarium	6
Figuur 7 – Schematische weergave fragment waterloop t.b.v. kubatuurberekening.....	8
Figuur 8 – Verloop van de waterpeilen op de belangrijkste getijposten langsheen de Wester- en Zeeschelde	11
Figuur 9 – Verloop van de waterpeilen op de belangrijkste getijposten langsheen de Wester- en Zeeschelde	12
Figuur 10 – Verloop van de waterpeilen op de belangrijkste getijposten langsheen de Wester- en Zeeschelde	14
Figuur 11 – Ogenblikkelijke verhanglijnen langsheen het Schelde-estuarium	18
Figuur 12 – Ogenblikkelijke stroomsnelheden langsheen het Schelde-estuarium	19
Figuur 13 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium.....	20
Figuur 14 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium	21
Figuur 15 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium	22
Figuur 16 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom).....	22
Figuur 17 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium.....	23
Figuur 18 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom)	24
Figuur 19 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium	25
Figuur 20 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium (zoom)	25
Figuur 21 – Ogenblikkelijke verhanglijnen langsheen het Schelde-estuarium	26
Figuur 22 – Ogenblikkelijke stroomsnelheden langsheen het Schelde-estuarium	27
Figuur 23 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium.....	28
Figuur 24 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium	29
Figuur 25 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium	30
Figuur 26 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom).....	30
Figuur 27 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium.....	31
Figuur 28 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom)	32
Figuur 29 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium	33
Figuur 30 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium (zoom)	33
Figuur 31 – Ogenblikkelijke verhanglijnen langsheen het Schelde-estuarium	34
Figuur 32 – Ogenblikkelijke stroomsnelheden langsheen het Schelde-estuarium	35

Figuur 33 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium....	36
Figuur 34 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium	37
Figuur 35 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium	38
Figuur 36 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom).....	38
Figuur 37 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium.....	39
Figuur 38 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom)	40
Figuur 39 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium	41
Figuur 40 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium (zoom)	41
Figuur 41 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Liefkenshoek	42
Figuur 42 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Oosterweel	43
Figuur 43 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Kruibeke ..	43
Figuur 44 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Driegoten.	44
Figuur 45 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Schoonaarde	44
Figuur 46 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Boom	45
Figuur 47 – Historisch verloop van het getijverschil langsheen het Schelde-estuarium.....	47
Figuur 48 – Historisch verloop van het getijverschil voor de belangrijkste posten in het Schelde-estuarium	47
Figuur 49 – Historisch verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheden langsheen het Schelde-estuarium	48
Figuur 50 – Historisch verloop van de gemiddelde vloedsnelheid voor de belangrijkste posten in het Schelde-estuarium.....	49
Figuur 51 – Historisch verloop van de gemiddelde ebsnelheid voor de belangrijkste posten in het Schelde-estuarium	49
Figuur 52 – Historisch verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheden langsheen het Schelde-estuarium	50
Figuur 53 – Historisch verloop van de maximale vloedsnelheid voor de belangrijkste posten in het Schelde-estuarium	51
Figuur 54 – Historisch verloop van de maximale ebsnelheid voor de belangrijkste posten in het Schelde-estuarium	51
Figuur 55 – Historisch verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium	52
Figuur 56 – Historisch verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium (zoom).....	53
Figuur 57 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete.	B2
Figuur 58 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete	B2
Figuur 59 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete	B3
Figuur 60 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete	B3
Figuur 61 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle.....	B4
Figuur 62 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle	B4

Figuur 63 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne.....	B5
Figuur 64 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne.....	B5
Figuur 65 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme	B6
Figuur 66 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme	B6
Figuur 67 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete.....	B8
Figuur 68 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete	B8
Figuur 69 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete	B9
Figuur 70 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete	B9
Figuur 71 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle.....	B10
Figuur 72 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle	B10
Figuur 73 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne.....	B11
Figuur 74 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne.....	B11
Figuur 75 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme	B12
Figuur 76 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme	B12
Figuur 77 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete	B14
Figuur 78 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete ..	B14
Figuur 79 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete	B15
Figuur 80 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete	B15
Figuur 81 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle.....	B16
Figuur 82 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle	B16
Figuur 83 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne.....	B17
Figuur 84 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne.....	B17
Figuur 85 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme	B18
Figuur 86 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme	B18
Figuur 87 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Vlissingen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B20
Figuur 88 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Terneuzen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B21
Figuur 89 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Hansweert bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B22
Figuur 90 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Bath bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B23
Figuur 91 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Liefkenshoek bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B24
Figuur 92 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Antwerpen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B25
Figuur 93 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Schelle bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B26
Figuur 94 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Temse bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B27

Figuur 95 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Sint Amands bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B28
Figuur 96 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Dendermonde bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B29
Figuur 97 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Schoonarde bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B30
Figuur 98 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Wetteren bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B31
Figuur 99 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Melle bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B32
Figuur 100 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Boom bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B33
Figuur 101 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Walem bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B34
Figuur 102 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Duffel bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B35
Figuur 103 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Lier-Molbrug bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B36
Figuur 104 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Mechelen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B37
Figuur 105 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Hombeek bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B38
Figuur 106 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Waasmunster-Manta bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B39
Figuur 107 – Verloop waterstand en debiet te Vlissingen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B41
Figuur 108 – Verloop waterstand en debiet te Terneuzen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B42
Figuur 109 – Verloop waterstand en debiet te Hansweert bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B43
Figuur 110 – Verloop waterstand en debiet te Bath bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B44
Figuur 111 – Verloop waterstand en debiet te Liefkenshoek bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B45
Figuur 112 – Verloop waterstand en debiet te Antwerpen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B46
Figuur 113 – Verloop waterstand en debiet te Schelle bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B47
Figuur 114 – Verloop waterstand en debiet te Temse bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B48
Figuur 115 – Verloop waterstand en debiet te Sint Amands bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B49
Figuur 116 – Verloop waterstand en debiet te Dendermonde bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B50
Figuur 117 – Verloop waterstand en debiet te Schoonarde bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B51

Figuur 118 – Verloop waterstand en debiet te Wetteren bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B52
Figuur 119 – Verloop waterstand en debiet te Melle bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B53
Figuur 120 – Verloop waterstand en debiet te Boom bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B54
Figuur 121 – Verloop waterstand en debiet te Walem bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B55
Figuur 122 – Verloop waterstand en debiet te Duffel bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B56
Figuur 123 – Verloop waterstand en debiet te Lier-Molbrug bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B57
Figuur 124 – Verloop waterstand en debiet te Mechelen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B58
Figuur 125 – Verloop waterstand en debiet te Hombeek bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B59
Figuur 126 – Verloop waterstand en debiet te Waasmunster-Manta bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij	B60

1 Inleiding

In de loop van de vorige eeuw, werden zogeheten kubatuurberekeningen gebruikt om een beeld te krijgen van de waterbeweging in het Schelde-estuarium. Dergelijke berekeningen werden uitgevoerd voor volgende situaties:

- 1888 – 1895
- 1920 – 1930: Etude du régime de l'Escaut Maritime par cubature de la marée moyenne décennale 1921-1930 [Bonnet *et al.*, 1936]
- 1950: WL, 1966 – Stormvloeden op de Schelde – Deel 4 [BW, 1966]
- 1971 – 1980: E. Smets, 1996 – Kubatuurberekeningen voor het Scheldebekken (M405-2) [Smets, 1996]

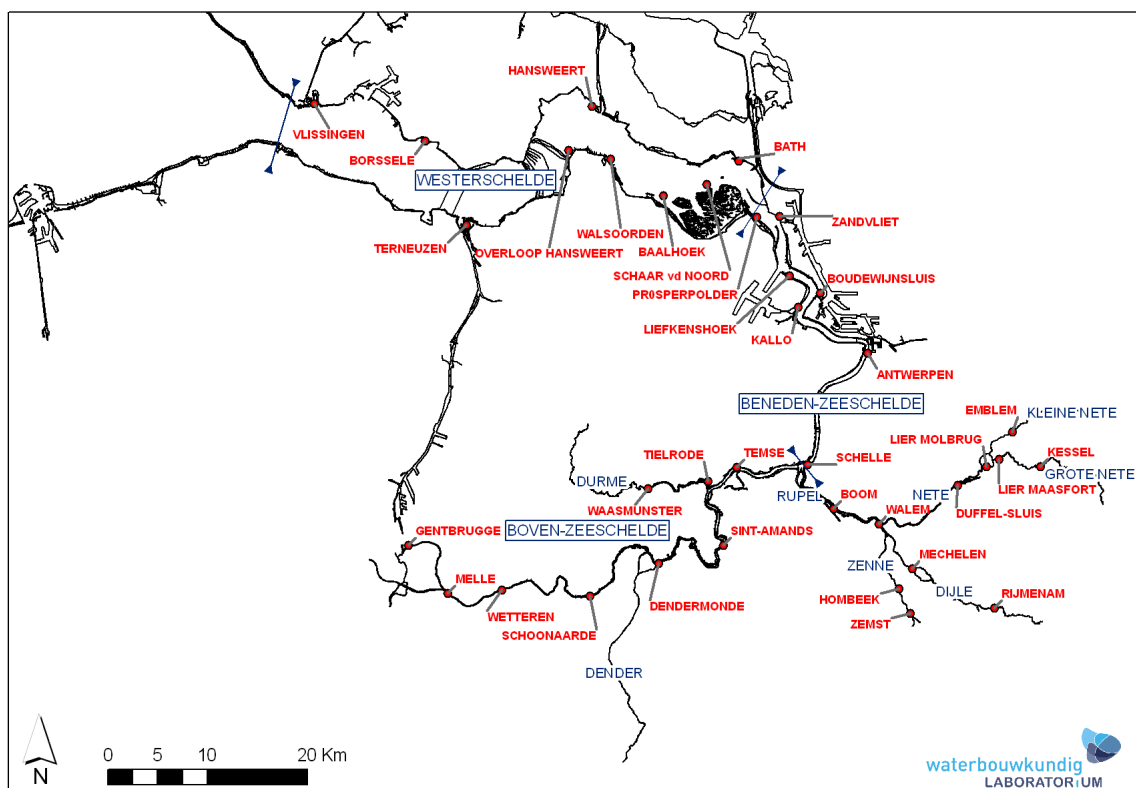
De kubatuurberekening is een relatief eenvoudige manier voor het berekenen van de waterbeweging in estuaria op basis van bodemliggingsgegevens en getijgegevens. Gelet op de vooruitgang, zowel op het vlak van meettechnieken, als op het vlak van programmeren, kan deze techniek systematisch toegepast worden met een beperkte inspanning. Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van deze traditionele techniek toegepast op een bodemligging uit 2001 en met het gemiddeld getij 1991 – 2000 als randvoorwaarde voor het verticale getij. Dit rapport kan gezien worden als een eerste in een (nieuwe) reeks, waarbij voornamelijk een belangrijke inspanning is geleverd in het doorvertalen van de kubatuurberekening in het softwarepakket MATLAB.

2 Schelde-estuarium

Het Schelde-estuarium (Figuur 1) strekt zich uit van de Vlakte van de Raan waar ze uitmondt in de Noordzee tot Gent waar het getij geblokkeerd wordt door een stuw. De morfologie van het estuarium verschilt sterk per zone: een open mondingsgebied afwaarts Vlissingen – Breskens, een meergeulenstelsel in de Westerschelde tussen Vlissingen – Breskens en de Belgisch-Nederlandse grens en een meanderend deel in de Zeeschelde, vanaf de Belgisch-Nederlandse grens tot aan de stuw in Gent.

Naast de Zeeschelde, kan het getij ook doordringen op de bijrivieren:

- Rupel, die uitmondt in de Zeeschelde ter hoogte van Schelle
- Durme, die uitmondt in de Zeeschelde ter hoogte van Tielrode
- Dender, die uitmondt in de Zeeschelde ter hoogte van Dendermonde
- Kleine en Grote Nete die vanaf Lier de Beneden Nete vormen en uitmondt in de Rupel ter hoogte van Walem
- Dijle, die uitmondt in de Rupel ter hoogte van Walem
- Zenne, die uitmondt in de Dijle net opwaarts Walem



Figuur 1 – Overzicht Schelde-estuarium met ligging getijposten

2.1 Waterbeweging

Het Schelde-estuarium wordt gekenmerkt met sterke getijden en bijbehorende eb- en vloedstromingen. Over de 10-jarige periode 1991-2000, bedraagt het getijverschil ter hoogte van Vlissingen bij een gemiddeld getij 3,89 m (4,53 m en 3,06 m bij springtij, resp. doottij) [Taverniers *et al.*, 2009]. Ten gevolge van de trechtervorm van het estuarium neemt het getijverschil naar opwaarts toe op ter hoogte van Temse haar maximum (5,43 m bij gemiddeld getij) te bereiken. Nog meer naar opwaarts neemt het getijverschil af door de wrijving, om ter hoogte van Melle 2,38 m te bedragen.

De hoog- en laagwatergolf plant zich in het estuarium met een bepaalde celeriteit (voortplantings-snelheid van een golf). Het moment van hoog- en laagwater verschilt langsheen het estuarium. Dit wordt verder in het rapport (5.1.1) geïllustreerd aan de hand van zgn. ogenblikkelijke verhanglijnen, die het waterpeil op één moment langsheen het estuarium tonen. In Antwerpen zal zo het hoogwater 1u45 later optreden dan in Vlissingen, terwijl dit in Temse al 2u35 later is en in Melle 5u10. Voor het laagwater is dit 2u18 voor Antwerpen later dan in Vlissingen, 3u15 voor Temse en 6u50 voor Melle.

De hogere celeriteit van de hoogwatergolf ten opzichte van de laagwatergolf, zorgt voor een toename in de getij-asymmetrie naarmate men meer opwaarts gaat. In Vlissingen is het getij quasi symmetrisch: voor een gemiddeld getij bedraagt de duur van de stijging 5u57, terwijl de daling 6u28 duurt. In Antwerpen is dit reeds 5u25 (stijging) en 7u01 (daling), voor Temse wordt dit 5u17 en 7u08, terwijl in Melle de stijging 4u18 en de daling 8u08 duurt.

2.2 Morfologie

Zoals eerder beschreven verschilt de morfologie sterk in het Schelde-estuarium. Ten behoeve van de kubatuurberekening zijn met name de afgeleide grootheden kombergende breedte¹ (Figuur 2 en Figuur 3) en natte sectie (Figuur 4 en Figuur 5) van belang. Deze grootheden worden voorgesteld (Figuur 2 tot Figuur 5) voor zowel laagwater als hoogwater.

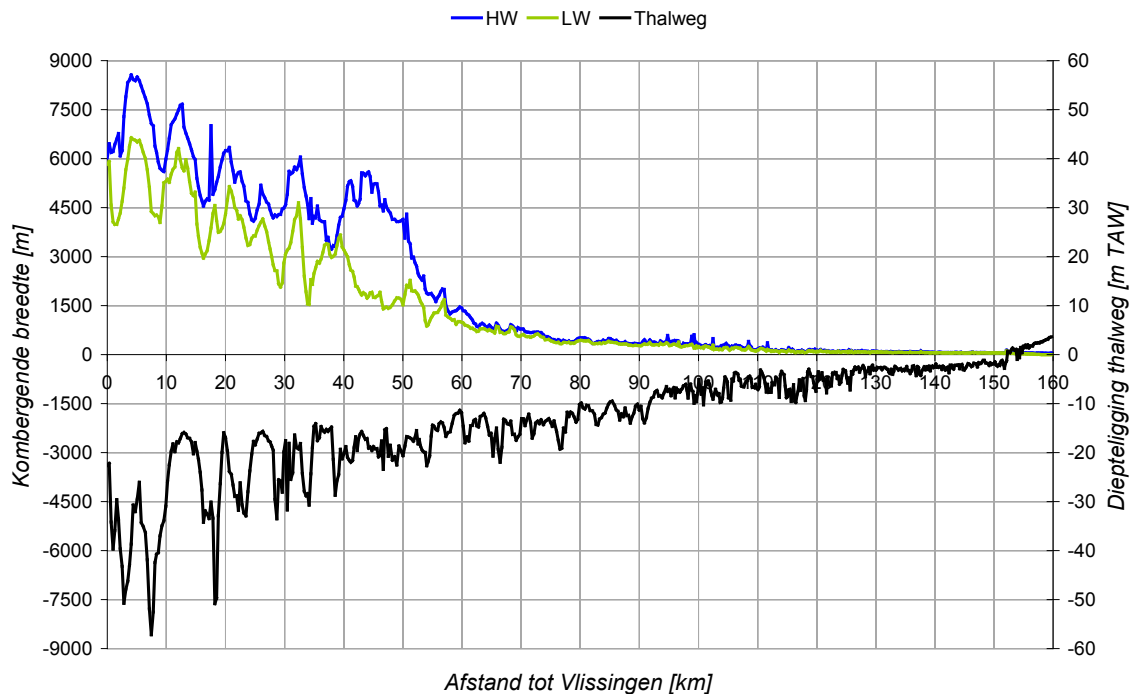
Zowel de kombergende breedte als de natte sectie nemen geleidelijk af van het mondingsgebied naar opwaarts toe. Deze afname is het meest uitgesproken in de Westerschelde (KM 0 tot KM 55) waar de trechtervorm ook zorgt voor de toename van het getijverschil. Ter hoogte van Vlissingen-Breskens bedraagt de kombergende breedte bij laagwater ca. 6.000 m (Figuur 2), terwijl dit ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens nog slechts 1.500 m is. Ook treedt in de Westerschelde een relatief groot verschil (tot 2.000 m) op in beide grootheden tussen het laag- en hoogwater. Dit is te verklaren door de aanwezigheid van tussenliggende platen in het meergeulenstelsel van de Westerschelde: bij laagwater vallen deze droog waardoor de kombergende breedte louter de geulen betreft; bij hoogwater worden de platen overspoeld waardoor de kombergende breedte ook sterk toeneemt. Dit verschil is het meest uitgesproken tussen KM 40 en KM 50: in dit gebied ligt het Verdrongen land van Saeftinghe, het grootste brakke slik- en schorgebied in West-Europa.

Ook in de Zeeschelde nemen de kombergende breedte en de natte sectie verder af naar opwaarts. Deze afname is echter minder uitgesproken dan in de Westerschelde. Tussen de grens en Schoonaarde neemt de kombergende breedte (Figuur 3) bij laagwater verder af van ca. 1.500 m tot ongeveer 100 m. Vanaf Schoonaarde (KM 130) is de afname in deze grootheden nog kleiner en neemt de kombergende breedte af tot 50 m in Melle (KM 150).

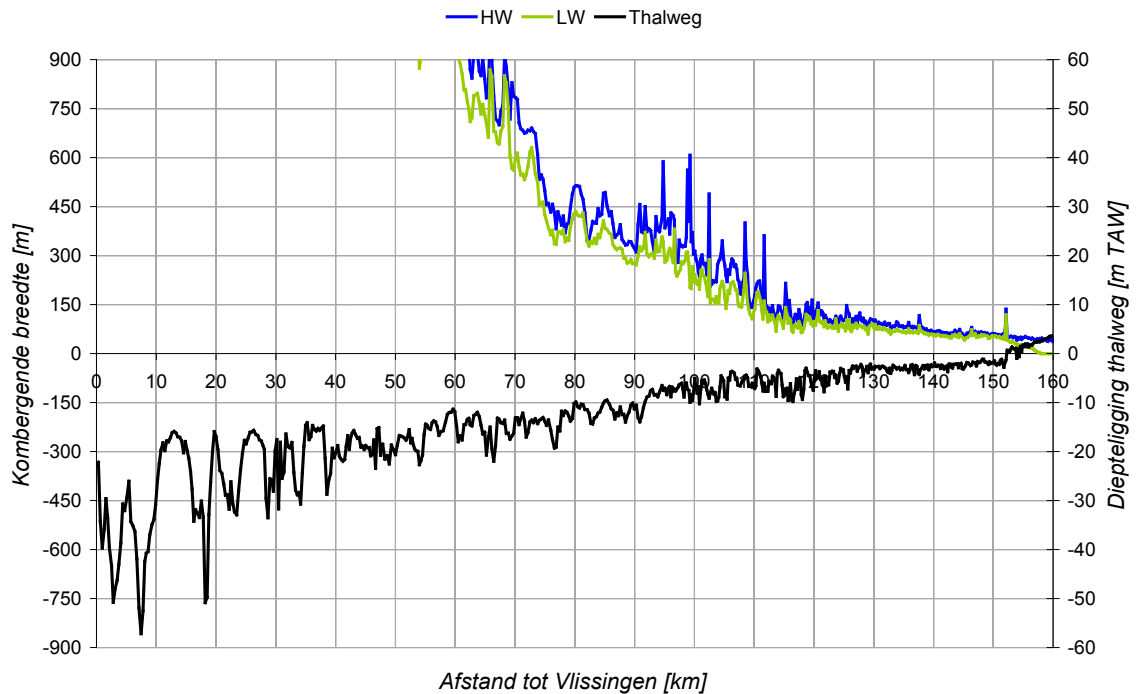
¹ Oftewel de breedte ter hoogte van het wateroppervlak

Figuur 6 geeft het verloop weer van de gemiddelde diepte van de dwarssecties langsheen het estuarium. In de Westerschelde neemt de gemiddelde diepte bij laagwater geleidelijk af van 15 m ter hoogte van Vlissingen, naar 8 m ter hoogte van de grens. In de Westerschelde is ook de invloed van het meergeulensstelsel (en meer bepaald de bij laagwater droogvallende platen) te zien: normaliter zou de gemiddelde diepte bij laagwater kleiner moeten zijn dan deze bij hoogwater. Dit is echter in de Westerschelde niet altijd het geval. De aanwezigheid van de droogvallende platen zorgt voor een afname in de gemiddelde diepte bij hogere waterstanden: waar bij laagwater de geulen de gemiddelde diepte bepalen, is de invloed van de platen met een beperkte waterhoogte erop, groot bij hoogwater.

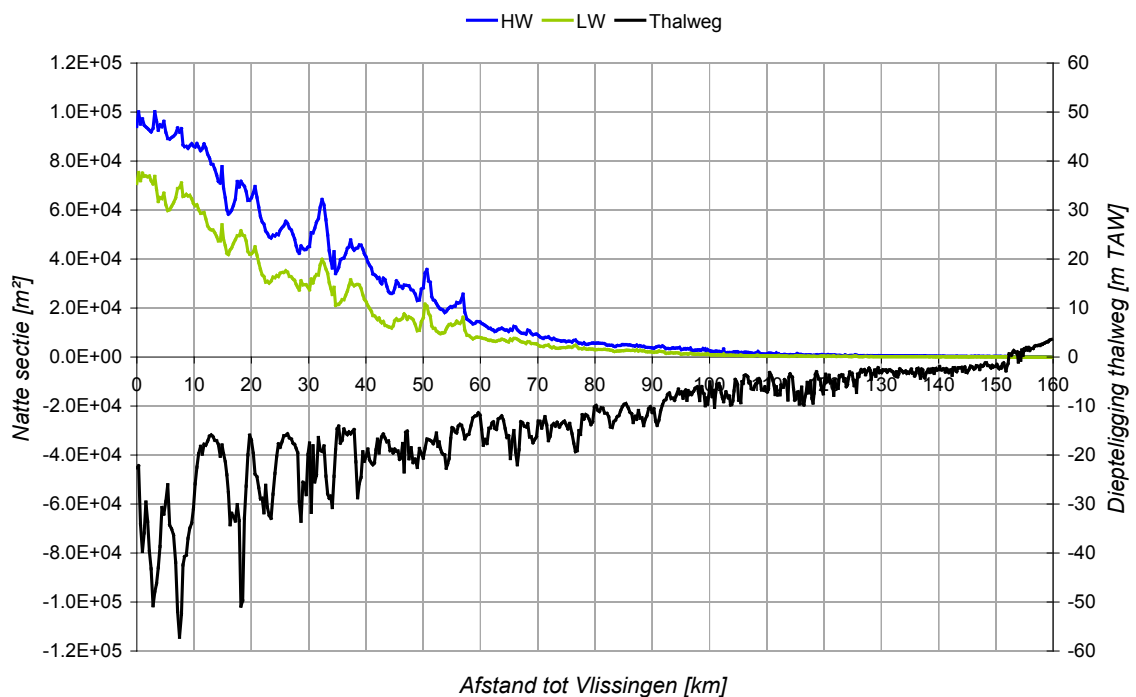
In de Beneden Zeeschelde (KM 55 – KM 90) neemt de gemiddelde diepte opnieuw beperkt toe (tot 10 m), om vervolgens in de Boven Zeeschelde (KM 90 – KM 160) opnieuw geleidelijk af te nemen tot ca. 3 m in Melle.



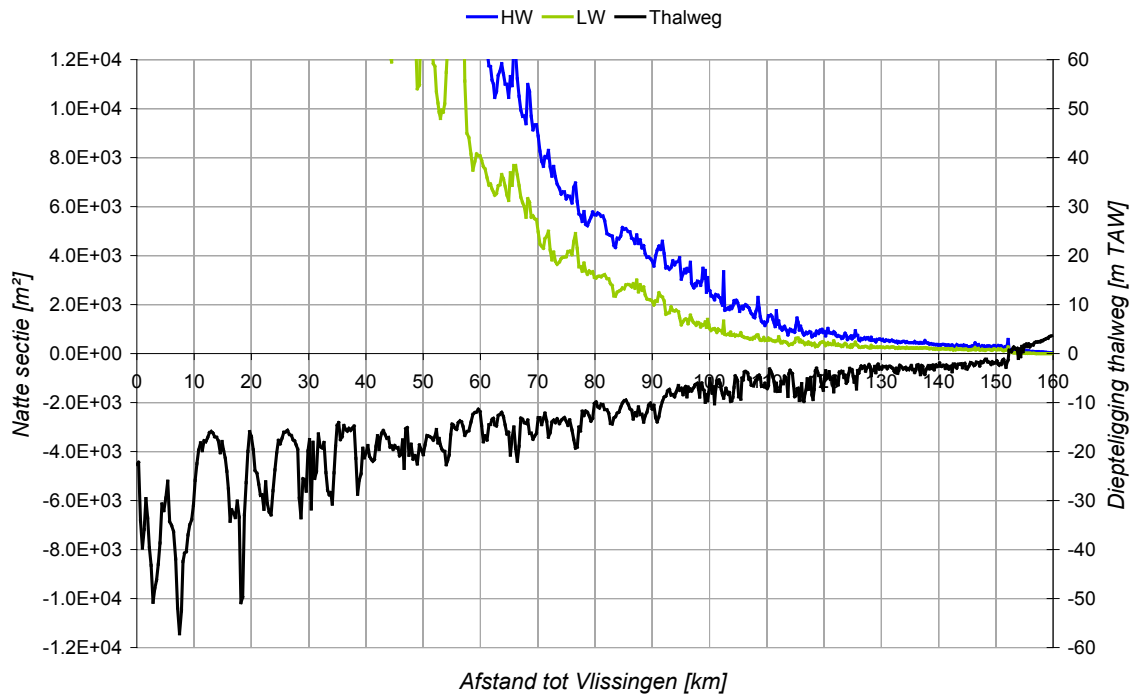
Figuur 2 – Verloop kombergende breedte (bij gemiddeld HW en LW) langsheen Schelde-estuarium



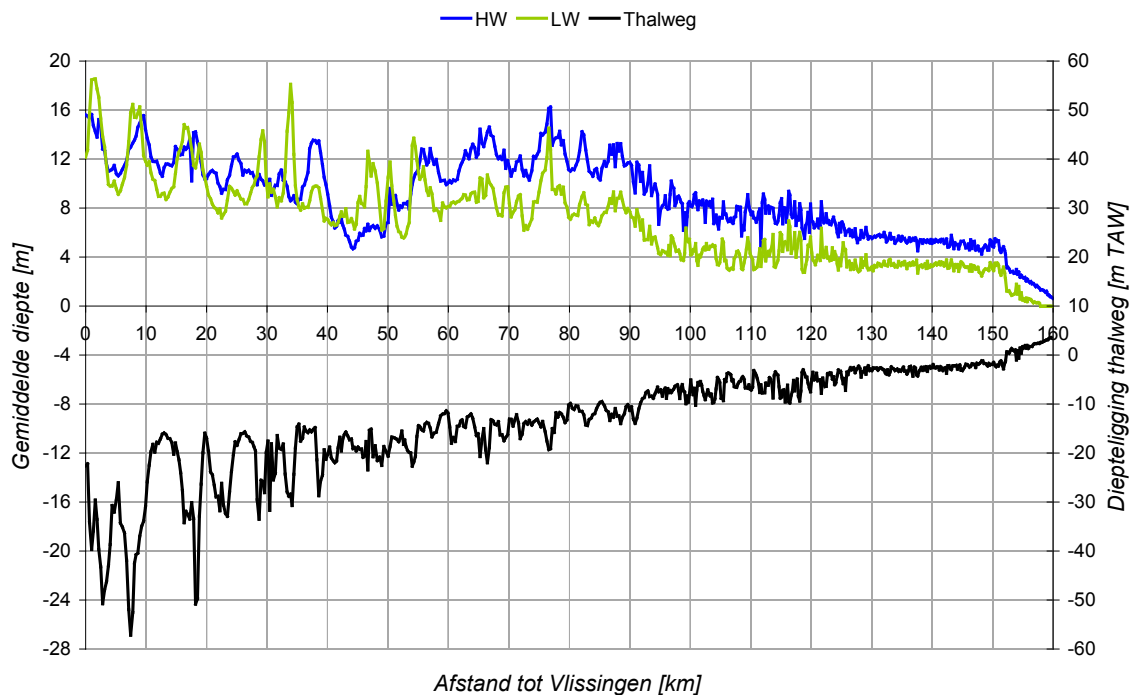
Figuur 3 – Verloop kombergende breedte (bij gemiddeld HW en LW) langsheen Schelde-estuarium (zoom)



Figuur 4 – Verloop natte sectie (bij gemiddeld HW en LW) langsheen Schelde-estuarium



Figuur 5 – Verloop natte sectie (bij gemiddeld HW en LW) langsheen Schelde-estuarium (zoom)



Figuur 6 – Verloop gemiddelde diepte (bij gemiddeld HW en LW) langsheen Schelde-estuarium

3 De kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium

3.1 Het belang van de kubatuurberekening

De kubatuurberekening laat toe op een eenvoudig manier een beeld te krijgen van de waterbeweging in het Schelde-estuarium. De eenvoud van de methodiek ligt in het feit dit louter gebruik gemaakt wordt van gemeten basisgegevens, nl. de topo-bathymetrie en de waterstanden. Vertrekkende van deze 2 grootheden worden uitgaande van de continuïteitsvergelijking de debieten en sectie-gemiddelde stroomsnelheden berekend. Daarenboven kan op basis van deze parameters een weerstandstandscoëfficiënt (cfr. Manning-coëfficiënt) afgeleid worden, dit in tegenstelling tot numerieke modellen die dergelijke weerstandstandscoëfficiënt noodzakelijk voor het uitvoeren van de berekeningen. Bij de numerieke modellen wordt deze parameter dan ook gebruikt als ijkingscoëfficiënt om een goede overeenstemming te krijgen tussen de gemeten en de gesimuleerde grootheden (meestal waterstanden).

Mits een gelijkaardige vorm van de basisgegevens, kan de kubatuurberekening herhaaldelijk uitgevoerd worden. Op deze manier kan een beeld verkregen worden van de (historisch) opgetreden veranderingen in debieten en stroomsnelheden, of kan het effect op deze parameters ingeschat worden voor bepaalde scenario's.

Waar in het verleden zowel de hoeveelheid beschikbare basisgegevens als de rekencapaciteit beperkt was, zijn deze aspecten vandaag de dag geen beperkende factoren meer. Bij de uitvoering van deze kubatuurberekening is er voor geopteerd de berekening te programmeren in Matlab. Op deze manier kan ook in de toekomst op een relatief eenvoudige manier het uitvoeren van een kubatuurberekening herhaald worden.

3.2 Methodiek voor het uitvoeren van de kubatuurberekening

De getijbeweging in een waterloop wordt in de één-dimensionale vorm beschreven door de 2 basis-vergelijkingen:

(1) Continuïteitsvergelijking:
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B(x) \cdot \frac{\partial z}{\partial t} - f = 0$$

(2) Dynamische vergelijking:
$$\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{u}{g} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u|u|}{C^2 \cdot R} = 0$$

- met:
- x: abscis van een dwarsdoorsnede van het estuarium
 - z: waterpeil t.o.v. horizontaal referentievlak (hier = TAW)
 - t: tijd
 - Q: debiet, positief gerekend van opwaarts naar afwaarts (eb = + | vloed = -)
 - A: natte sectie van een dwarsdoorsnede x bij waterpeil z: A(x,z)
 - B: kombergende breedte van een dwarsdoorsnede x bij waterpeil z: B(x,z)
 - u: sectiegemiddelde stroomsnelheid: $u = Q/A$
 - g: gravitatieconstante (9,81 m/s²)
 - C: weerstandscoefficiënt volgens Chézy
 - f: zijdelingse toevoer

De kubatuurberekening is gebaseerd op de integratie van de continuïteitsvergelijking over een fragment van de waterloop tussen 2 dwarsdoorsneden (Figuur 7). Door toepassing van de trapeziumregel bekomt men volgende formule die de basis vormt voor de kubatuurberekening:

$$Q_{n+1} - Q_n = -\frac{1}{2} \left[\frac{B_n^{t+1} + B_n^t}{2} \cdot \Delta z_n^{t,t+1} + \frac{B_{n+1}^{t+1} + B_{n+1}^t}{2} \cdot \Delta z_{n+1}^{t,t+1} \right] \Delta x \cdot \frac{1}{\Delta t}$$

met: Q_n : debiet in dwarsdoorsnede n (opwaarts)

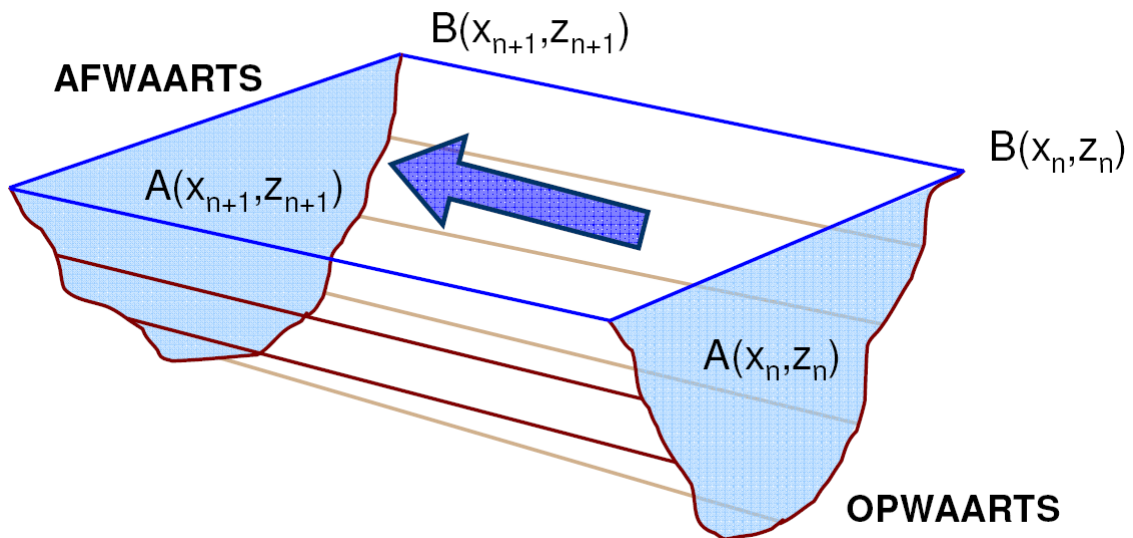
Q_{n+1} : debiet in dwarsdoorsnede n+1 (afwaarts)

B_n^t : kombergende breedte in dwarsdoorsnede n op tijdstip t

$\Delta z_n^{t,t+1}$: verandering van het waterpeil in dwarsdoorsnede n tussen tijdstip t en t+1

Δx : afstand tussen dwarsdoorsnede n en n+1 (variërend tussen 300 m (Westerschelde) en 100 m (Zeeschelde en bijrivieren))

Δt : tijdsinterval tussen 2 opeenvolgende momenten (hier = 10 minuten)



Figuur 7 – Schematische weergave fragment waterloop t.b.v. kubatuurberekening

3.3 Afgeleide grootheden uit de kubatuurberekening

De kubatuurberekening levert het verloop van het debiet ter hoogte van alle dwarsdoorsneden. Uit dit verloop van het debiet kunnen volgende afgeleide grootheden bepaald worden:

(a) Maximale eb- en vloeddebiet

$$Q_{eb}^{\max} = \max_{KHW < t < K LW} |Q(x, t)| \text{ en } Q_{vloed}^{\max} = \max_{KLW < t < KHW} |Q(x, t)|$$

(b) Gemiddelde eb- en vloeddebiet

$$\langle Q_{eb} \rangle = \frac{\left| \int_{KHW}^{KLW} Q(x,t).dt \right|}{KLW - KHW} \text{ en } \langle Q_{vloed} \rangle = \frac{\left| \int_{KLW}^{KHW2} Q(x,t).dt \right|}{KHW2 - KLW}$$

(c) Eb- en vloedvolume

$$V_{eb} = \left| \int_{KHW}^{KLW} Q(x,t).dt \right| \text{ en } V_{vloed} = \left| \int_{KLW}^{KHW2} Q(x,t).dt \right|$$

(d) Verloop van de sectie-gemiddelde snelheid

$$v(x,t) = \frac{Q(x,t)}{A(x,z)}$$

(e) Maximale eb- en vloodsnelheid

$$v_{eb}^{\max} = \max_{KHW < t < KLW} |v(x,t)| \text{ en } v_{vloed}^{\max} = \max_{KLW < t < KHW2} |v(x,t)|$$

(f) Gemiddelde eb- en vloodsnelheid

$$\langle v_{eb} \rangle = \frac{\left| \int_{KHW}^{KLW} v(x,t).dt \right|}{KLW - KHW} \text{ en } \langle v_{vloed} \rangle = \frac{\left| \int_{KLW}^{KHW2} v(x,t).dt \right|}{KHW2 - KLW}$$

4 Gebruikte basisgegevens

Aan de basis van een kubatuurberekening liggen enerzijds de waterpeilen gedurende een volledige getijcyclus op verschillende punten langs het estuarium en anderzijds de topo-bathymetrische gegevens (kombergende breedte en natte sectie voor de verschillende waterpeilen) van het estuarium. Daarenboven moet ter hoogte van de opwaartse randen een debiet opgelegd worden. In de onderstaande paragrafen wordt dieper ingegaan in de gebruikte gegevens van deze 3 aspecten.

4.1 Getij

De waterstanden in het Schelde-estuarium worden op een groot aantal posten gemeten. Voor de Westerschelde zijn er 9 posten (locaties terug te vinden in Tabel 7) waar continu (één meetwaarde per 10 minuten) de waterstanden worden gemeten. Deze waarden zijn beschikbaar via het Hydro-Meteo Centrum Zeeland (www.hmcz.nl). Voor de Zeeschelde (14 locaties) en de bijrivieren (Rupel, Beneden Nete, Kleine Nete, Grote Nete, Dijle, Zenne, Durme – in totaal 13 locaties) worden de waterstanden (1 meting per minuut) gemeten door het Waterbouwkundig Laboratorium (locaties terug te vinden in Tabel 7). Aangezien voor de kubatuurberekening de intervallen tussen de metingen identiek moeten zijn, is gekozen om alles te reduceren naar een interval van 10 minuten. Deze tijdsresolutie volstaat voor het weergeven van de veranderingen in waterstanden in het estuarium. Ter vergelijking: de vorige kubatuurberekening [Smets, 1996] maakt gebruik van getijdata met een interval van 15 minuten.

De kubatuurberekening is uitgevoerd voor het gemiddeld getij, het gemiddeld springtij en het gemiddeld doottij voor de periode 1991-2000. Aangezien slechts voor een beperkt aantal posten de karakteristieke getijkrommes voor deze periode beschikbaar zijn en de kubatuurberekening gebaseerd is op de waterstand van zoveel mogelijk stations in het estuarium, is geopteerd voor een andere benaderende methode. Deze methode bestaat erin om uit een reële meetperiode, een getij te selecteren dat overeenstemt met het karakteristieke getij uit de periode 1991-2000. Voor deze kubatuurberekening is de periode mei en juni 2009 beschouwd en werd het getij gezocht dat de beste overeenstemming vertoont met het 10-jarlijks gemiddelde.

4.1.1 Gemiddeld getij

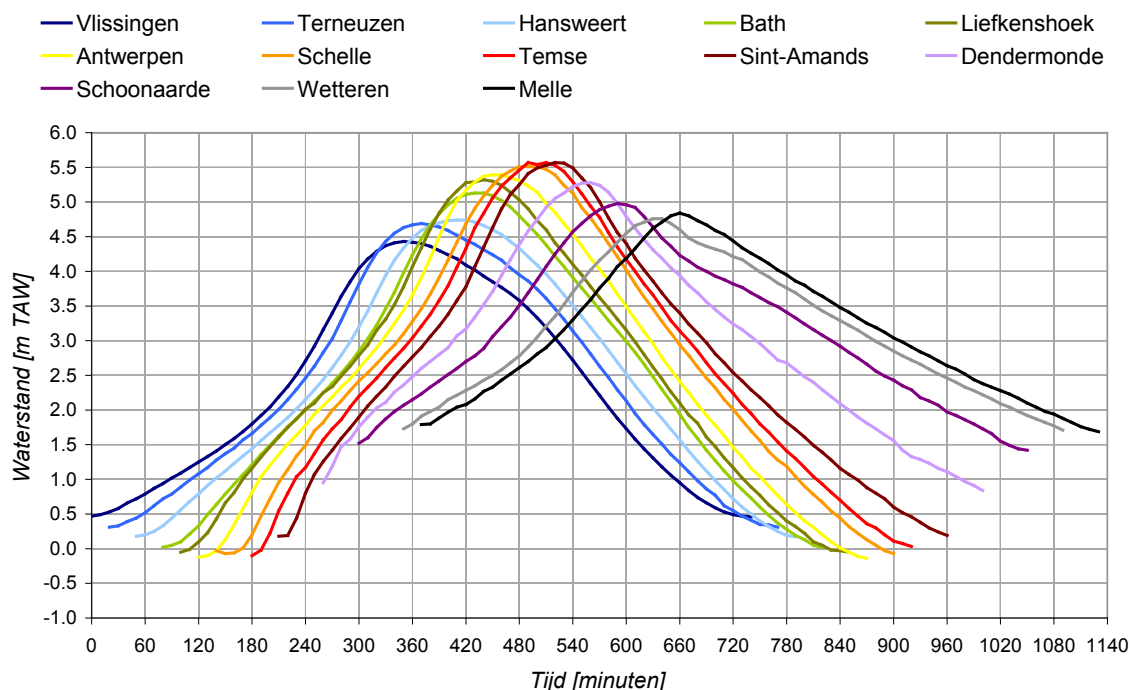
Voor het gemiddeld getij van de periode 1991-2000 bleek het getij van 21 en 22 juni 2009 het best overeen te stemmen. Tabel 1 geeft de vergelijking weer van de karakteristieke getijparameters voor enerzijds het 10-jarlijks gemiddeld getij in de periode 1991-2000 en anderzijds het geselecteerde getij van 21 en 22 juni 2009. Deze vergelijking is gemaakt voor Vlissingen (VLIS), Antwerpen (ANTW) en Sint-Amands (StAM). Waar de overeenstemming in hoog- en laagwater zeer goed is voor Vlissingen, neemt de afwijking toe naarmate meer naar opwaarts wordt gegaan. De tijdsduur van de daling en de stijging vertoont voor de 3 posten wel een goede overeenstemming.

Tabel 1 – Vergelijking 10-jarige karakteristieke getij t.o.v. gehanteerde getij kubatuurberekening

	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	GTV [cm TAW]	Duur daling [minuten]	Duur stijging [minuten]
VLIS – 1991-2000	440	51	389	388	357
VLIS – kubatuur	443	47	396	390	350
ANTW – 1991-2000	529	0	529	421	325
ANTW – kubatuur	539	-12	551	415	335

StAM – 1991-2000	555	44	511	446	299
StAM – kubatuur	557	18	539	440	310

Figuur 8 geeft het verloop van de waterpeilen voor de belangrijkste getijposten langsheen de Wester- en Zeeschelde. Hierbij is het begintijdstip van de kubatuurberekening gekozen op het laagwater te Vlissingen. Voor alle posten werden de waterpeilen gebruikt voor een periode van 1840 minuten, oftewel 30u40. Deze periode werd zo gekozen dat zowel voor de meest afwaartse locatie (Vlissingen) als voor de meest opwaartse (Melle) een volledige getijcyclus, gaande van laagwater over hoogwater naar het volgende laagwater, in deze periode begrepen zit.



Figuur 8 – Verloop van de waterpeilen op de belangrijkste getijposten langsheen de Wester- en Zeeschelde

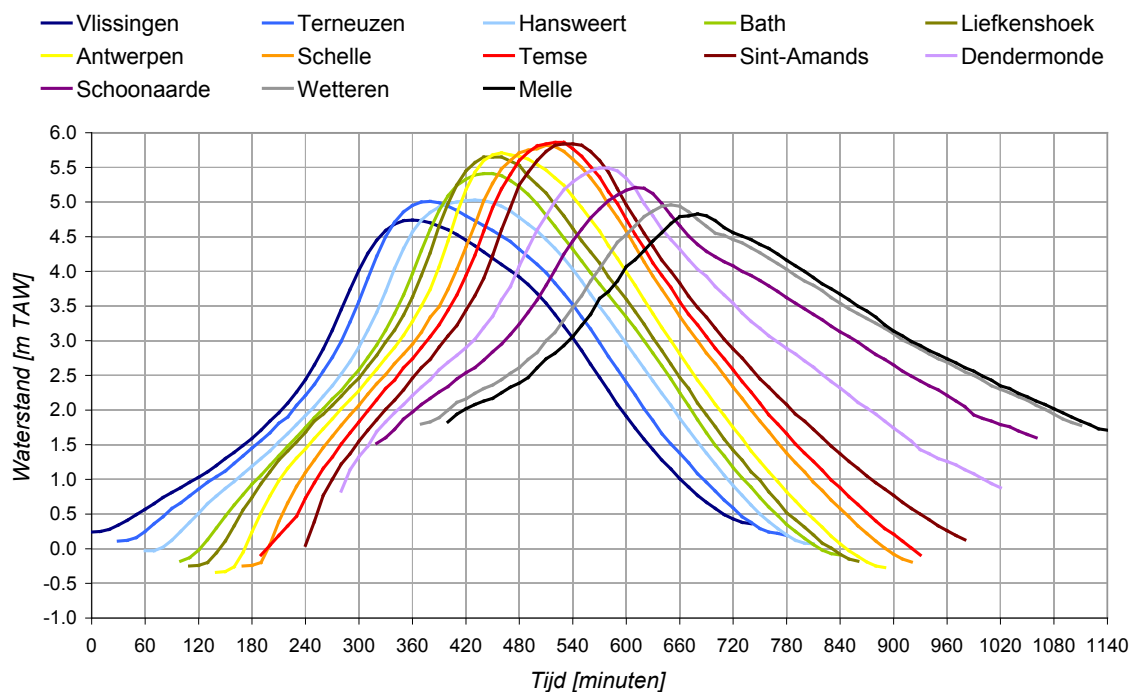
4.1.2 Gemiddeld springtij

Voor het gemiddeld getij van de periode 1991-2000 bleek het getij van 24 en 25 mei 2009 het best overeen te stemmen. Tabel 1 geeft de vergelijking weer van de karakteristieke getijparameters voor enerzijds het 10-jarlijks gemiddeld springtij in de periode 1991-2000 en anderzijds het geselecteerde getij van 24 en 25 mei 2009. Deze vergelijking is gemaakt voor Vlissingen (VLIS), Antwerpen (ANTW) en Sint-Amands (StAM). Zowel de hoog- en laagwaters als de tijdsduren van daling en stijging vertonen een goede overeenstemming voor deze 3 getijposten.

Tabel 2 – Vergelijking 10-jarige karakteristieke getij t.o.v. gehanteerde getij kubatuurberekening

	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	GTV [cm TAW]	Duur daling [minuten]	Duur stijging [minuten]
VLIS – 1991-2000	479	26	453	387	352
VLIS – kubatuur	474	24	450	380	360
ANTW – 1991-2000	572	-23	595	438	301
ANTW – kubatuur	571	-34	605	430	320
StAM – 1991-2000	594	35	559	454	285
StAM – kubatuur	584	5	579	445	295

Figuur 8 geeft het verloop van de waterpeilen voor de belangrijkste getijposten langs de Wester- en Zeeschelde. Hierbij is het begintijdstip van de kubatuurberekening gekozen op het laagwater te Vlissingen. Voor alle posten werden de waterpeilen gebruikt voor een periode van 1840 minuten, oftewel 30u40. Deze periode werd zo gekozen dat zowel voor de meest afwaartse locatie (Vlissingen) als voor de meest opwaartse (Melle) een volledige getijcyclus, gaande van laagwater over hoogwater naar het volgende laagwater, in deze periode begrepen zit.



Figuur 9 – Verloop van de waterpeilen op de belangrijkste getijposten langs de Wester- en Zeeschelde

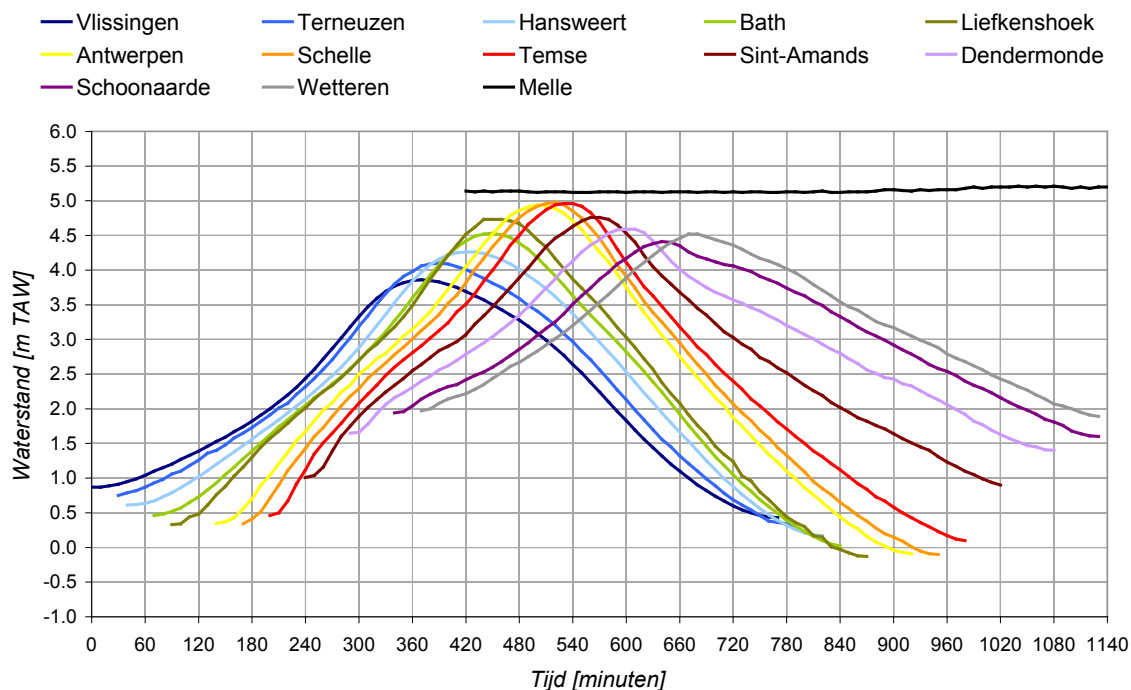
4.1.3 Gemiddeld doottij

Voor het gemiddeld getij van de periode 1991-2000 bleek het getij van 3 en 4 mei 2009 het best overeen te stemmen. Tabel 1 geeft de vergelijking weer van de karakteristieke getijparameters voor enerzijds het 10-jarlijks gemiddeld doottij in de periode 1991-2000 en anderzijds het geselecteerde getij van 3 en 4 mei 2009. Deze vergelijking is gemaakt voor Vlissingen (VLIS), Antwerpen (ANTW) en Sint-Amands (StAM). Zowel de hoog- en laagwaters als de tijdsduren van daling en stijging vertonen een goede overeenstemming voor deze 3 getijposten.

Tabel 3 – Vergelijking 10-jarige karakteristieken getij t.o.v. gehanteerde getij kubatuurberekening

	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	GTV [cm TAW]	Duur daling [minuten]	Duur stijging [minuten]
VLIS – 1991-2000	391	85	306	391	366
VLIS – kubatuur	386	87	299	400	370
ANTW – 1991-2000	477	34	443	404	355
ANTW – kubatuur	480	31	449	415	365
StAM – 1991-2000	503	58	455	438	323
StAM – kubatuur	496	46	450	450	335

Figuur 8 geeft het verloop van de waterpeilen voor de belangrijkste getijposten langsheen de Wester- en Zeeschelde. Hierbij is het begintijdstip van de kubatuurberekening gekozen op het laagwater te Vlissingen. Voor alle posten werden de waterpeilen gebruikt voor een periode van 1840 minuten, oftewel 30u40. Deze periode werd zo gekozen dat zowel voor de meest afwaartse locatie (Vlissingen) als voor de meest opwaartse (Melle) een volledige getijcyclus, gaande van laagwater over hoogwater naar het volgende laagwater, in deze periode begrepen zit. Uit onderstaande figuur blijkt dat voor het doottij het getij niet doordringt tot Melle.



Figuur 10 – Verloop van de waterpeilen op de belangrijkste getijposten langsheen de Wester- en Zeeschelde

4.2 Bovenafvoer

Ter hoogte van de meest opwaartse getijposten op de Zeeschelde en de verschillende bijrivieren, dient als randvoorwaarde een bovenafvoer (i.e. debiet) opgelegd te worden. De keuze van deze bovenafvoeren is voornamelijk belangrijk voor de meest opwaartse delen. Meer afwaarts zal het belang van de bovenafvoer afnemen ten koste van het belang van het getij. Voor de kubatuurberekening werden dezelfde bovenafvoeren gehanteerd als deze gebruikt bij de laatste kubatuurberekening [Smets, 1996]. Tabel 4 geeft per waterloop deze gebruikte bovenafvoeren weer, alsook de vergelijking met de karakteristieke bovenafvoeren (50% percentiel) uit de periode 1991-2010 [Cornet *et al.*, 2011].

Voor de meeste bijrivieren verschilt de bovenafvoer zoals door Smets opgelegd weinig van het 50% percentiel uit de periode 1991-2010. Enkel voor de Boven Zeeschelde blijkt er een aanzienlijk verschil te zijn tussen Smets (10,0 m³/s) en het 50% percentiel van de periode 1991-2010 (25,80 m³/s).

Tabel 4 – Overzicht gebruikte bovenafvoer per waterloop

Debietspost (Waterloop)	Bovenafvoer [Smets, 1996] [m³/s]	Jaargemiddelde bovenafvoer [Cornet <i>et al.</i> , 2011] [m³/s]
Merelbeke (Boven Zeeschelde)	7,5	
Gentbrugge (Tijarm)	2,5	
Melle (Boven Zeeschelde + Tijarm)	-	25,80
Dendermonde (Dender)	8,0	7,20
Waasmunster (Durme)	8,0	
Grobbendonk (Kleine Nete)	6,0	4,95
Hulshout (Grote Nete)	5,5	3,95
Rijmenam (Dijle)	21,5	
Wijgmaal (Dijle) + Aarschot (Demer)	-	5,37 + 11,60
Eppegem (Zenne)	7,0	7,43

4.3 Topo-bathymetrie

De topo-bathymetrie van het Schelde-estuarium werd tot op heden eerder sporadisch gebiedsdekkend opgenomen. Waar de Westerschelde (jaarlijks) en de Beneden Zeeschelde (2-jaarlijks) sinds het midden van de jaren 1990 regelmatig opgemeten worden, is dit voor de Boven Zeeschelde en de bijrivieren niet het geval. In het laatste decennium is enkel in 2001 (in het kader van de actualisatie van het Sigmaplan) een volledig gebiedsdekkende topo-bathymetrische opname uitgevoerd van de Boven Zeeschelde en de bijrivieren. Deze beperking heeft ervoor gezorgd dat het jaar 2001 als uitgangspunt is genomen voor de topo-bathymetrie voor deze kubatuurberekening. Voor de gebieden voor geen informatie beschikbaar was uit 2001, is deze aangevuld met gegevens uit de aangrenzende jaren (2000, 2002).

Deze topo-bathymetrische gegevens zijn gebruikt voor het 1D-numerieke waterbewegingsmodel [THV RA-IMDC, 2003]. Binnen het softwarepakket waarin het 1D- numerieke waterbewegingsmodel is opgebouwd (MIKE 11), bestaat de mogelijkheid om voor elk profiel (dwarsraai) de afgeleide topo-bathymetrische data in ASCII te exporteren. Deze afgeleide data (de kombergende breedte en de natte sectie op een aantal (10 tot 60) hoogtes over de verticale) zijn gebruikt als topo-bathymetrische basisgegevens voor de huidige kubatuurberekening. De tussenafstand tussen twee opeenvolgende profielen verschilt voor de verschillende deelgebieden:

- Westerschelde: één profiel² per 300 à 400 m
- Beneden Zeeschelde: één profiel per 300 à 400 m
- Boven Zeeschelde: één profiel per 200 m
- Bijrivieren: één profiel per 200 m

De verschillende bijrivieren monden uit in of een andere bijrivieren, of in de Schelde. Voor de kubatuurberekening zijn volgende takken gedefinieerd:

- (1) Schelde = Westerschelde + Beneden Zeeschelde + Boven Zeeschelde
- (2) KleineNeteRupel = Rupel + Beneden Nete + Kleine Nete
- (3) Grote Nete
- (4) Dijle = Beneden Dijle + Dijle
- (5) Zenne
- (6) Durme
- (7) Tijarm
- (8) Dender
- (9) Saeftinghe

De Dender wordt niet als volwaardige tak meegenomen, doch louter als een tak waarin een bepaalde bovenafvoer geloosd wordt. Ook het Verdrongen Land van Saeftinghe wordt niet als netwerk geschematiseerd, doch louter als komberging. Hierbij is geopteerd op het Verdrongen Land van Saeftinghe op te delen in 7 deelgebieden, ieder met een bepaalde komberging.

De verschillende takken zijn onderling met elkaar verbonden. Tabel 5 geeft het overzicht van de connecties tussen de verschillende takken. Hierbij wordt telkens de locatie in de "connectie waterloop" ("moeder") weergegeven waar de waterloop ("kind") uitmondt.

² Voor de Westerschelde zijn de profielen gedefinieerd over de volledige breedte. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen de eb- en vloedgeulen. De natte sectie op een bepaald niveau (bv. laagwater) is de som van de natte sectie van de ebgeul en deze van de vloedgeul.

Tabel 5 – Overzicht connectie bijrivieren aan “hoofd”-waterloop

Waterloop	Connectie waterloop	Locatie connectie [KM]
Tijarm	Schelde	152,1
Dender	Schelde	123,5
Durme	Schelde	102,8
Rupel + Kleine Nete	Schelde	92,1
Saeftinghe (7 takken)	Schelde	tussen KM 43 en 53
Grote Nete	Rupel + Kleine Nete	26,9
Dijle	Rupel + Kleine Nete	11,3
Zenne	Dijle	1,2

5 Resultaten

In onderstaande paragrafen worden de resultaten van de huidige kubatuurberekeningen voor het gemiddeld getij, het gemiddeld springtij en het gemiddeld doottij gepresenteerd en besproken. Hierbij wordt ingegaan op de getijvoortplanting, de stroomsnelheden, de debieten en de getijvolumes langsheen het estuarium (tak Schelde).

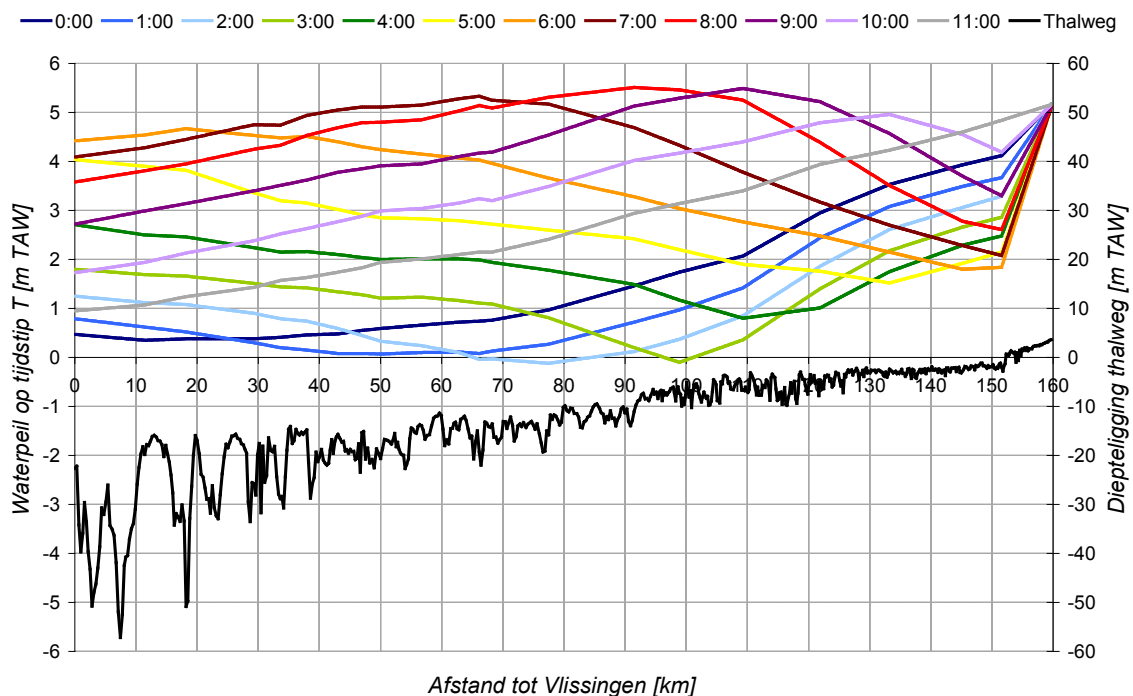
Voor de bijrivieren worden deze resultaten gepresenteerd in bijlage 1, zowel voor gemiddeld getij (Bijlage 1A: Resultaten bijrivieren (gemiddeld getij) - Figuur 57 t.e.m. Figuur 66), gemiddeld springtij (Bijlage 1B: Resultaten bijrivieren (gemiddeld springtij) - Figuur 67 t.e.m. Figuur 76) als gemiddeld doottij (Bijlage 1C: Resultaten bijrivieren (gemiddeld doottij) - Figuur 77 t.e.m. Figuur 86).

Daarnaast worden ook voor de belangrijkste getijposten het verloop van de stroomsnelheid (Bijlage B - Figuur 87 t.e.m. Figuur 106) en de debieten (Bijlage C - Figuur 107 t.e.m. Figuur 126) gepresenteerd.

5.1 Gemiddeld getij

5.1.1 Getijvoortplanting

Figuur 11 geeft de ogenblikkelijke verhanglijnen weer voor het Schelde-estuarium. Tijdstip $T = 0:00$ komt overeen met laagwater in Vlissingen. Vervolgens wordt met een interval van één uur de ogenblikkelijke verhanglijn langsheen het Schelde-estuarium voorgesteld.

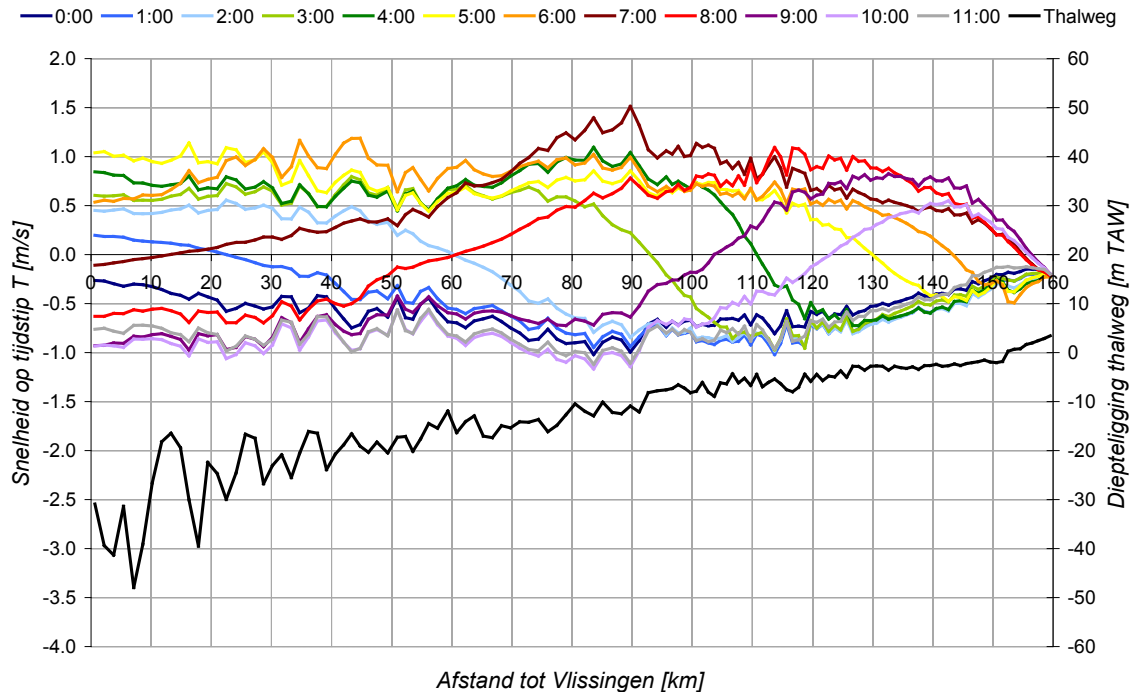


Figuur 11 – Ogenblikkelijke verhanglijnen langsheen het Schelde-estuarium

5.1.2 Stroomsnelheden

Ogenblikkelijke stroomsnelheden

Figuur 12 geeft de ogenblikkelijke snelheden weer voor het Schelde-estuarium. Tijdstip $T = 0:00$ komt overeen met laagwater in Vlissingen. Vervolgens wordt met een interval van één uur de ogenblikkelijke snelheid langsheen het Schelde-estuarium voorgesteld. Omwille van het grillig verloop langsheen het estuarium van de snelheid, is ervoor gekozen een ruimtelijk gemiddelde waarde te presenteren per 5 profielen.



Figuur 12 – Ogenblikkelijke stroomsnelheden langsheen het Schelde-estuarium

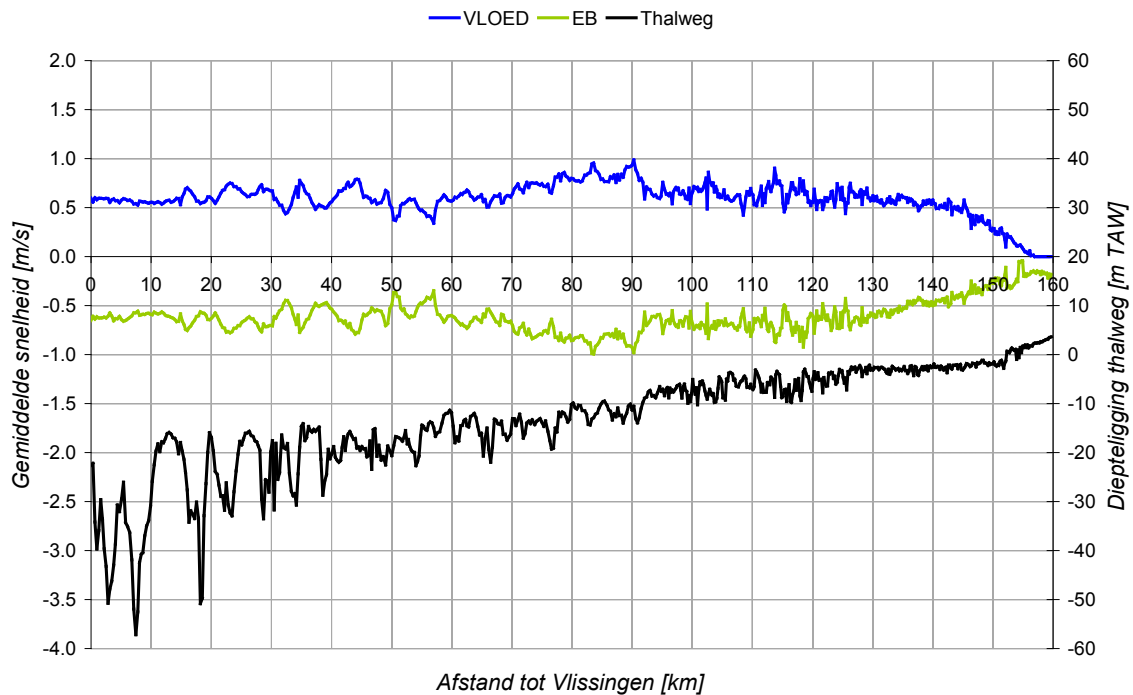
Gemiddelde stroomsnelheid

Figuur 13 geeft het verloop van de gemiddelde vloed- (positief) en eb (negatief) snelheid voor het gemiddeld getij weer langsheen het Schelde-estuarium. In de Westerschelde (KM 0 tot KM 55) vertoont zowel de gemiddelde vloed- als ebsnelheid een aanzienlijke variatie. De gemiddelde vloodsnelheid varieert 45 cm/s en 80 cm/s, terwijl de gemiddelde ebsnelheid varieert tussen 45 cm/s en 75 cm/s. Deze variaties zijn te wijten aan het meergeuldig karakter van de Westerschelde, waar de toepassing van de kubatuurberekening niet volledig gerechtvaardigd is.

In de Beneden Zeeschelde (KM 55 tot KM 90) neemt zowel de gemiddelde vloed- als ebsnelheid geleidelijk toe. De vloodsnelheid neemt toe van ca. 50 cm/s ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens tot ca. 100 cm/s te Schelle. Voor de ebsnelheid is deze toename gelijkaardig.

In het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde (KM 90 tot KM 130) schommelt zowel de gemiddelde vloed- als ebsnelheid rond 70 cm/s. In het meest opwaartse deel (opwaarts Schoonaarde, KM 130 tot KM 160) neemt de gemiddelde vloed- en ebsnelheid geleidelijk af. Ter hoogte van Gentbrugge is de stroming louter naar afwaarts, zodat hier geen vloed optreedt. De gemiddelde ebsnelheden in dit meest opwaartse deel schommelen rond 25 cm/s.

Tabel 8 geeft een meer uitgebreid overzicht van de gemiddelde vloed- en ebsnelheden voor de belangrijkste getijposten.



Figuur 13 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium

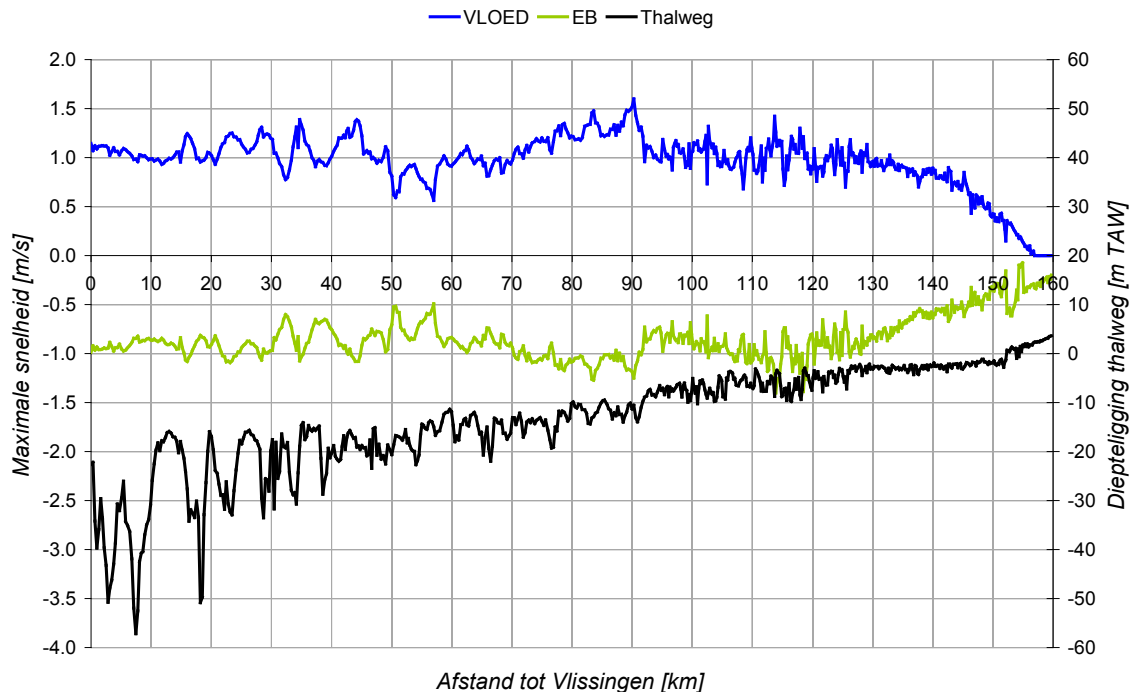
Maximale stroomsnelheid

Figuur 14 geeft het verloop van de maximale vloed- (positief) en eb (negatief) snelheid weer langsheen het Schelde-estuarium. Het patroon van de maximale stroomsnelheden is sterk gelijkaardig met dit van de gemiddelde stroomsnelheden, met dit verschil dat de absolute waarden groter zijn. In de Westerschelde varieert de maximale vloodsnelheid tussen 80 cm/s en 140 cm/s, terwijl de maximale ebsnelheid varieert tussen 70 cm/s en 110 cm/s.

In de Beneden Zeeschelde neemt zowel de maximale vloed- als ebsnelheid geleidelijk toe. De vloodsnelheid neemt toe van ca. 100 cm/s ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens tot ca. 150 cm/s te Schelle. Voor de ebsnelheid gaat deze toename van ca. 85 cm/s tot ca. 125 cm/s.

In het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde (KM 90 tot KM 130) schommelt de maximale vloodsnelheid rond 100 cm/s, terwijl dit bij de eb rond 90 cm/s is. In het meest opwaartse deel (opwaarts Schoonaarde, KM 130 tot KM 160) neemt de maximale vloed- en ebsnelheid geleidelijk af. Ter hoogte van Gentbrugge is de stroming louter naar afwaarts, zodat hier geen vloed optreedt. De maximale ebsnelheden in dit meest opwaartse deel schommelen rond 45 cm/s.

Tabel 8 geeft een meer uitgebreid overzicht van de maximale vloed- en ebsnelheden voor de belangrijkste getijposten.



Figuur 14 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium

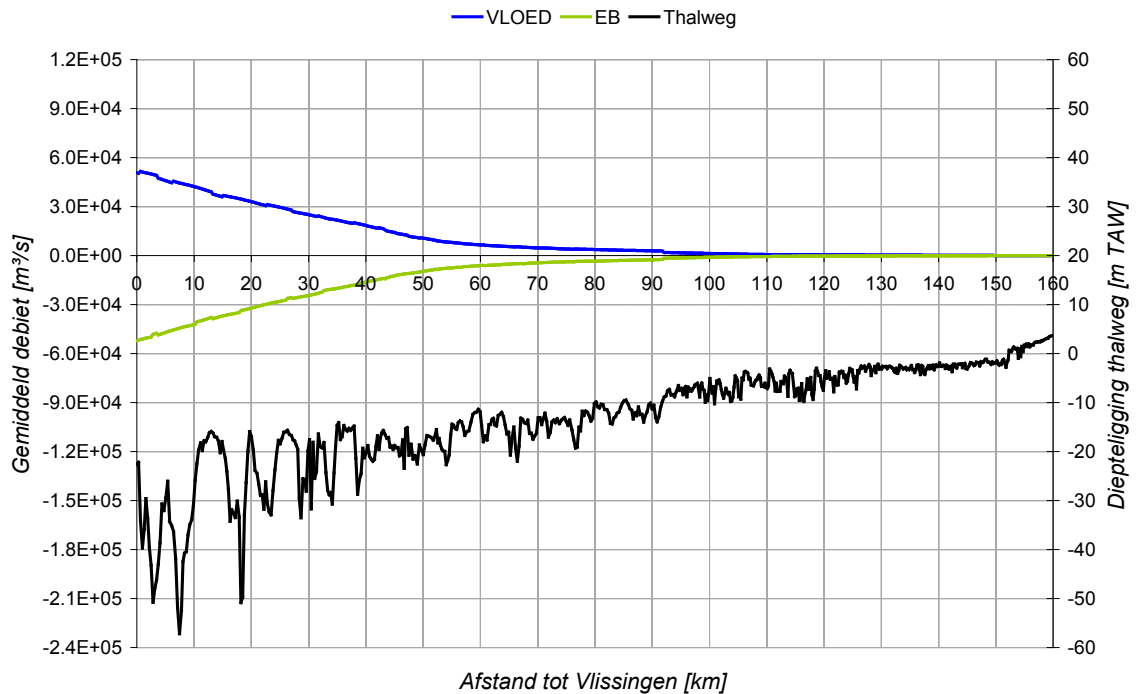
5.1.3 Debieten

Gemiddelde debieten

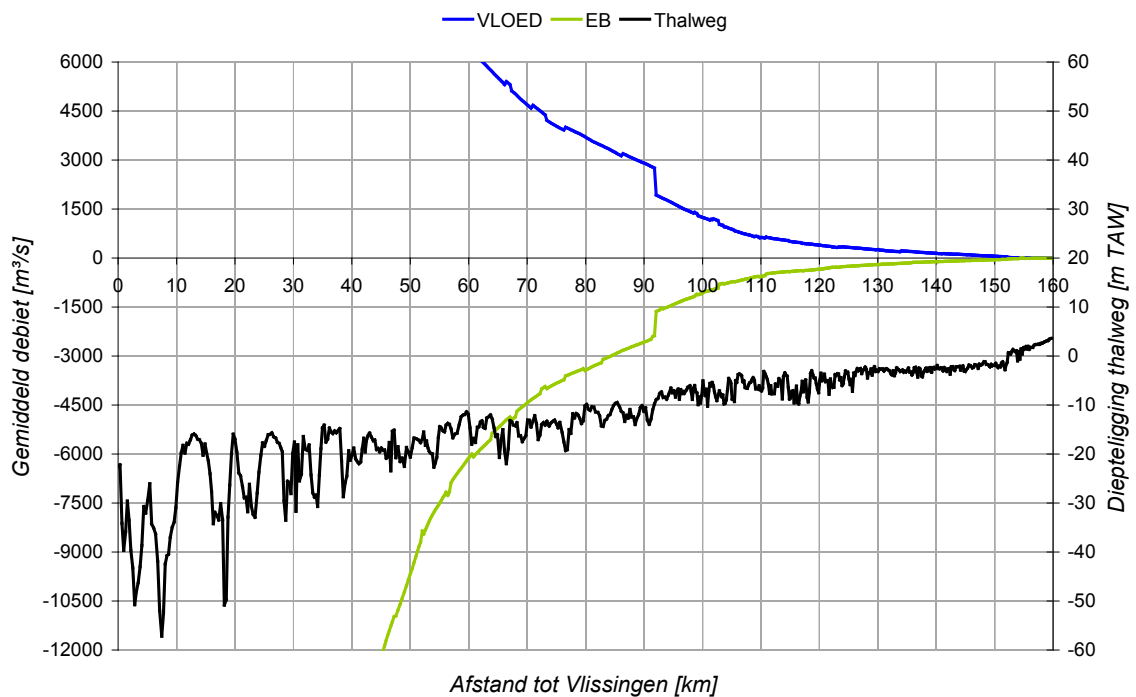
Figuur 15 en Figuur 16 geven het verloop van het gemiddeld debiet langsheen het Schelde-estuarium (tak Schelde). Door de trechtervorm van het estuarium waarbij de natte sectie geleidelijk afneemt, neemt het gemiddeld vloed- en ebdebiet geleidelijk af van ca. 50.000 m³/s ter hoogte van de monding, naar 7.600 m³/s ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens, naar ca. 2.500 m³/s in Schelle. Naarmate men meer opwaarts komt, ontstaat een verschil tussen het gemiddeld vloed- en ebdebiet. Ter hoogte van de grens bedraagt het gemiddeld vloeddebiet ca. 7.850 m³/s, het gemiddeld ebdebiet ca. 7.350 m³/s.

Waar de Rupel uitmondt in de Boven Zeeschelde treedt een sprong op in de gemiddelde debieten (Figuur 16). Voor het gemiddeld vloeddebiet bedraagt deze sprong ca. 850 m³/s, voor het gemiddeld ebdebiet 750 m³/s. Verder opwaarts neemt het gemiddeld debiet geleidelijk af, met ook ter hoogte van de monding van de Durme en de Dender (weliswaar beperkte) sprongen.

Tabel 8 geeft een meer uitgebreid overzicht van de gemiddelde vloed- en ebdebieten voor de belangrijkste getijposten.



Figuur 15 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium



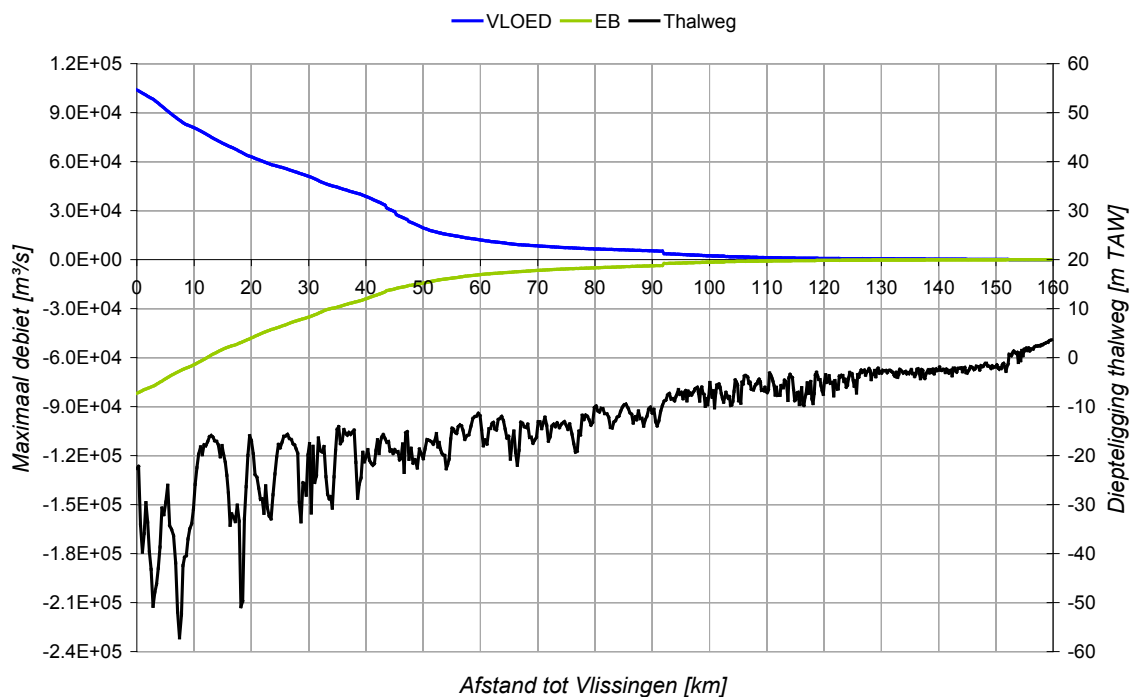
Figuur 16 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom)

Maximale debieten

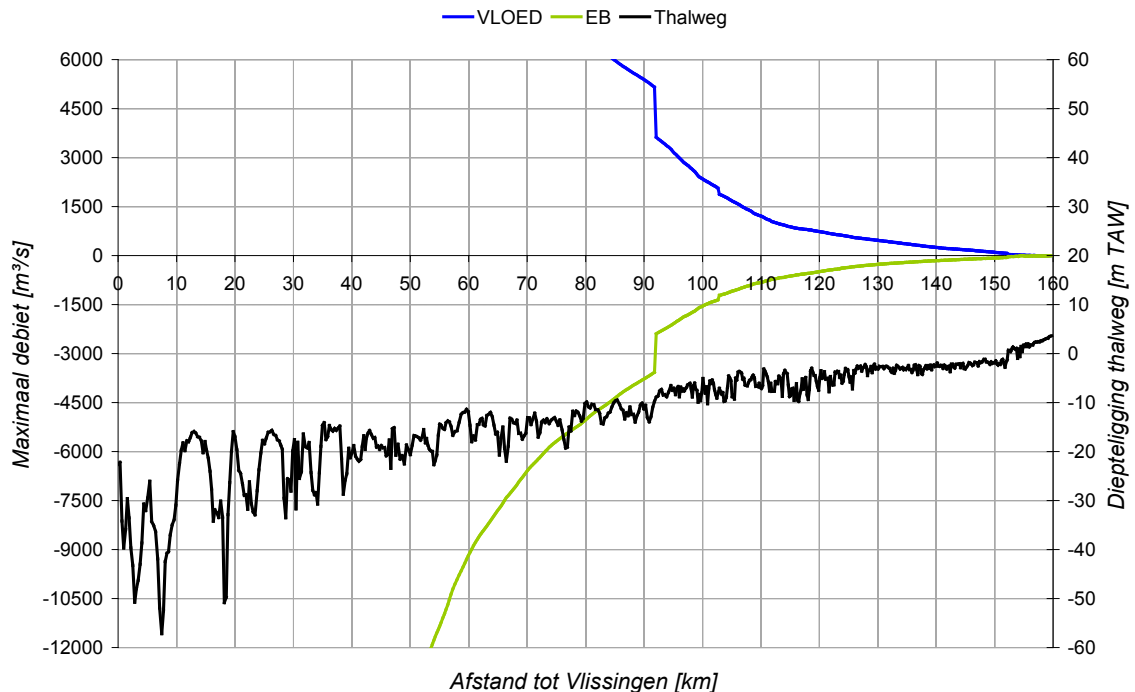
Het verloop langsheen het Schelde-estuarium (tak Schelde) van de maximale debieten (Figuur 17 en Figuur 18) is gelijkaardig aan dit van het gemiddeld debiet. Wel is er een duidelijk verschil tussen het vloed- en ebdebiet. Het maximale vloedebiet (ebdebiet) neemt geleidelijk af van ca. 100.000 m³/s (80.000 m³/s) ter hoogte van de monding, naar 14.400 m³/s (11.000 m³/s) ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens, naar ca. 5.100 m³/s (3.600 m³/s) in Schelle.

Waar de Rupel uitmondt in de Boven Zeeschelde treedt een sprong op in de gemiddelde debieten (Figuur 18). Voor het maximale vloedebiet bedraagt deze sprong ca. 1.600 m³/s, voor het maximale ebdebiet 1.250 m³/s. Verder opwaarts neemt het maximale debiet geleidelijk af, met ook ter hoogte van de monding van de Durme en de Dender (weliswaar beperkte) sprongen.

Tabel 8 geeft een meer uitgebreid overzicht van de maximale vloed- en ebdebieten voor de belangrijkste getijposten.



Figuur 17 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium



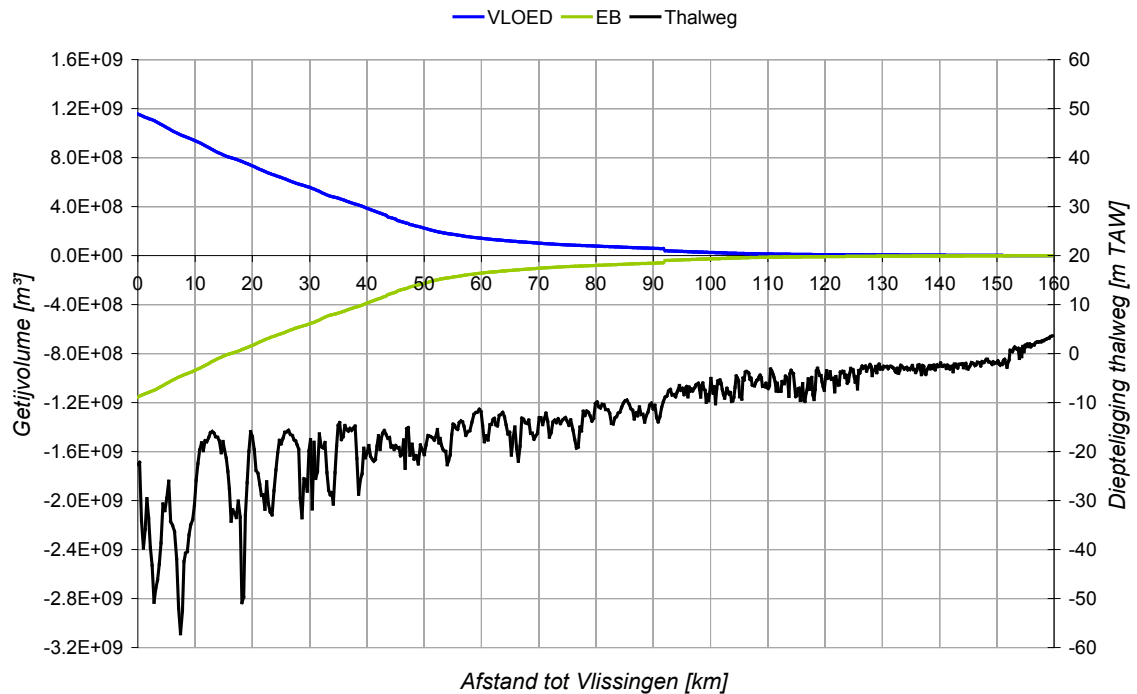
Figuur 18 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom)

5.1.4 Getijvolumes

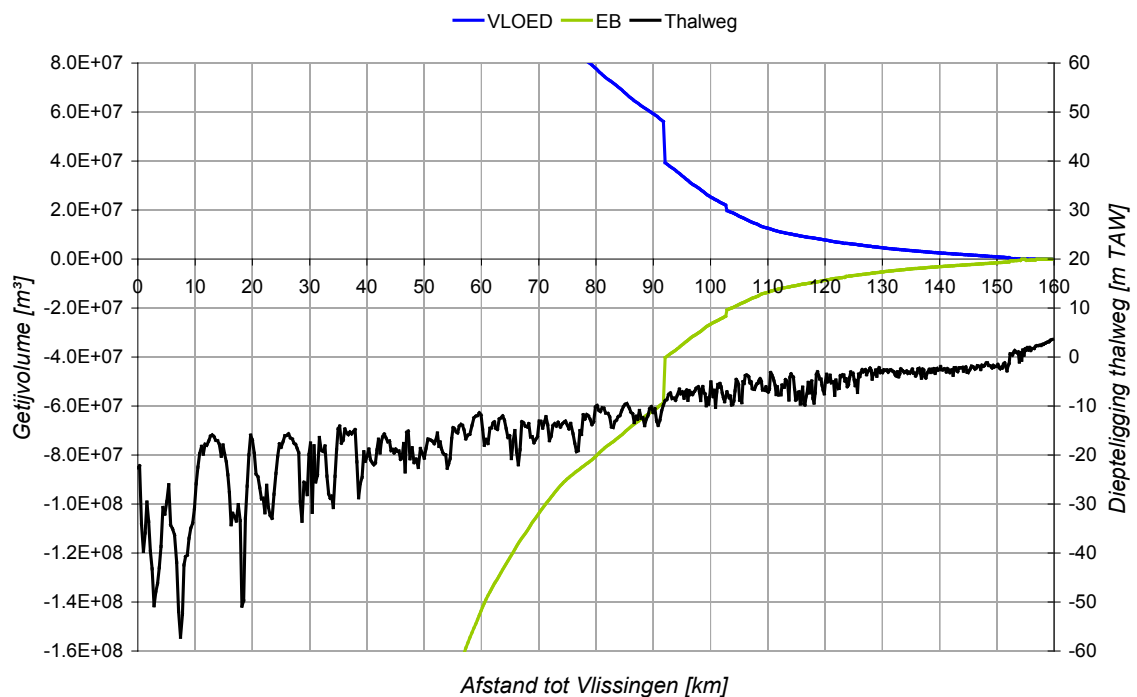
Figuur 19 en Figuur 20 geven het verloop van de vloed- en ebvolumes langsheen het Schelde-estuarium (tak Schelde). Ook hier treedt omwille van de trechtervorm van het estuarium een geleidelijke afname op naarmate men zich meer naar opwaarts begeeft. De volumes nemen geleidelijk af van ca. $1,16 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ter hoogte van de monding, naar $1,72 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens, naar ca. $5,61 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ in Schelle. Naarmate men meer opwaarts komt, ontstaat een verschil tussen het vloed- en ebvolume.

Waar de Rupel uitmondt in de Boven Zeeschelde treedt een sprong op in de volumes (Figuur 20). Voor het vloedvolume bedraagt deze sprong ca. $1,67 \cdot 10^7 \text{ m}^3$, voor het ebvolume $1,84 \cdot 10^7 \text{ m}^3$. Verder opwaarts nemen de volumes geleidelijk af, met ook ter hoogte van de monding van de Durme en de Dender (weliswaar beperkte) sprongen.

Tabel 8 geeft een meer uitgebreid overzicht van de vloed- en ebvolumes voor de belangrijkste getijposten.



Figuur 19 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium

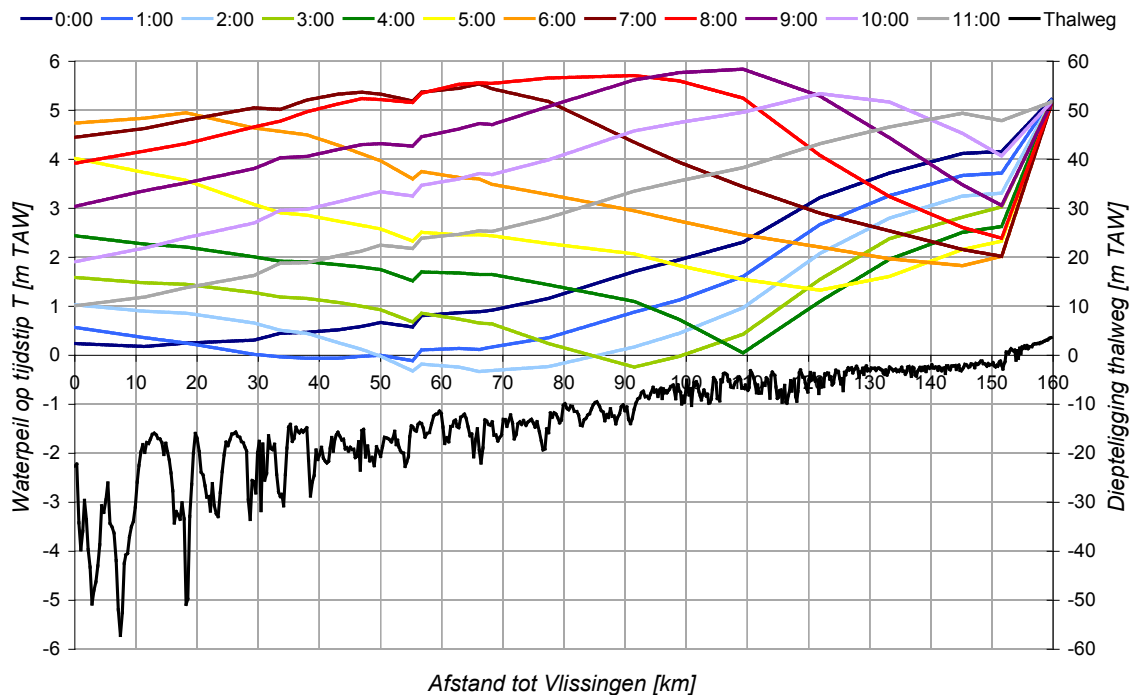


Figuur 20 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium (zoom)

5.2 Gemiddeld springtij

5.2.1 Getijvoortplanting

Figuur 11 geeft de ogenblikkelijke verhanglijnen weer voor het Schelde-estuarium. Tijdstip $T = 0:00$ komt overeen met hoogwater in Vlissingen. Vervolgens wordt met een interval van één uur de ogenblikkelijke verhanglijn langsheen het Schelde-estuarium voorgesteld.

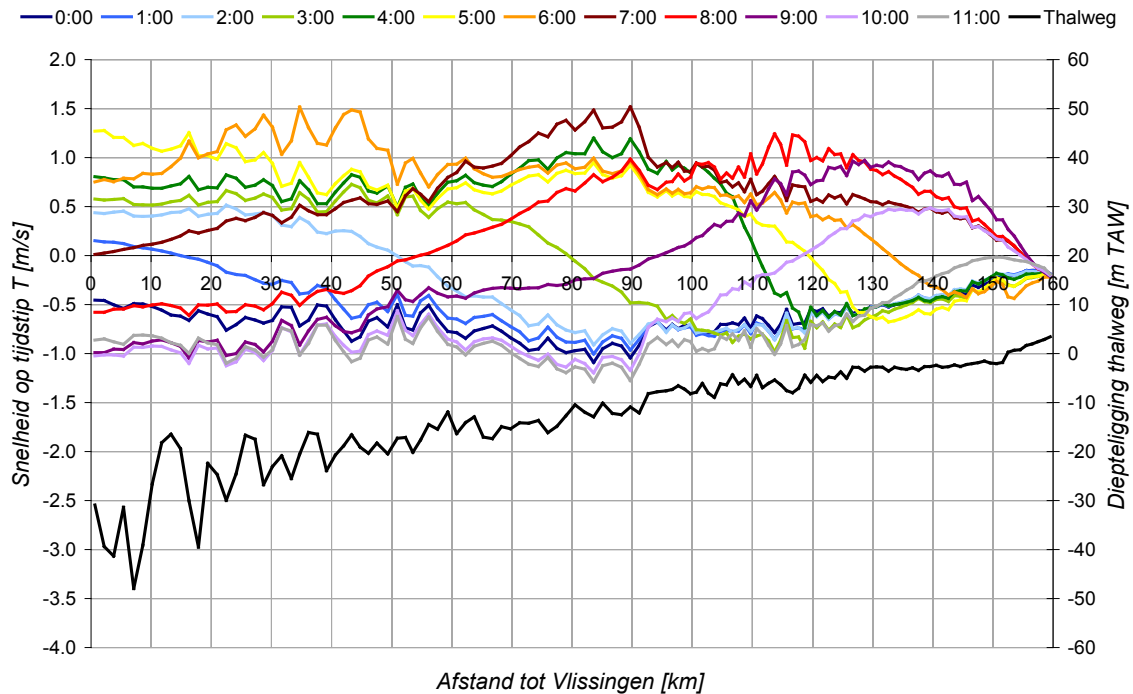


Figuur 21 – Ogenblikkelijke verhanglijnen langsheen het Schelde-estuarium

5.2.2 Stroomsnelheden

Ogenblikkelijke stroomsnelheden

Figuur 22 geeft de ogenblikkelijke snelheden weer voor het Schelde-estuarium. Tijdstip $T = 0:00$ komt overeen met laagwater in Vlissingen. Vervolgens wordt met een interval van één uur de ogenblikkelijke snelheid langsheen het Schelde-estuarium voorgesteld. Omwille van het grillig verloop langsheen het estuarium van de snelheid, is ervoor gekozen een ruimtelijk gemiddelde waarde te presenteren per 5 profielen.

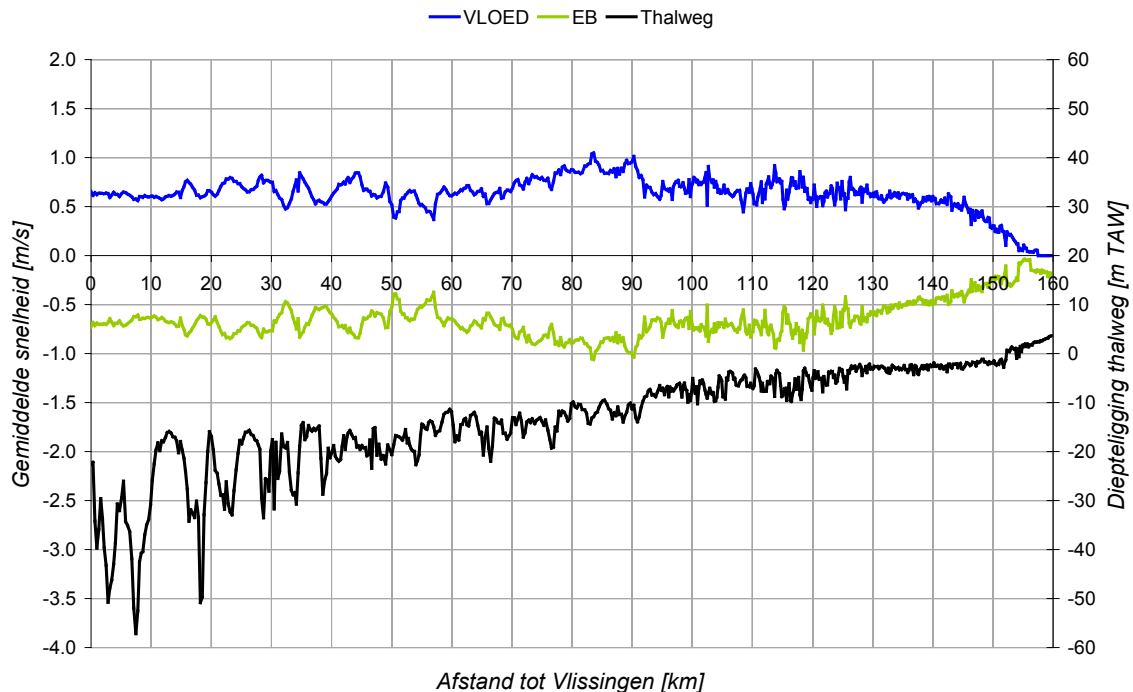


Figuur 22 – Ogenblikkelijke stroomsnelheden langs het Schelde-estuarium

Gemiddelde stroomsnelheid

Figuur 23 geeft het verloop van de gemiddelde vloed- (positief) en eb (negatief) snelheid voor het gemiddeld springtij weer langs het Schelde-estuarium. Dit verloop is gelijkaardig aan dit bij gemiddeld getij, met dit verschil dat de waarden systematisch hoger liggen. Tabel 9 geeft een meer uitgebreid overzicht van de gemiddelde vloed- en ebsnelheden voor de belangrijkste getijposten.

Tabel 10 geeft een overzicht van de relatieve toename van de verschillende parameters ten opzichte van het gemiddeld getij voor de verschillende deelgebieden. Voor de Westerschelde (KM 0 tot KM 55) bedraagt de relatieve toename van de gemiddelde vloodsnelheid $8,5 \pm 2,0\%$, voor de gemiddelde ebsnelheid is dit $9,0 \pm 1,7\%$. Voor de Beneden Zeeschelde (KM 55 tot KM 90) bedraagt de relatieve toename van de gemiddelde vloodsnelheid $7,0 \pm 2,5\%$, voor de gemiddelde ebsnelheid is dit $7,2 \pm 1,6\%$. Voor het afwaartse deel van de Boven Zeeschelde (KM 90 tot KM 123) bedraagt de relatieve toename van de gemiddelde vloodsnelheid $5,3 \pm 3,0\%$, voor de gemiddelde ebsnelheid is dit $4,9 \pm 2,7\%$. Voor de Rupel en de Beneden Nete (KM 0 tot KM 23) bedraagt de relatieve toename van de gemiddelde vloodsnelheid $5,8 \pm 4,1\%$, voor de gemiddelde ebsnelheid is dit $4,5 \pm 14,4\%$.



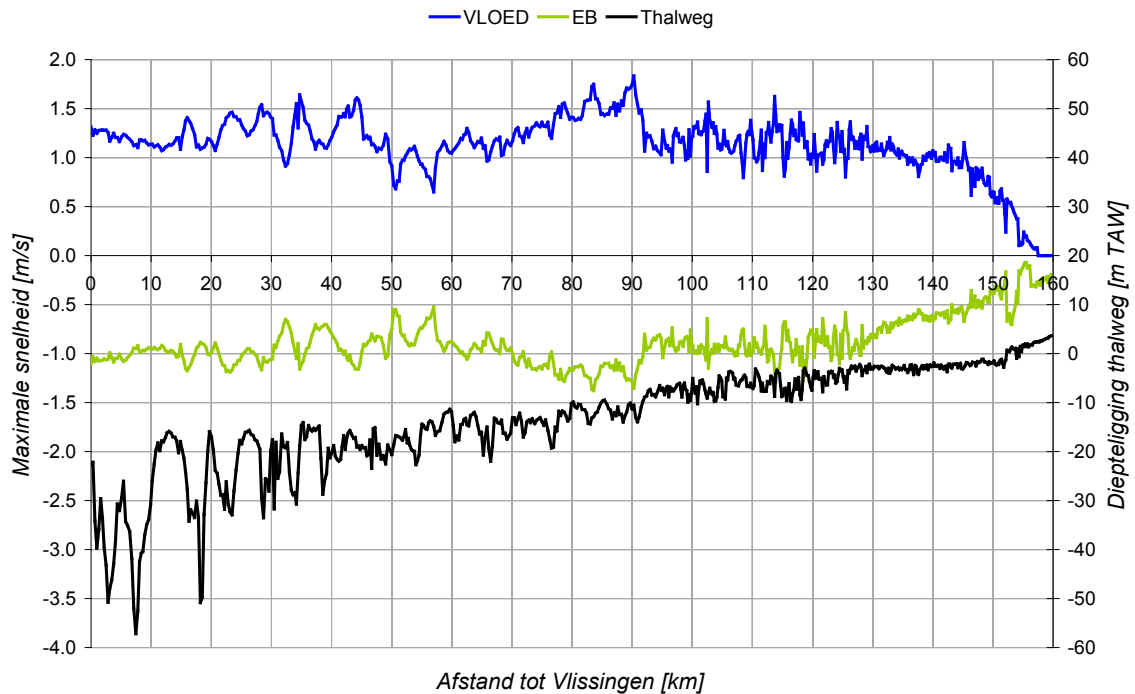
Figuur 23 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium

Maximale stroomsnelheid

Figuur 24 geeft het verloop van de maximale vloed- (positief) en eb (negatief) snelheid voor het gemiddeld springtij weer langsheen het Schelde-estuarium. Dit verloop is gelijkaardig aan dit bij gemiddeld getij, met dit verschil dat de waarden systematisch hoger liggen. Tabel 9 geeft een meer uitgebreid overzicht van de maximale vloed- en ebsnelheden voor de belangrijkste getijposten.

Tabel 10 geeft een overzicht van de relatieve toename van de verschillende parameters ten opzichte van het gemiddeld getij voor de verschillende deelgebieden. Voor de Westerschelde (KM 0 tot KM 55) bedraagt de relatieve toename van de maximale vloodsnelheid $16,1 \pm 2,2\%$, voor de maximale ebsnelheid is dit $8,5 \pm 1,8\%$. Voor de Beneden Zeeschelde (KM 55 tot KM 90) bedraagt de relatieve toename van de maximale vloodsnelheid $16,7 \pm 2,2\%$, voor de maximale ebsnelheid is dit $7,5 \pm 1,6\%$. Voor het afwaartse deel van de Boven Zeeschelde (KM 90 tot KM 123) bedraagt de relatieve toename van de maximale vloodsnelheid $14,0 \pm 3,1\%$, voor de maximale ebsnelheid is er een zeer beperkte afname met een grote standaardafwijking $-0,8 \pm 7,1\%$. Voor de Rupel en de Beneden Nete (KM 0 tot KM 23) bedraagt de relatieve toename van de maximale vloodsnelheid $14,9 \pm 5,2\%$, voor de maximale ebsnelheid is dit $5,2 \pm 9,1\%$.

De toename in maximale vloodsnelheid is aanzienlijk hoger dan de toename in maximale ebsnelheid. Dit heeft te maken met het verschil in karakteristieke verloop van de snelheid bij vloed en bij eb: de maximale vloodsnelheid is een echte piek die wordt bereikt ongeveer één uur voor hoogwater; de maximale ebsnelheid wordt bereikt 2 à 3 uur na hoogwater waarbij de ebsnelheid een meer geleidelijk verloop kent, zonder piek.

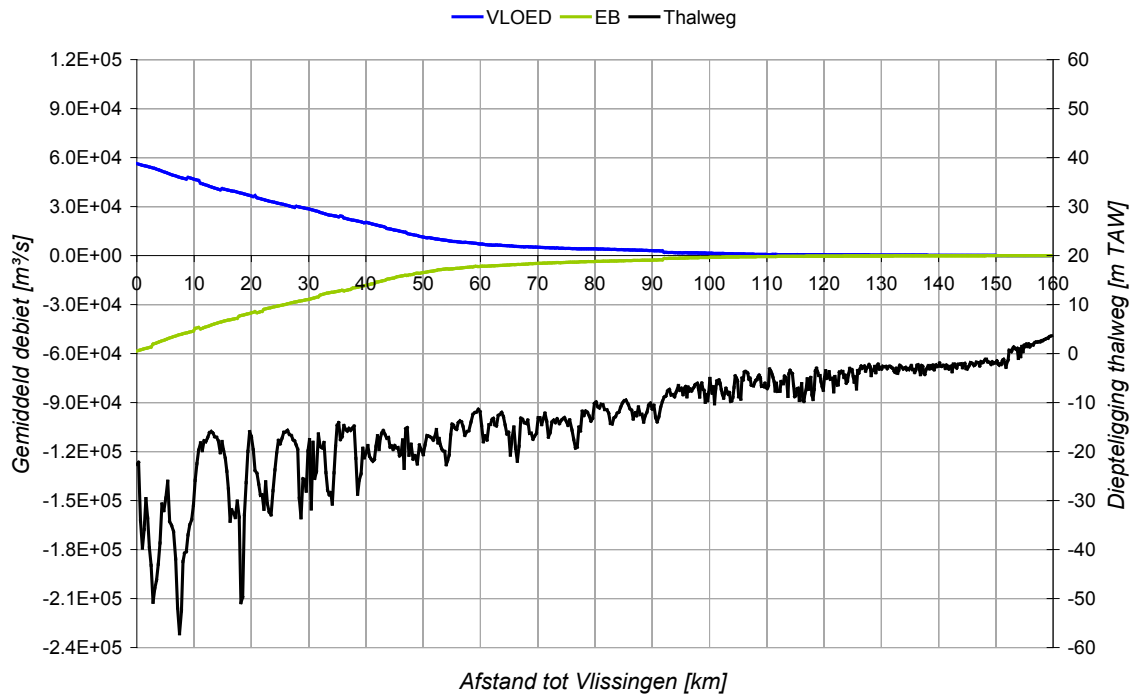


Figuur 24 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium

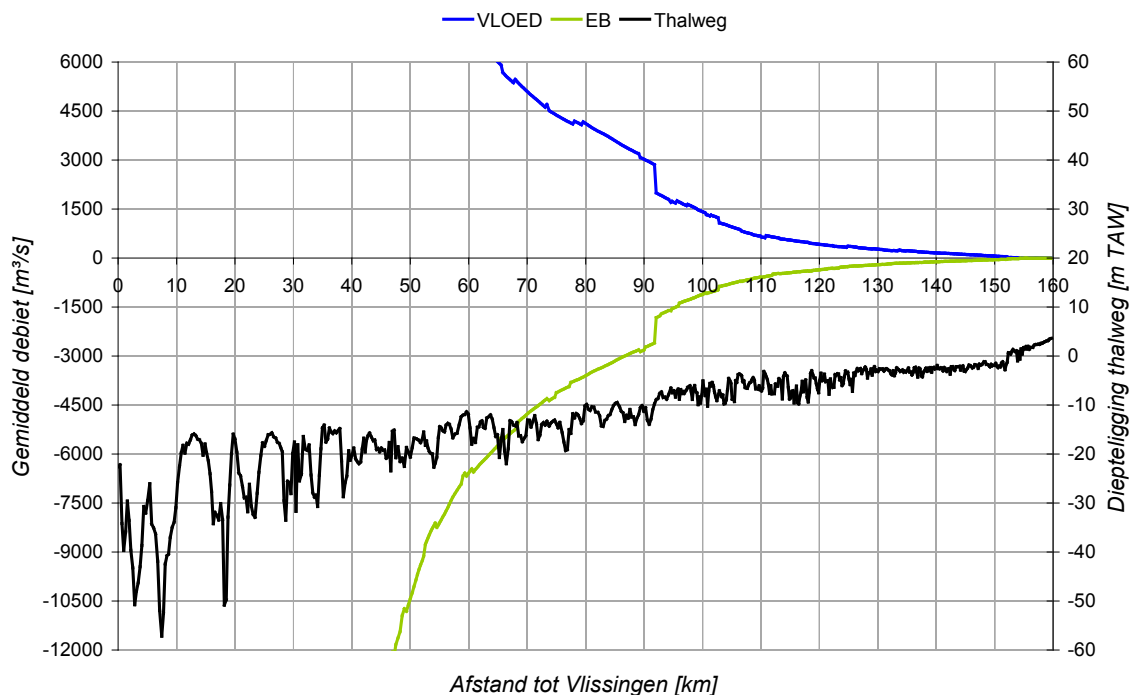
5.2.3 Debieten

Gemiddelde debieten

Figuur 25 en Figuur 26 geven het verloop van de gemiddelde vloed- (positief) en eb (negatief) debieten voor het gemiddeld springtij weer langsheen het Schelde-estuarium. Dit verloop is gelijkaardig aan dit bij gemiddeld getij, met dit verschil dat de waarden systematisch hoger liggen. Tabel 9 geeft een meer uitgebreid overzicht van de gemiddelde vloed- en ebdebieten voor de belangrijkste getijposten. Tabel 10 geeft een overzicht van de relatieve toename van de verschillende parameters ten opzichte van het gemiddeld getij voor de verschillende deelgebieden.



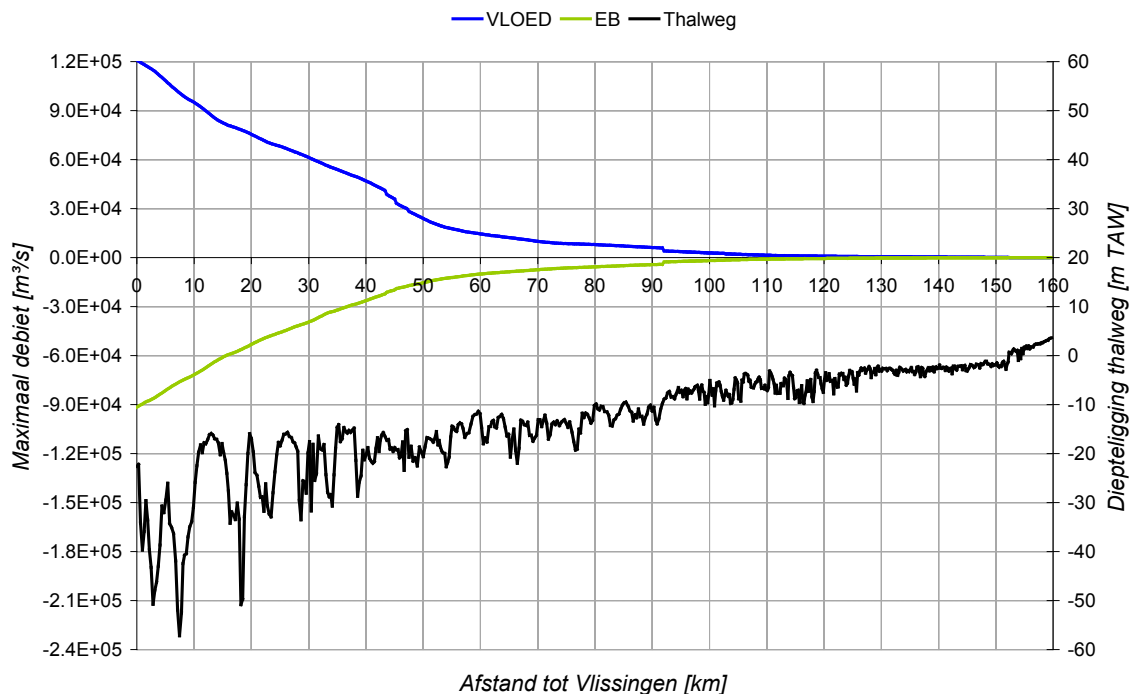
Figuur 25 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium



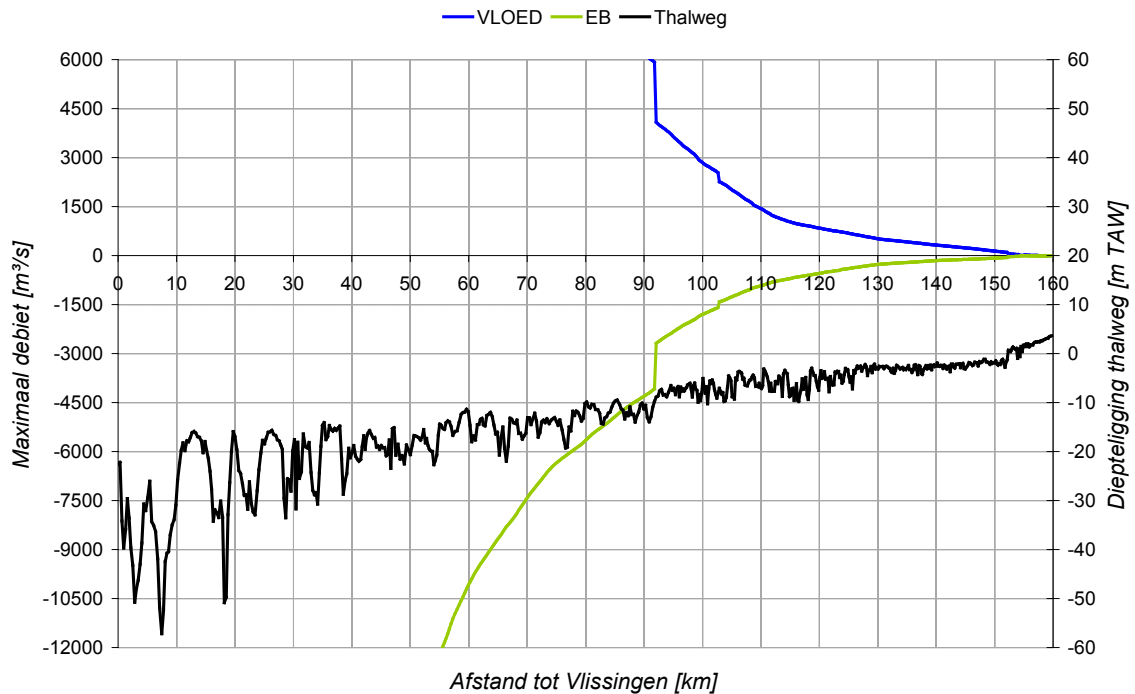
Figuur 26 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom)

Maximale debieten

Figuur 27 en Figuur 28 geven het verloop van de maximale vloed- (positief) en eb (negatief) debieten voor het gemiddeld springtij weer langsheen het Schelde-estuarium. Dit verloop is gelijkaardig aan dit bij gemiddeld getij, met dit verschil dat de waarden systematisch hoger liggen. Tabel 9 geeft een meer uitgebreid overzicht van de maximale vloed- en ebdebieten voor de belangrijkste getijposten. Tabel 10 geeft een overzicht van de relatieve toename van de verschillende parameters ten opzichte van het gemiddeld getij voor de verschillende deelgebieden.



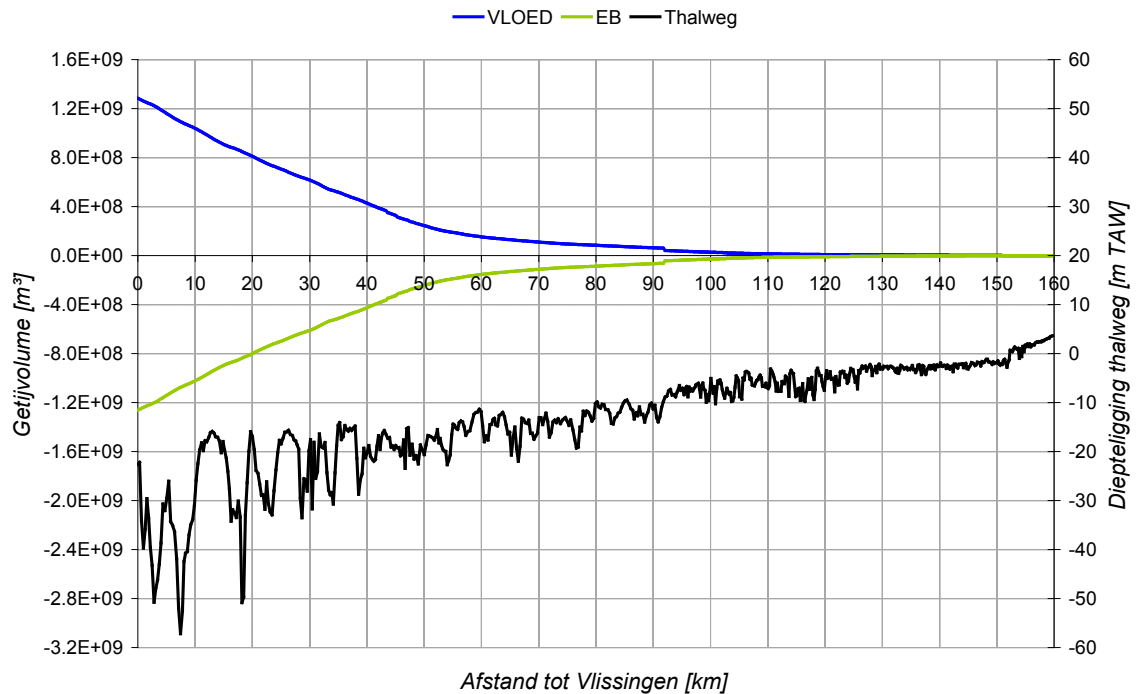
Figuur 27 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium



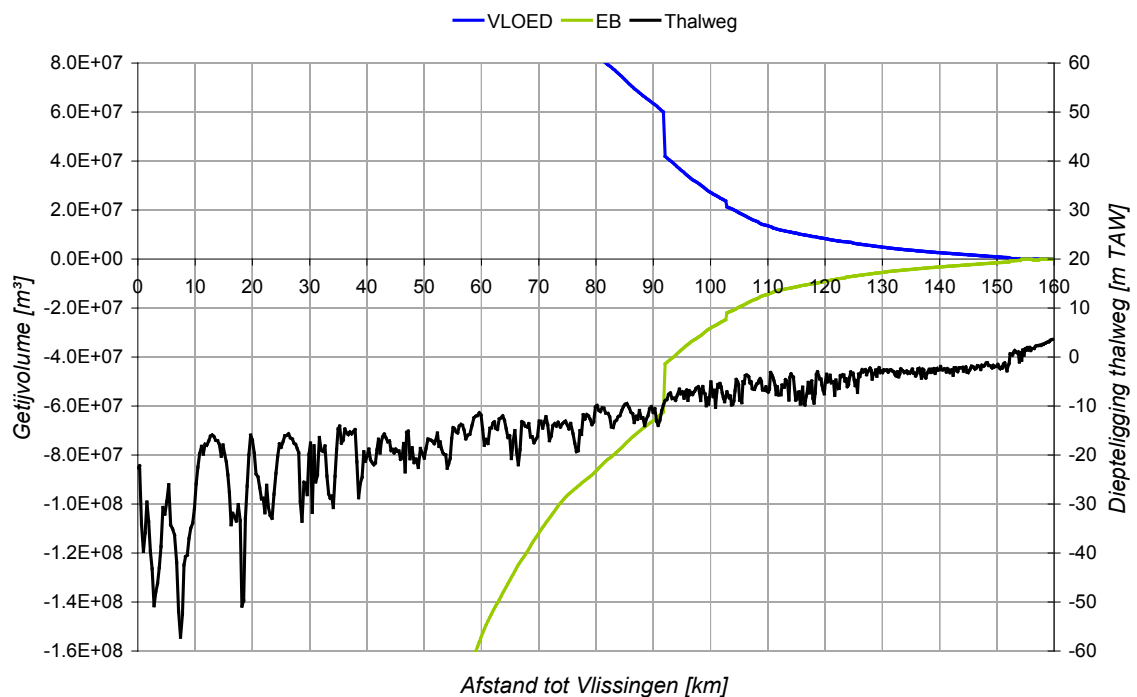
Figuur 28 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom)

5.2.4 Getijvolumes

Figuur 29 en Figuur 30 geven het verloop van de vloed- (positief) en eb (negatief) volumes voor het gemiddeld springtij weer langsheen het Schelde-estuarium. Dit verloop is gelijkaardig aan dit bij gemiddeld getij, met dit verschil dat de waarden systematisch hoger liggen. Tabel 9 geeft een meer uitgebreid overzicht van de maximale vloed- en ebvolumes voor de belangrijkste getijposten. Tabel 10 geeft een overzicht van de relatieve toename van de verschillende parameters ten opzichte van het gemiddeld getij voor de verschillende deelgebieden.



Figuur 29 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium

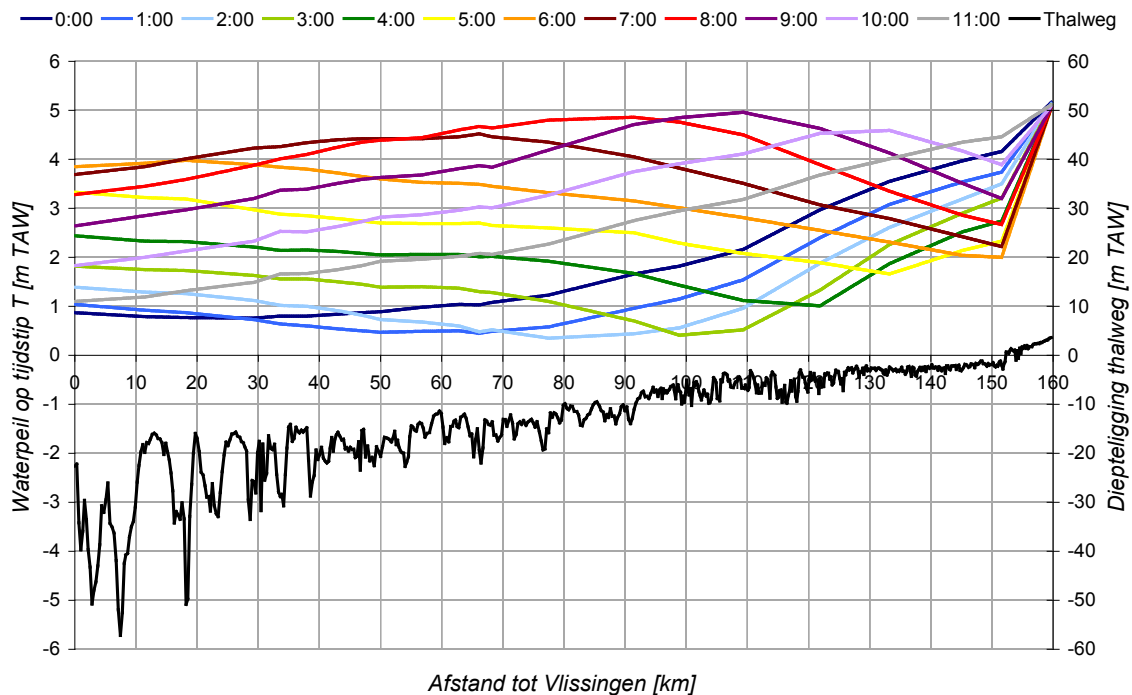


Figuur 30 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium (zoom)

5.3 Gemiddeld doottij

5.3.1 Getijvoortplanting

Figuur 31 geeft de ogenblikkelijke verhanglijnen weer voor het Schelde-estuarium. Tijdstip $T = 0:00$ komt overeen met hoogwater in Vlissingen. Vervolgens wordt met een interval van één uur de ogenblikkelijke verhanglijn langsheen het Schelde-estuarium voorgesteld.

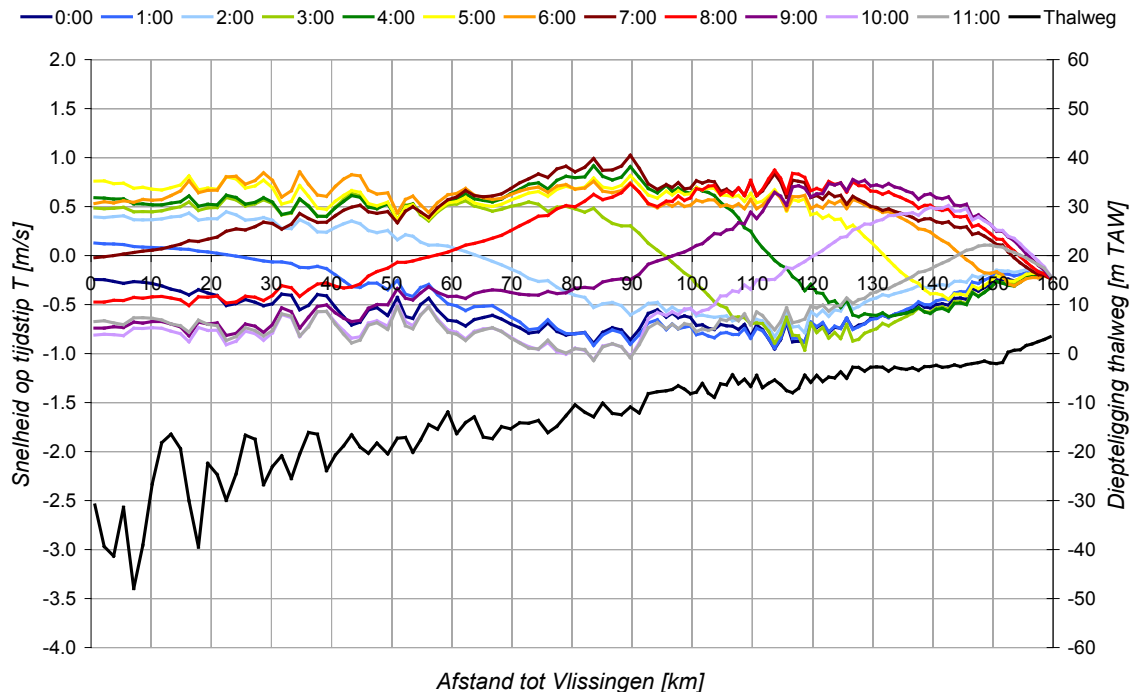


Figuur 31 – Ogenblikkelijke verhanglijnen langsheen het Schelde-estuarium

5.3.2 Stroomsnelheden

Ogenblikkelijke stroomsnelheden

Figuur 32 geeft de ogenblikkelijke snelheden weer voor het Schelde-estuarium. Tijdstip $T = 0:00$ komt overeen met laagwater in Vlissingen. Vervolgens wordt met een interval van één uur de ogenblikkelijke snelheid langsheen het Schelde-estuarium voorgesteld. Omwille van het grillig verloop langsheen het estuarium van de snelheid, is ervoor gekozen een ruimtelijk gemiddelde waarde te presenteren per 5 profielen.



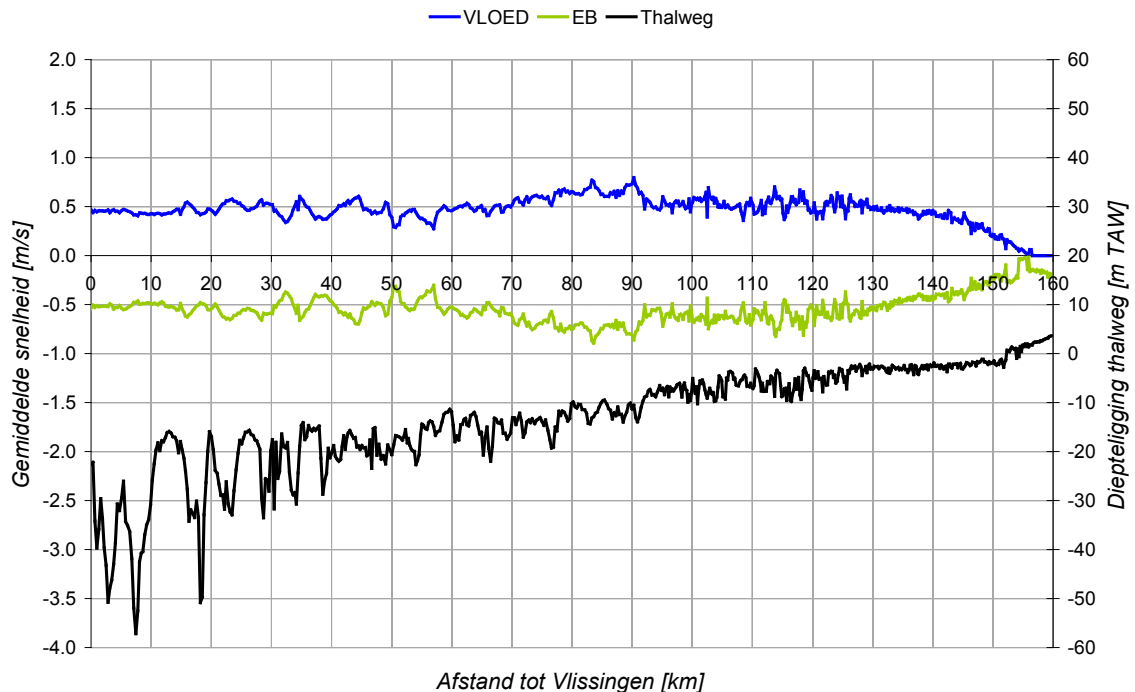
Figuur 32 – Ogenblikkelijke stroomsnelheden langs het Schelde-estuarium

Gemiddelde stroomsnelheid

Figuur 33 geeft het verloop van de gemiddelde vloed- (positief) en eb (negatief) snelheid voor het gemiddeld doortij weer langs het Schelde-estuarium. Dit verloop is gelijkaardig aan dat bij gemiddeld getij, met dit verschil dat de waarden systematisch lager liggen. Tabel 11 geeft een meer uitgebreid overzicht van de gemiddelde vloed- en ebsnelheden voor de belangrijkste getijposten.

Tabel 12 geeft een overzicht van de relatieve afname van de verschillende parameters ten opzichte van het gemiddeld getij voor de verschillende deelgebieden. Voor de Westerschelde (KM 0 tot KM 55) bedraagt de relatieve afname van de gemiddelde vloodsnelheid $-22,6 \pm 1,5\%$, voor de gemiddelde ebsnelheid is dit $-14,3 \pm 2,4\%$. Voor de Beneden Zeeschelde (KM 55 tot KM 90) bedraagt de relatieve afname van de gemiddelde vloodsnelheid $-19,9 \pm 1,3\%$, voor de gemiddelde ebsnelheid is dit $-11,6 \pm 1,6\%$. Voor het afwaartse deel van de Boven Zeeschelde (KM 90 tot KM 123) bedraagt de relatieve afname van de gemiddelde vloodsnelheid $-18,7 \pm 2,6\%$, voor de gemiddelde ebsnelheid is dit $-9,1 \pm 2,3\%$. Voor de Rupel en de Beneden Nete (KM 0 tot KM 23) bedraagt de relatieve afname van de gemiddelde vloodsnelheid $-19,5 \pm 3,3\%$, voor de gemiddelde ebsnelheid is dit $-6,8 \pm 13,4\%$.

De relatieve verandering (afname) van zowel de gemiddelde vloed- als ebsnelheid voor het gemiddeld doortij (respectievelijk ca. -20% en -10%) is aanzienlijk hoger dan de relatieve verandering (toename) voor het gemiddeld springtij (respectievelijk ca. $7,5\%$ en 5%).



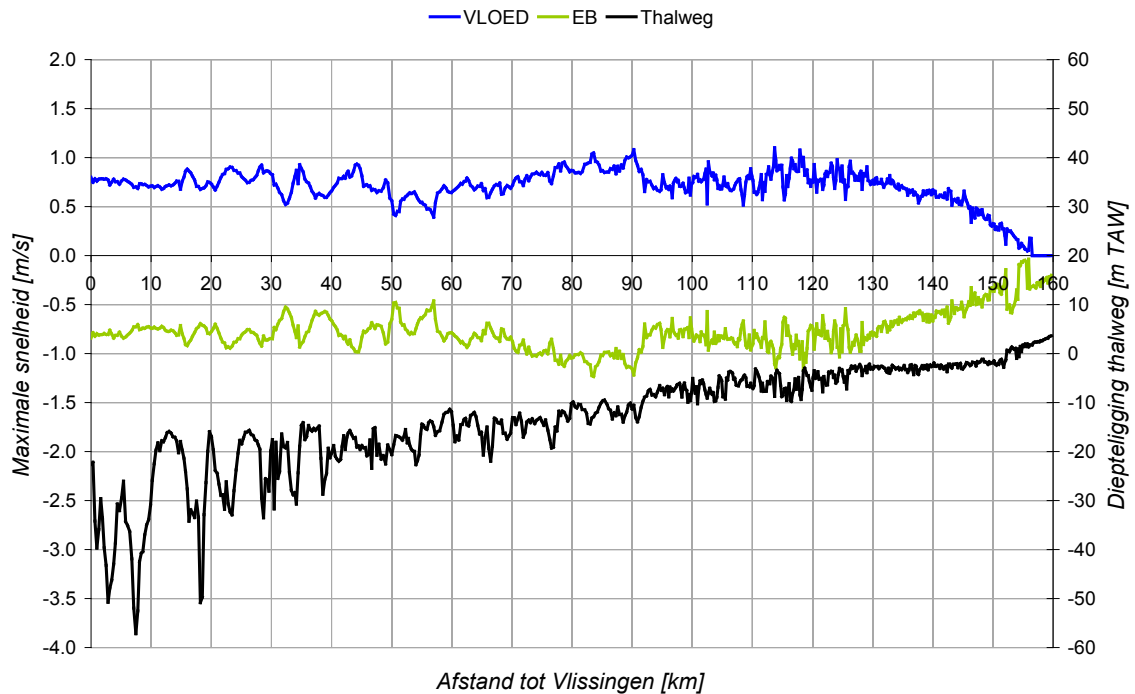
Figuur 33 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium

Maximale stroomsnelheid

Figuur 34 geeft het verloop van de maximale vloed- (positief) en eb (negatief) snelheid voor het gemiddeld doottij weer langsheen het Schelde-estuarium. Dit verloop is gelijkaardig aan dit bij gemiddeld getij, met dit verschil dat de waarden systematisch lager liggen. Tabel 11 geeft een meer uitgebreid overzicht van de maximale vloed- en ebsnelheden voor de belangrijkste getijposten.

Tabel 12 geeft een overzicht van de relatieve afname van de verschillende parameters ten opzichte van het gemiddeld getij voor de verschillende deelgebieden. Voor de Westerschelde (KM 0 tot KM 55) bedraagt de relatieve afname van de maximale vloodsnelheid $-30,6 \pm 2,3\%$, voor de maximale ebsnelheid is dit $-12,3 \pm 2,7\%$. Voor de Beneden Zeeschelde (KM 55 tot KM 90) bedraagt de relatieve afname van de maximale vloodsnelheid $-29,2 \pm 1,1\%$, voor de maximale ebsnelheid is dit $-4,8 \pm 1,6\%$. Voor het afwaartse deel van de Boven Zeeschelde (KM 90 tot KM 123) bedraagt de relatieve afname van de maximale vloodsnelheid $-24,8 \pm 5,5\%$, voor de maximale ebsnelheid is dit $-10,8 \pm 4,2\%$. Voor de Rupel en de Beneden Nete (KM 0 tot KM 23) bedraagt de relatieve afname van de maximale vloodsnelheid $-25,0 \pm 5,0\%$, voor de maximale ebsnelheid is dit $-5,5 \pm 9,0\%$.

De relatieve verandering (afname) van voornamelijk de maximale vloodsnelheid (in mindere mate de maximale ebsnelheid) voor het gemiddeld doottij (respectievelijk ca. -30% en -10%) is aanzienlijk hoger dan de relatieve verandering (toename) voor het gemiddeld springtij (respectievelijk ca. 15% en 6%).

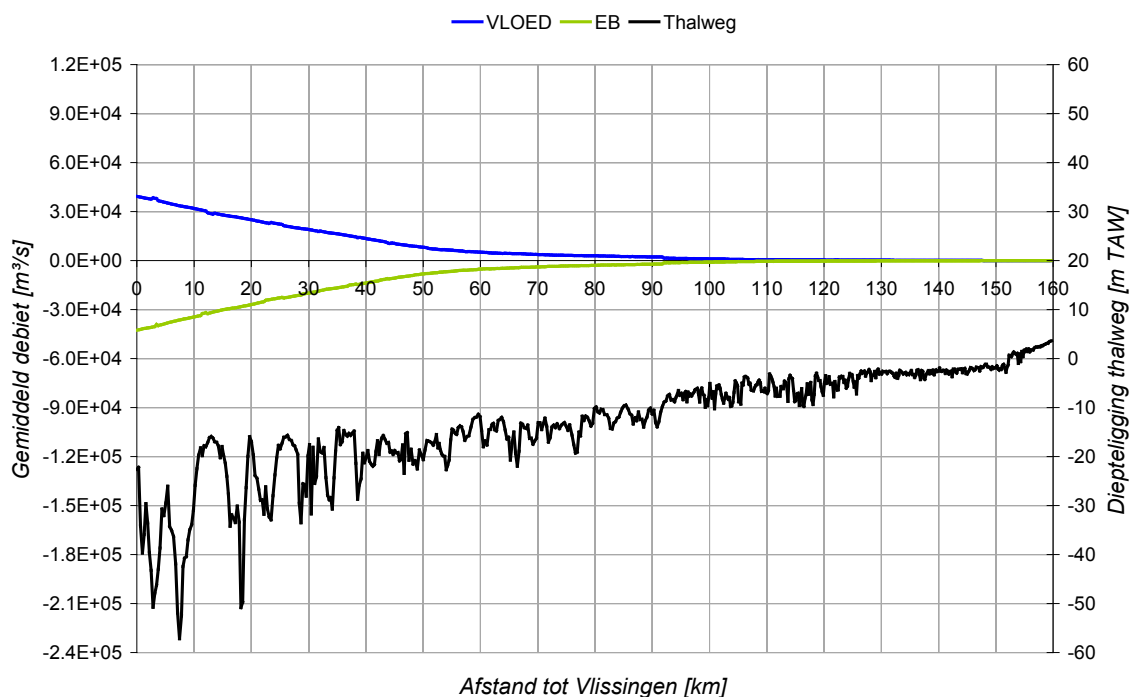


Figuur 34 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen het Schelde-estuarium

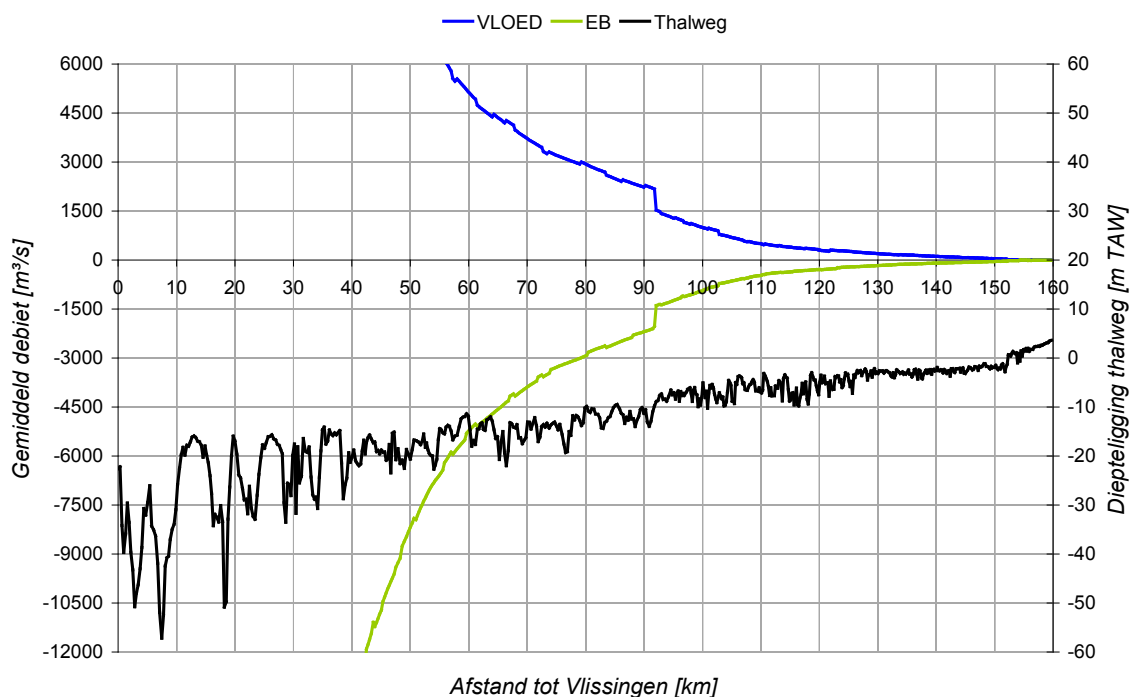
5.3.3 Debieten

Gemiddelde debieten

Figuur 35 en Figuur 36 geven het verloop van de gemiddelde vloed- (positief) en eb (negatief) debieten voor het gemiddeld doottij weer langsheen het Schelde-estuarium. Dit verloop is gelijkaardig aan dit bij gemiddeld getij, met dit verschil dat de waarden systematisch lager liggen. Tabel 11 geeft een meer uitgebreid overzicht van de gemiddelde vloed- en ebdebieten voor de belangrijkste getijposten. Tabel 12 geeft een overzicht van de relatieve afname van de verschillende parameters ten opzichte van het gemiddeld getij voor de verschillende deelgebieden.



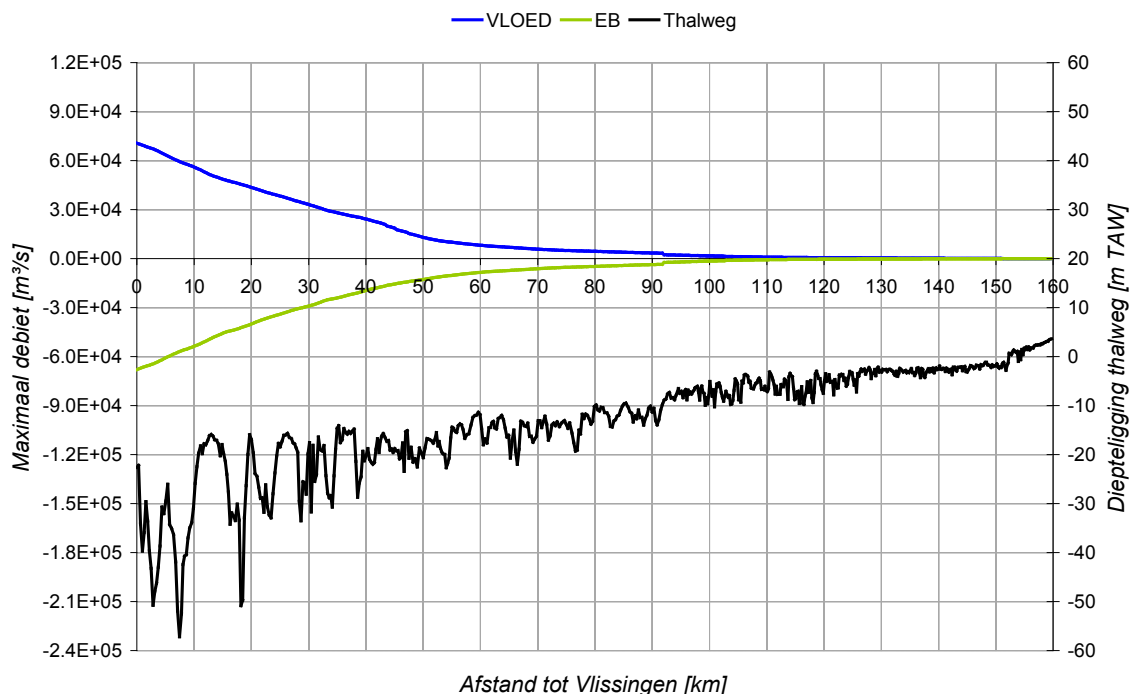
Figuur 35 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium



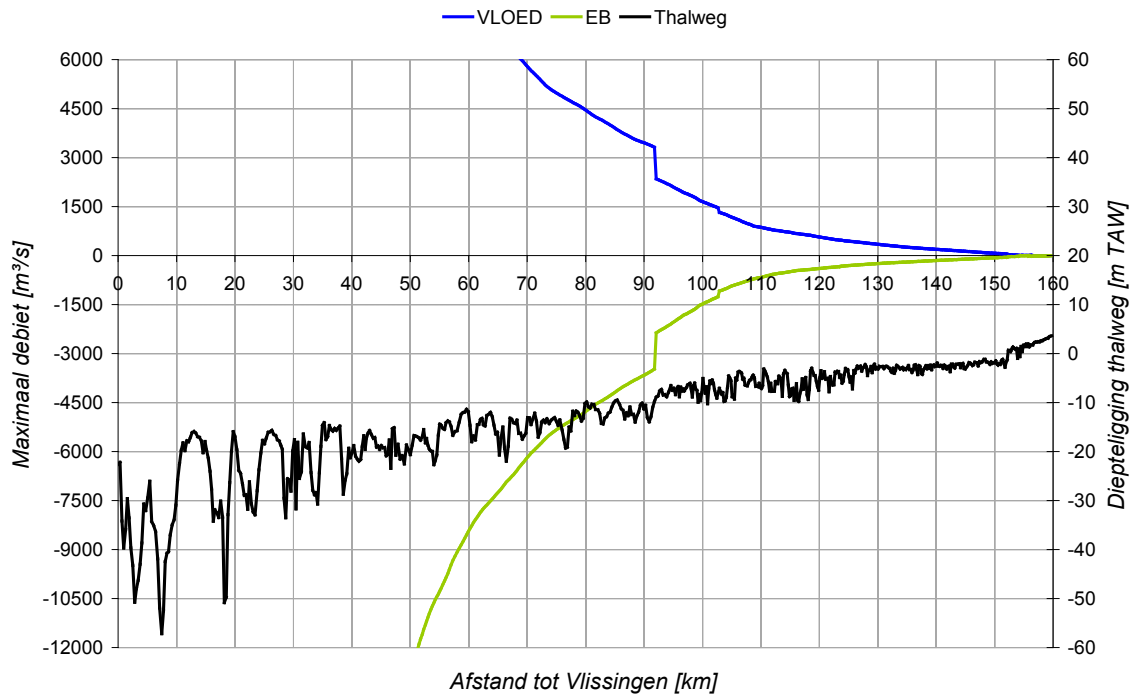
Figuur 36 – Verloop van het gemiddelde vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom)

Maximale debieten

Figuur 37 en Figuur 38 geven het verloop van de maximale vloed- (positief) en eb (negatief) debieten voor het gemiddeld doottij weer langsheen het Schelde-estuarium. Dit verloop is gelijkaardig aan dit bij gemiddeld getij, met dit verschil dat de waarden systematisch lager liggen. Tabel 11 geeft een meer uitgebreid overzicht van de maximale vloed- en ebdebieten voor de belangrijkste getijposten. Tabel 12 geeft een overzicht van de relatieve afname van de verschillende parameters ten opzichte van het gemiddeld getij voor de verschillende deelgebieden.



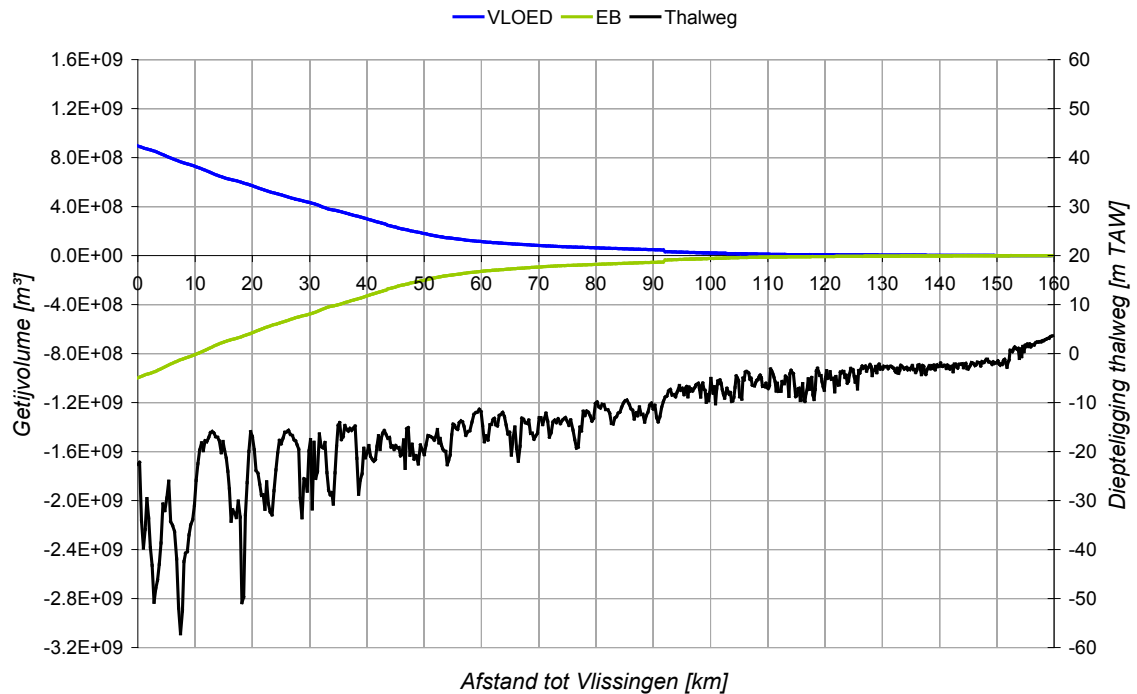
Figuur 37 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium



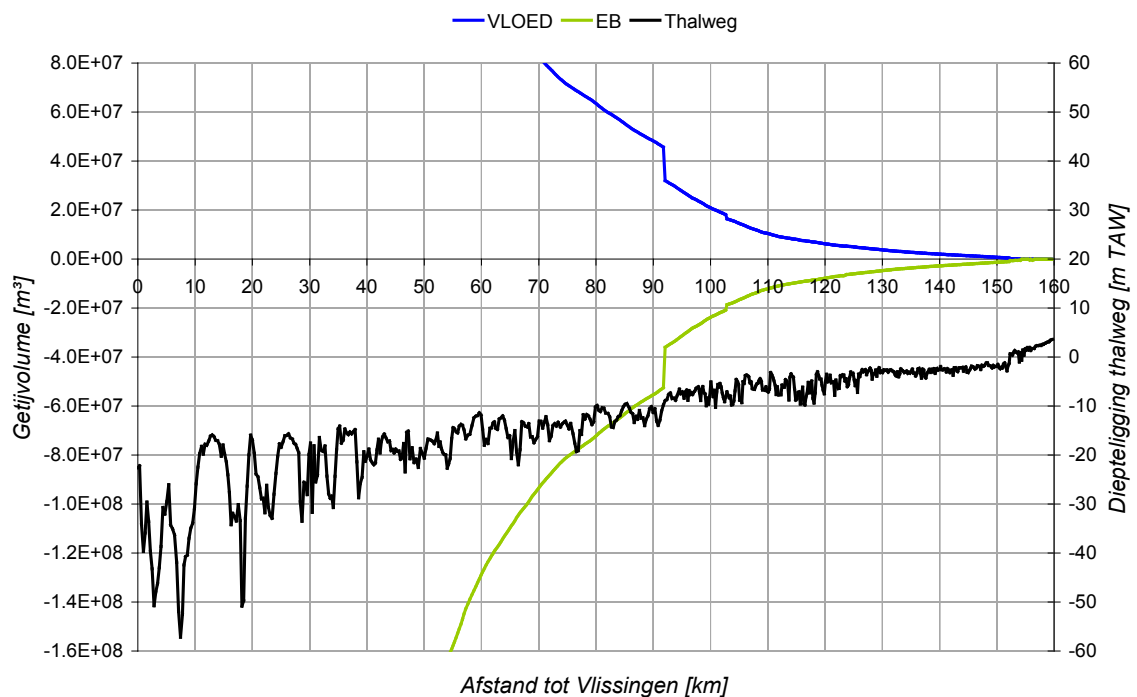
Figuur 38 – Verloop van het maximale vloed- (+) en eb (-) debiet langsheen het Schelde-estuarium (zoom)

5.3.4 Getijvolumes

Figuur 39 en Figuur 40 geven het verloop van de vloed- (positief) en eb (negatief) volumes voor het gemiddeld doottijd weer langsheen het Schelde-estuarium. Dit verloop is gelijkaardig aan dit bij gemiddeld getij, met dit verschil dat de waarden systematisch lager liggen. Tabel 11 geeft een meer uitgebreid overzicht van de vloed- en ebvolumes voor de belangrijkste getijposten. Tabel 12 geeft een overzicht van de relatieve afname van de verschillende parameters ten opzichte van het gemiddeld getij voor de verschillende deelgebieden.



Figuur 39 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium



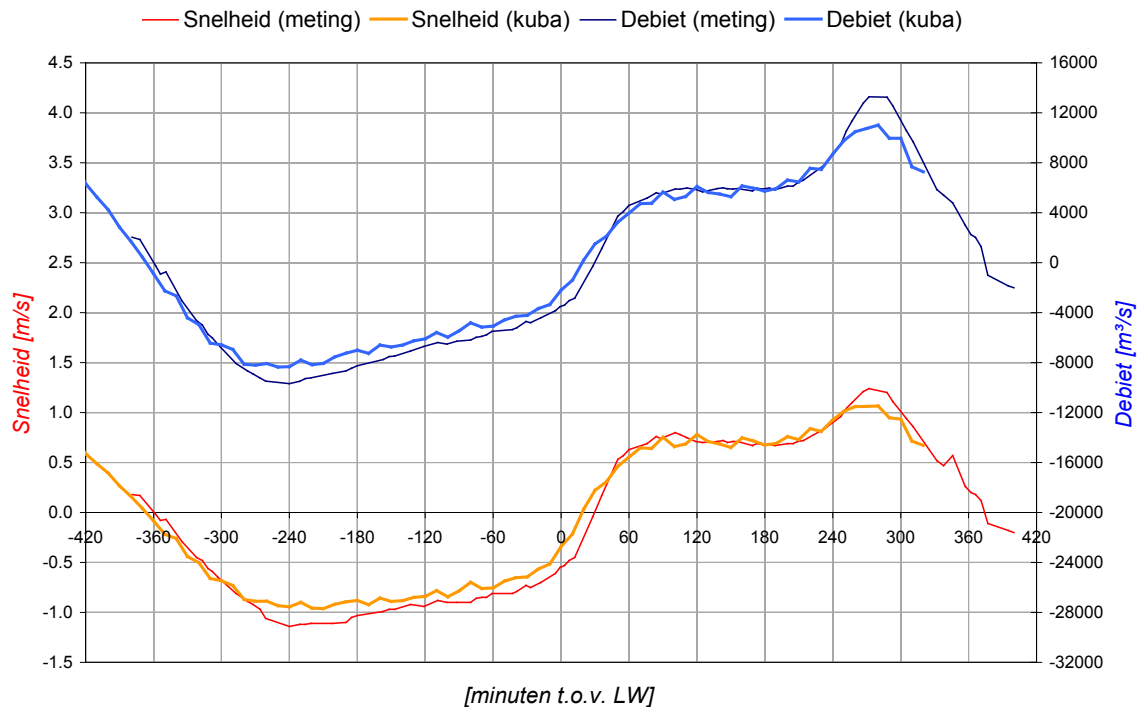
Figuur 40 – Verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium (zoom)

6 Validatie kubatuurberekening met metingen

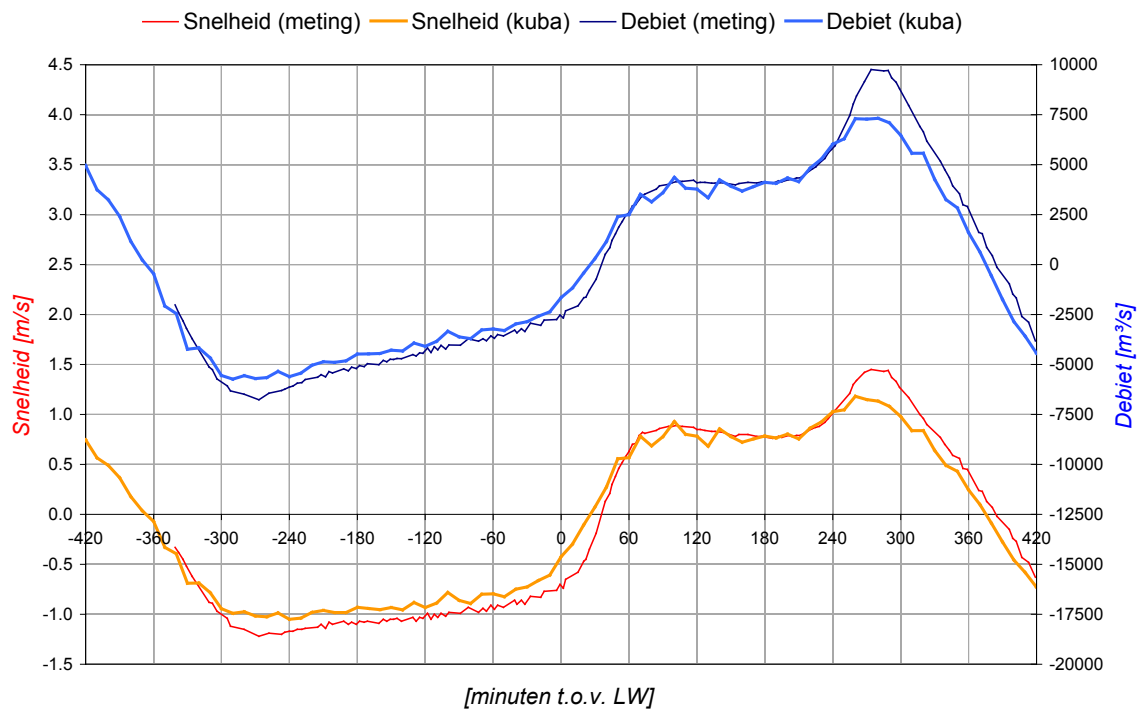
In het kader van de LangeTermijnVisie (LTV) Schelde-estuarium, werd een geïntegreerd monitoringprogramma vastgelegd dat moet toelaten de ontwikkelingen van het fysische systeem op te volgen. Eén van de aspecten die sinds 2009 binnen dit kader gemeten worden, zijn de stroomsnelheden en debieten op dwarsraaien. Voor de Zeeschelde wordt op 5 locaties (Liefkenshoek, Oosterweel, Kruibeke, Driegoten en Schoonaarde) jaarlijks een meting uitgevoerd waarbij gedurende een volledige getijcyclus (13u-meting) met behulp van ADCP de stroming gemeten wordt. Ook in de Rupel (Boom) wordt dergelijke metingen uitgevoerd. Deze metingen worden uitgevoerd bij getijcondities die overeenstemmen met een sterk gemiddeld getij tot een zwak springtij.

Hoewel deze kubatuurberekening uitgevoerd is op basis van een bodemligging uit 2001 en karakteristieke getijden uit de periode 1991-2000, wordt de vergelijking gemaakt voor de snelheids- en debietsverlopen met de beschikbare metingen uit 2009 [Aquavision, 2010].

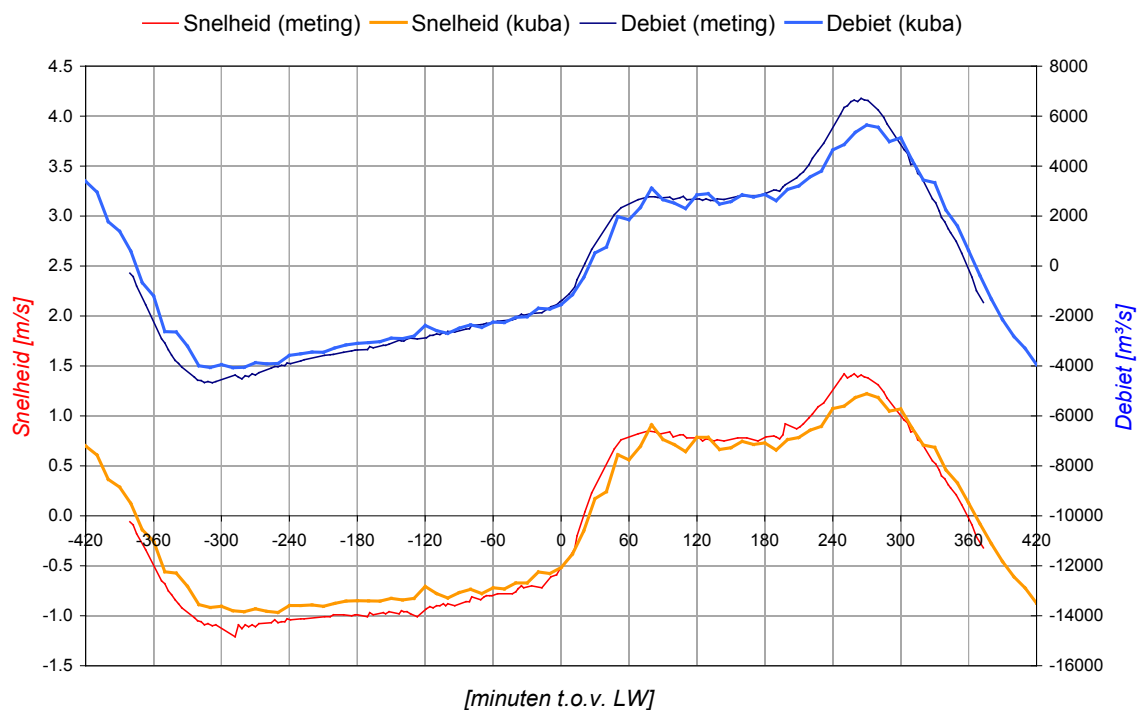
Figuur 41 t.e.m. Figuur 46 geeft de vergelijking tussen de metingen (donkere tint) en het resultaat ter hoogte van de meetraai uit de kubatuurberekening voor gemiddeld getij. Voor alle 6 locaties is er een zeer goede overeenstemming, wat de sterkte van de kubatuurberekening onderbouwd. Voor de meest locatie is echter een beperkte afwijking voor de maximale vloedsnellheden en – debieten. Dit kan echter verklaard worden door het verschil in getijcondities op de dag van de meting en deze gehanteerd in de kubatuurberekening.



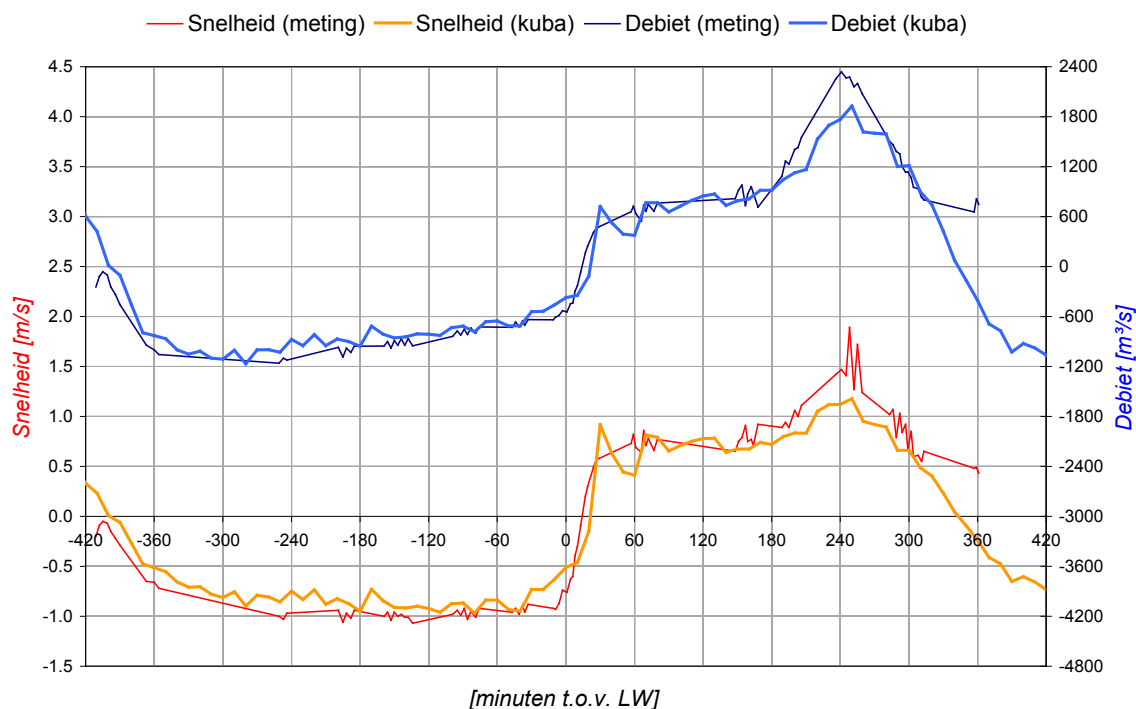
Figuur 41 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Liefkenshoek



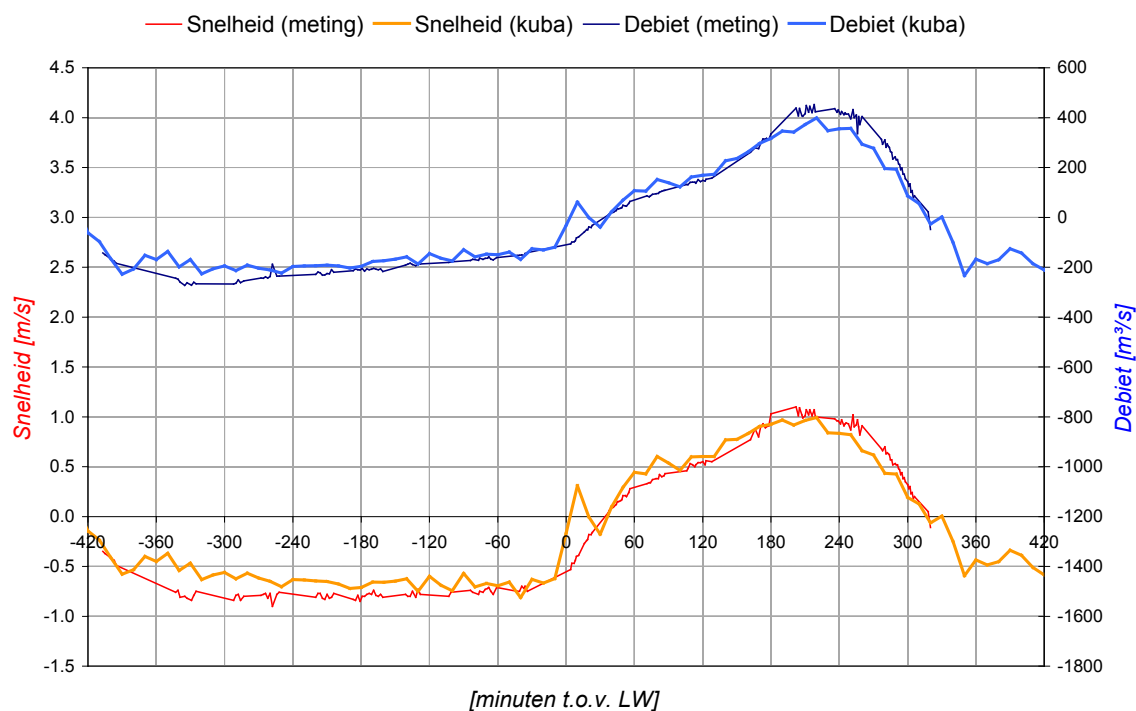
Figuur 42 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Oosterweel



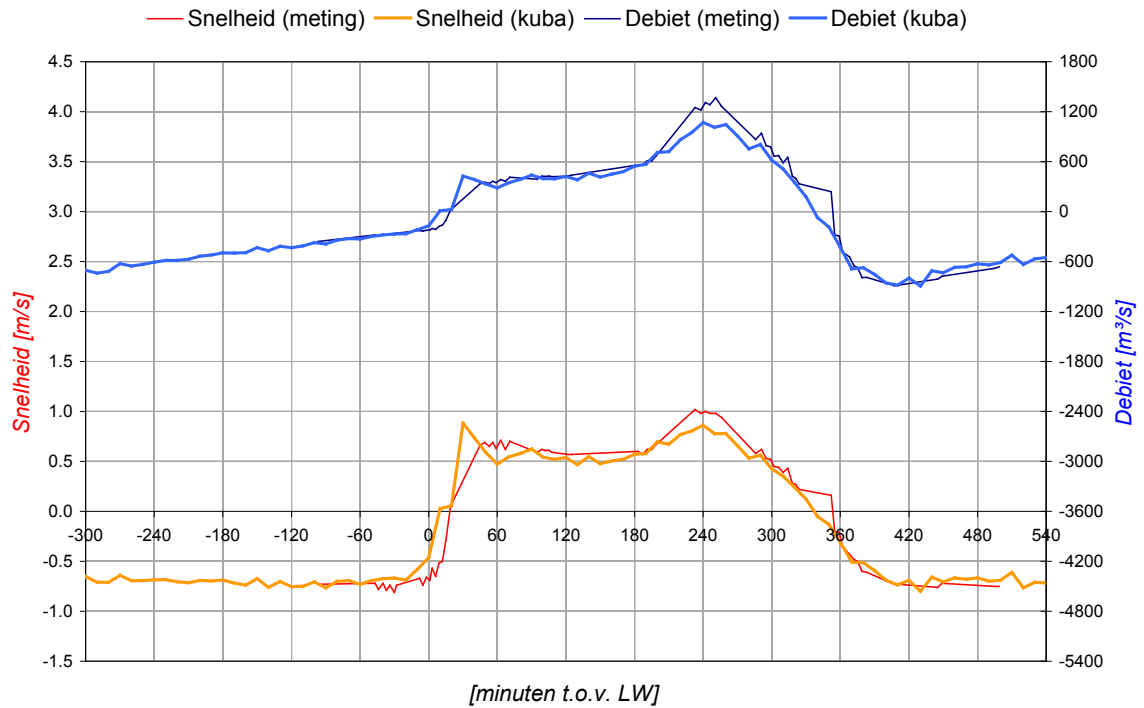
Figuur 43 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Kruiabeke



Figuur 44 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Driegoten



Figuur 45 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Schoonaarde



Figuur 46 – Vergelijking tussen gemeten en via kubatuur berekende snelheden en debieten te Boom

7 Vergelijking met eerdere kubatuurberekeningen

In de loop van de vorige eeuw, werden er reeds verschillende kubatuurberekeningen voor het Schelde-estuarium uitgevoerd:

- 1888 – 1895
- 1920 – 1930: L. Bonnet en J. Blockmans, 1936 – Etude du régime de l'Escaut Maritime par cubature de la marée moyenne décennale 1921-1930
- 1950: WL, 1966 – Stormvloeden op de Schelde – Deel 4
- 1971 – 1980: E. Smets, 1996 – Kubatuurberekeningen voor het Scheldebekken (M405-2)

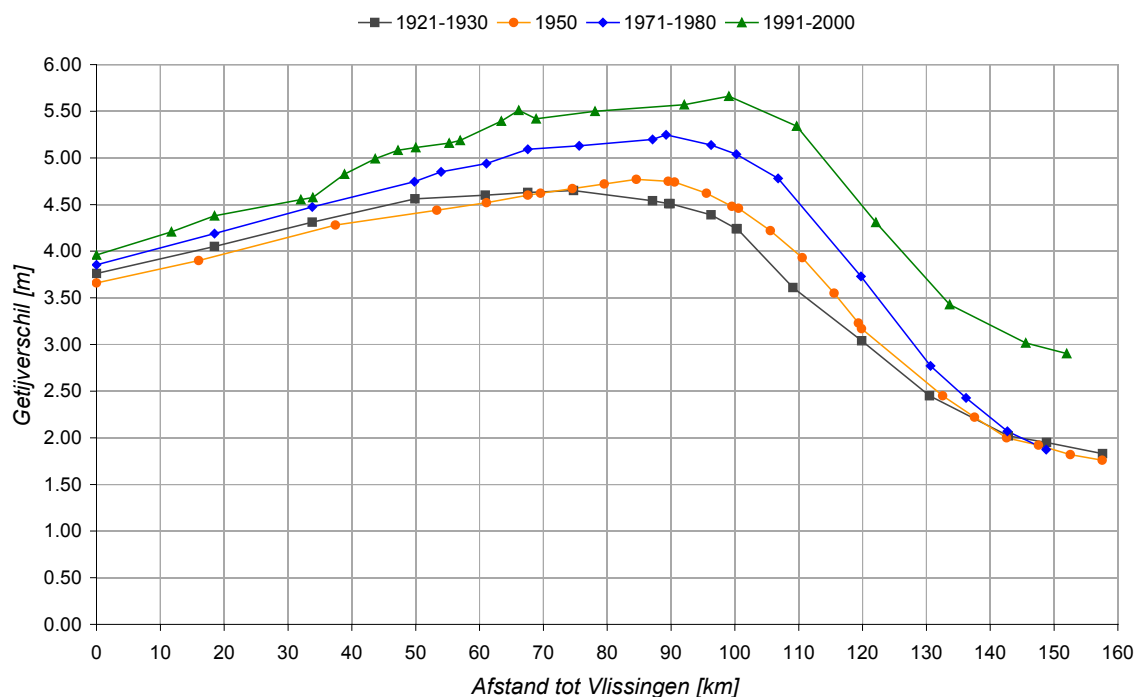
Hoewel de resultaten van deze vroeger kubatuurberekeningen niet digitaal beschikbaar zijn, is er voor geopteerd de eerder resultaten beperkt te digitaliseren om een vergelijking mogelijk te maken. De vroegere rapporten bevatten tabellen met uit de kubatuurberekening afgeleide parameters ter hoogte van de belangrijkste getijposten. De selectie van deze posten is echter niet identiek voor de verschillende rapporten. Daarom wordt de vergelijking gemaakt op 2 manieren: enerzijds via langsprofielen van de parameters langsheen het estuarium (tak Schelde), anderzijds via barplots op de volgende getijposten die systematisch voorkomen in de rapporten:

- Vlissingen
- Liefkenshoek
- Antwerpen
- Schelle
- Driegoten
- Dendermonde
- Schoonaarde
- Wetteren

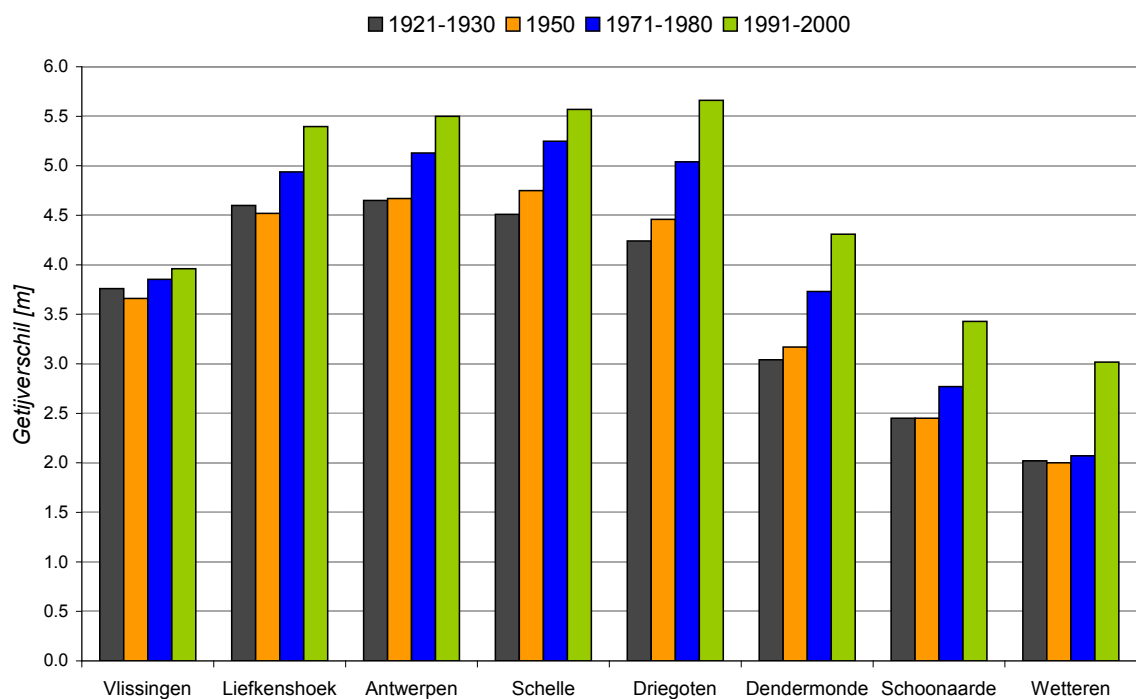
7.1.1 Getij

Figuur 47 en Figuur 48 geeft de verandering weer van het getijverschil voor de beschouwde periodes waarvoor een kubatuurberekening werd uitgevoerd. Uit deze figuren is enerzijds de toename van het getijverschil en anderzijds de opwaartse verschuiving van het maximale getijverschil in de loop der jaren waar te nemen.

Voor Vlissingen neemt het getijverschil toe van 376 cm in de periode 1921-1930 tot 396 cm in de periode 1991-2000. Voor Antwerpen neemt het getijverschil toe van 465 cm in de periode 1921-1930 tot 539 cm in de periode 1991-2000. In de periode 1921-1930 lag het maximale getijverschil ter hoogte van Antwerpen, terwijl dit nu eerder ter hoogte van Temse/Driegoten is, ongeveer 25 km meer opwaarts. Voor Driegoten neemt het getijverschil toe van 424 cm in de periode 1921-1930 tot 566 cm in de periode 1991-2000.



Figuur 47 – Historisch verloop van het getijverschil langsheen het Schelde-estuarium

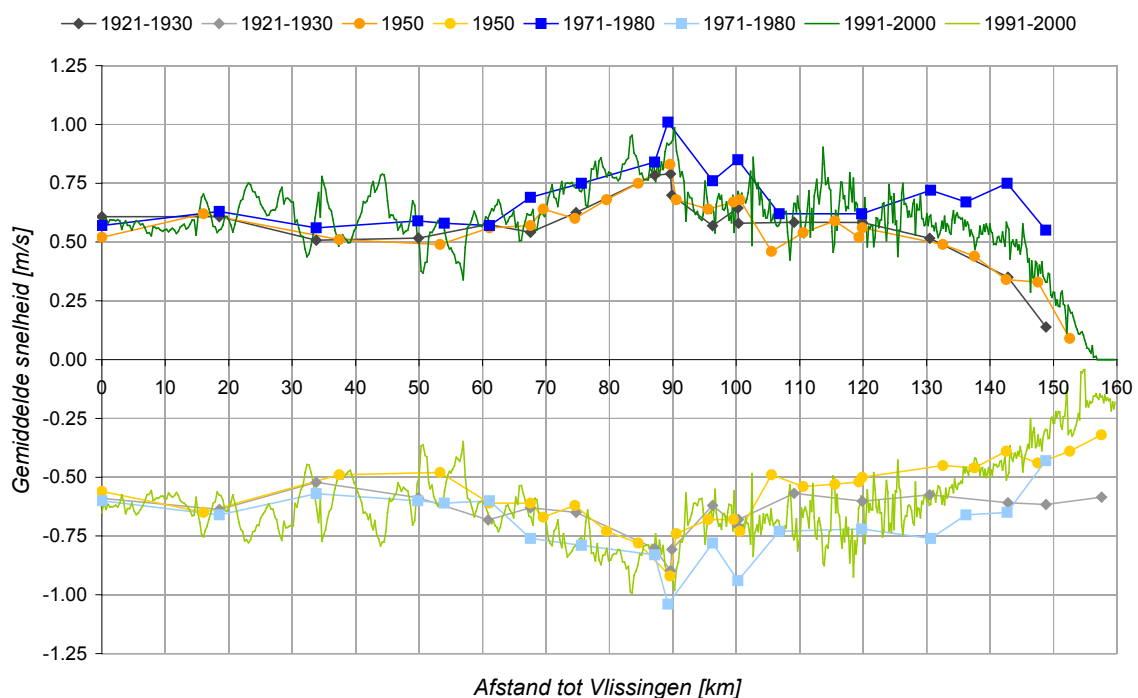


Figuur 48 – Historisch verloop van het getijverschil voor de belangrijkste posten in het Schelde-estuarium

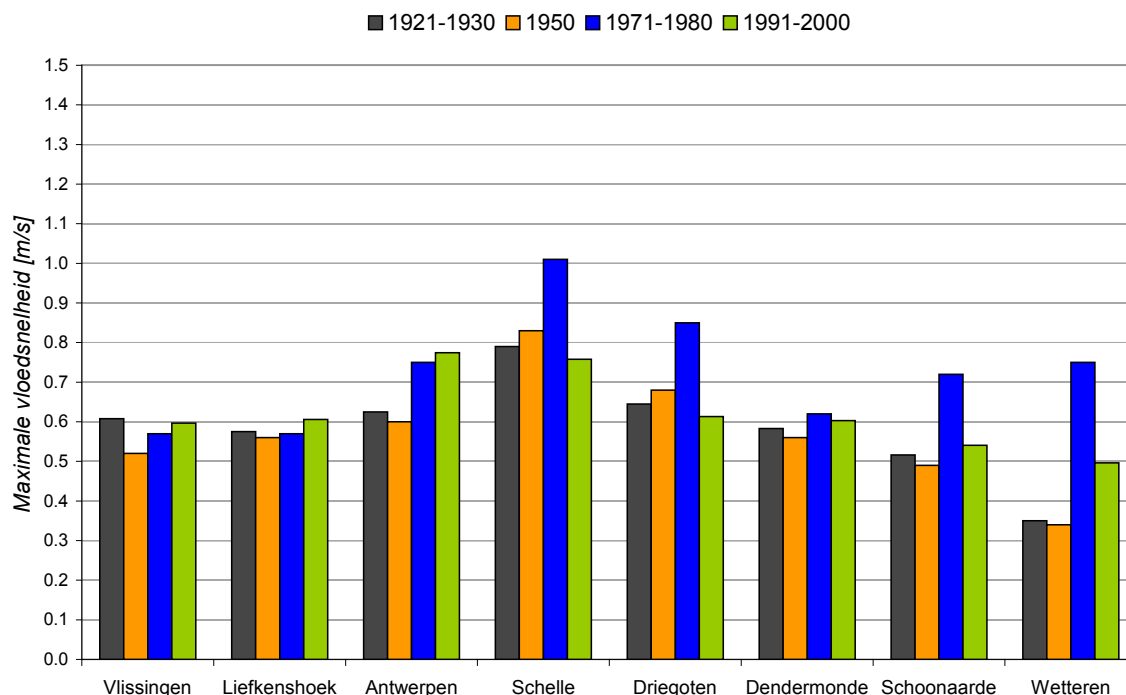
7.1.2 Stroomsnelheden

Gemiddelde stroomsnelheid

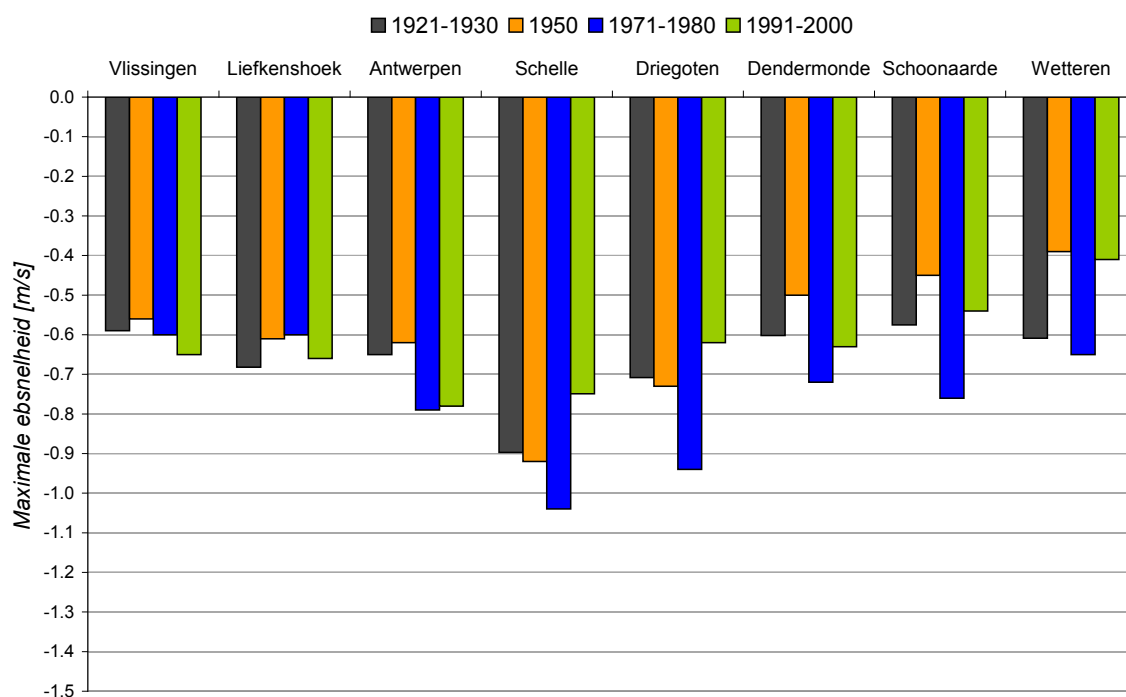
Figuur 49 t.e.m. Figuur 51 geeft het verloop van de gemiddelde vloed (positief) en eb (negatief) snelheid langsheen het Schelde-estuarium. Op basis van de figuren voor de getijposten zou kunnen geconcludeerd worden dat de trend (toename in zowel de gemiddeld vloed- als ebsnelheid) die bij de 3 eerdere kubatuurberekening aanwezig is, niet wordt voortgezet in de huidige kubatuurberekening. Voor de beschouwde locaties, liggen de gemiddelde vloed- en ebsnelheden voor de huidige kubatuurberekening in de buurt van de waarden uit de berekeningen uit 1950 en 1921-1930. Figuur 49 toont echter aan dat, gelet op de sterke ruimtelijke variabiliteit van de stroomsnelheden, de keuze van het representatieve profiel voor een bepaalde post aanleiding kan geven tot grote verschillen. Wanneer alle profielen in beschouwing worden genomen, blijkt het verloop van de gemiddelde snelheden uit de huidige kubatuurberekening nauw aan te sluiten bij de resultaten van de kubatuurberekening voor de periode 1971-1980. Enkel van het meest opwaartse deel van de Boven Zeeschelde is er een significante afwijking. Dit kan mogelijkwijs toegeschreven worden aan de keuze van de bovenafvoeren.



Figuur 49 – Historisch verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheden langsheen het Schelde-estuarium



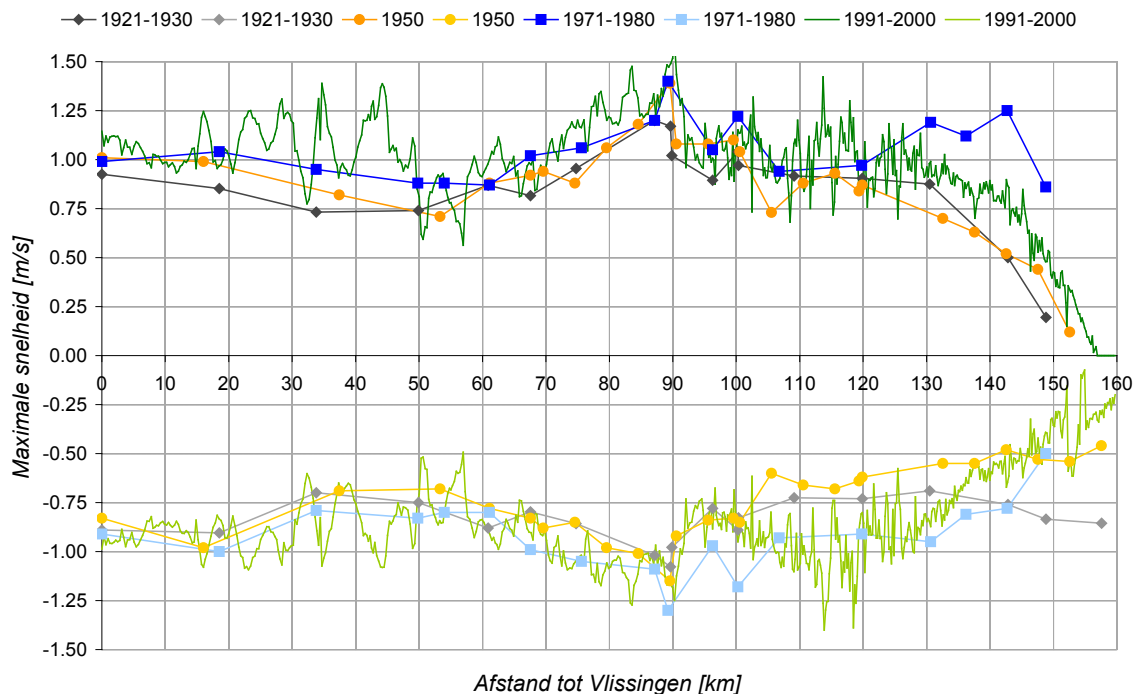
Figuur 50 – Historisch verloop van de gemiddelde vloedsnelheid voor de belangrijkste posten in het Schelde-estuarium



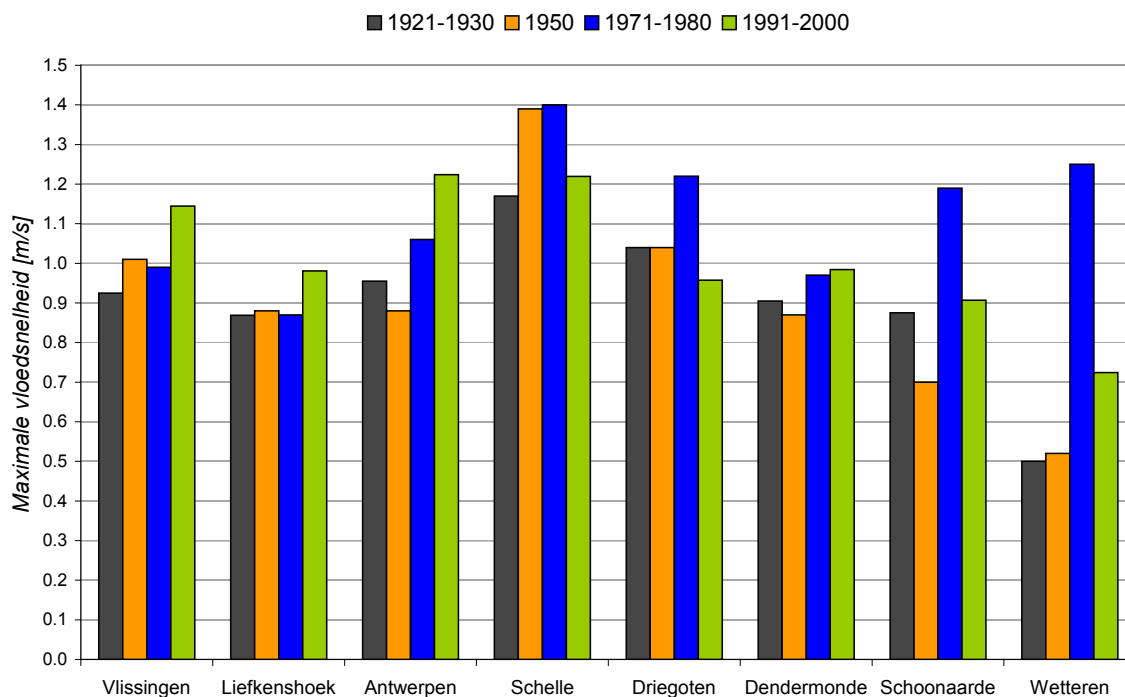
Figuur 51 – Historisch verloop van de gemiddelde ebsnelheid voor de belangrijkste posten in het Schelde-estuarium

Maximale stroomsnelheid

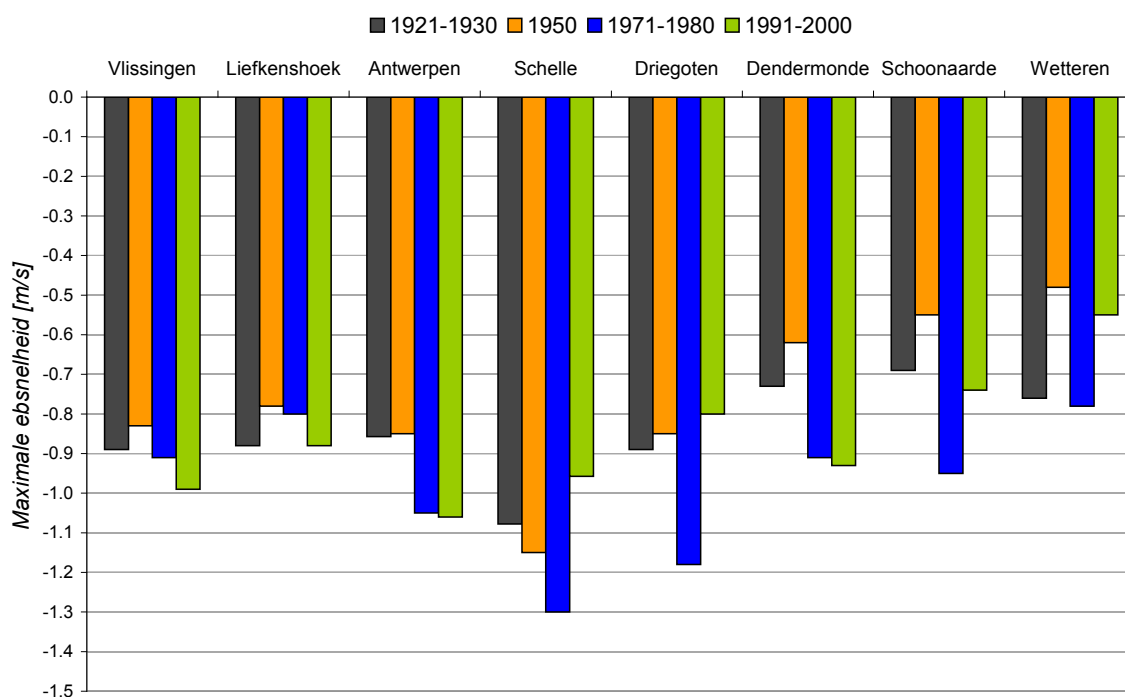
Figuur 52 t.e.m. Figuur 54 geeft het verloop van de maximale vloed (positief) en eb (negatief) snelheid langsheen het Schelde-estuarium. Net zoals bij de gemiddelde snelheden moet rekening gehouden worden met de sterke ruimtelijke variabiliteit van de snelheden. De maximale vloed- en ebsnelheden zijn vergelijkbaar met deze uit de periode 1971-1980. Ze liggen ongeveer 10 cm/s hoger dan bij de kubatuurberekeningen uit 1950 en de periode 1921-1930. Ook hier is er voor het meest opwaartse deel van de Boven Zeeschelde er een significante afwijking. Dit kan mogelijkkerwijs toegeschreven worden aan de keuze van de bovenafvoeren.



Figuur 52 – Historisch verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheden langsheen het Schelde-estuarium



Figuur 53 – Historisch verloop van de maximale vloedsnijheid voor de belangrijkste posten in het Schelde-estuarium



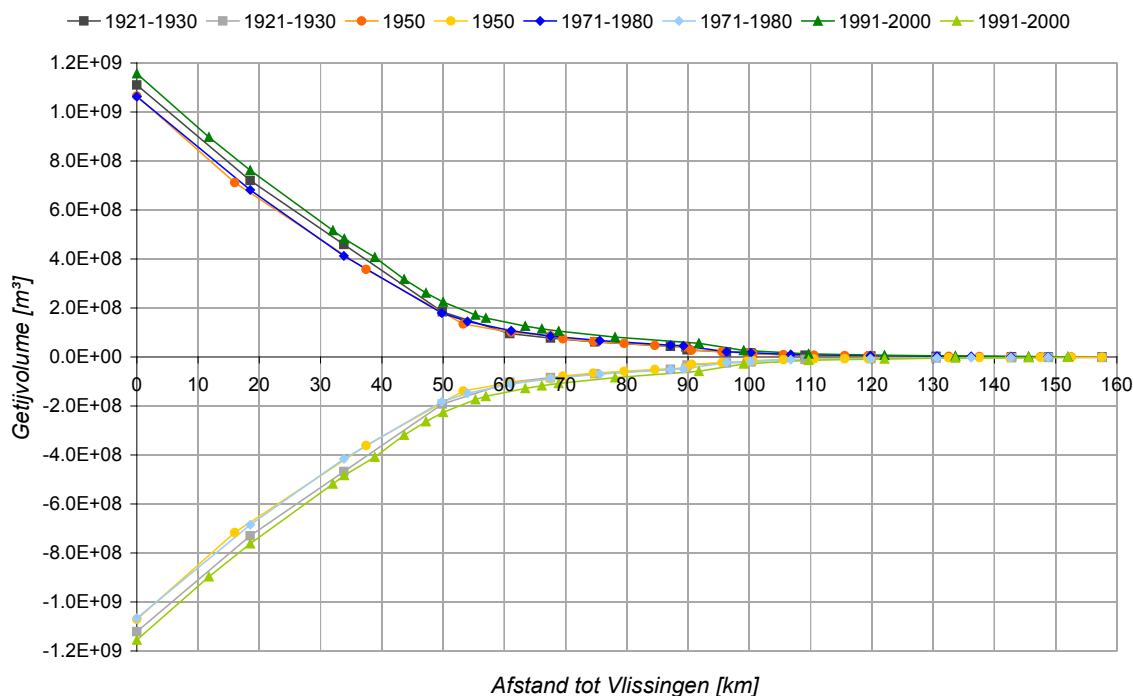
Figuur 54 – Historisch verloop van de maximale ebsnelheid voor de belangrijkste posten in het Schelde-estuarium

7.1.3 Getijvolumes

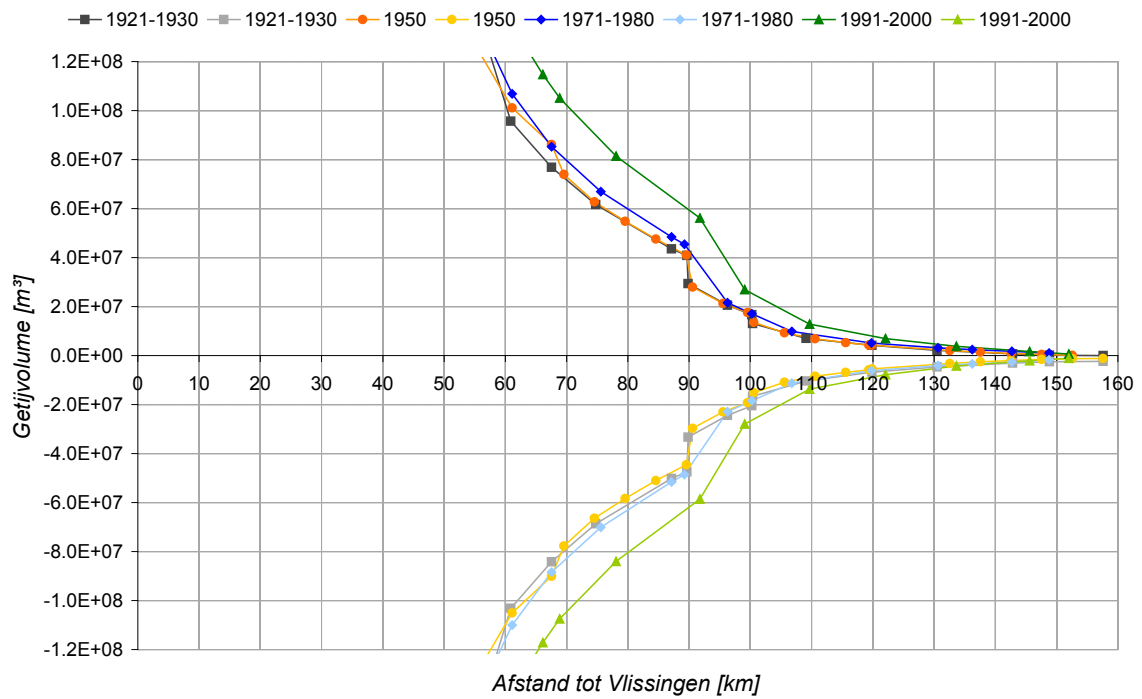
Figuur 55 en Figuur 56 geven het verloop van de vloed (positief) en eb (negatief) volumes langsheen het Schelde-estuarium. Zowel voor het vloed- als ebvolume kan er een toename vastgesteld worden langsheen het Schelde-estuarium. Tabel 6 geeft de relatieve verandering van de vloed- en ebvolumes voor Vlissingen, Antwerpen en Dendermonde tussen de opeenvolgende kubatuurberekeningen. Tot de jaren 1970 varieerden de volumes ter hoogte van Vlissingen weinig, terwijl er tussen 1950 en de jaren 1970 wel een toename van de volumes was in Antwerpen ($\sim +6\%$) en Dendermonde ($\sim +15\%$). Tussen de jaren 1970 en de jaren 1990 is er voor Vlissingen ($\sim +8\%$) een toename in vloed- en ebvolume, die toeneemt verder opwaarts: Antwerpen ($\sim +18\%$) en Dendermonde ($\sim +25\%$).

Tabel 6 – Relatieve verandering van de vloed- en ebvolumes voor Vlissingen, Antwerpen en Dendermonde

		1950 vs. 1920's	1970's vs. 1950	1990's vs. 1970's
Vlissingen	Vloed	-4.15%	-0.20%	+8.45%
	Eb	-4.60%	-0.39%	+7.99%
Antwerpen	Vloed	+1.85%	+6.45%	+19.47%
	Eb	-3.36%	+5.48%	+18.03%
Dendermonde	Vloed	+2.78%	+18.43%	+29.76%
	Eb	-21.14%	+11.53%	+23.34%



Figuur 55 – Historisch verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langsheen het Schelde-estuarium



Figuur 56 – Historisch verloop van de vloed- (+) en eb (-) volumes langs het Schelde-estuarium (zoom)

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

In het verleden zijn reeds verschillende kubatuurberekeningen uitgevoerd voor het Schelde-estuarium, waarbij de laatste dateert van de periode 1971-1980. Gelet op de ontwikkelingen in meettechnieken en rekenmogelijkheden, is het uitvoeren van een kubatuurberekening een relatief eenvoudig techniek om een beeld te krijgen van de waterbeweging in het Schelde-estuarium. Door het uitvoeren van deze nieuwe kubatuurberekening is een tool ontwikkeld die het in de toekomst mogelijk maakt om op een relatief eenvoudig wijze een nieuwe kubatuurberekening uit te voeren.

De huidige kubatuurberekening geeft een beeld van de variatie in stroomsnelheden, debieten en getijvolumes voor het Schelde-estuarium, inclusief de verschillende bijrivieren. De grote ruimtelijke variatie in topo-bathymetrie vertaalt zich ook door in deze berekende parameters. Binnen deze kubatuurberekening is ervoor gekozen geen middeling uit te voeren in de ruimte om een zo realistisch mogelijk beeld te scheppen. De validatie met recent meetgegevens van stromingen en debieten om 6 dwarsraaien, heeft aangetoond dat de techniek van de kubatuurberekeningen een betrouwbaar resultaat geeft op het vlak van de waterbeweging.

De vergelijking met historische kubatuurberekeningen toont aan dat de wijziging in getijvoortplanting (meer opwaartse getijindringing en toename in getijverschil) in het Schelde-estuarium leidt tot een toename van de getijvolumes, doch dat de maximale en gemiddelde stroomsnelheden slechts beperkt gewijzigd zijn. Dat de stroomsnelheden slechts beperkt gewijzigd zijn, is vermoedelijk te wijten aan de toename van de natte sectie van het estuarium in de loop der jaren.

8.2 Aanbevelingen

Bij de huidige kubatuurberekening kon gebruik gemaakt worden van de beschikbare topo-bathymetrie uit het 1D-numerieke model. Het verdient de aanbeveling om, met het oog op toekomstige kubatuurberekeningen, de mogelijkheden voor het creëren van de noodzakelijke topo-bathymetrische gegevens te verkennen. Hierbij wordt gedacht aan het genereren van dwarsprofielen in ArcGIS en vervolgens het afleiden van de benodigde topo-bathymetrische data via MIKE11.

De huidige kubatuurberekening is uitgevoerd op basis van louter meetgegevens, zonder specifieke voorbehandeling. Bij eerdere kubatuurberekeningen werd er steeds een "smoothing" toegepast, waardoor het verloop van waterstanden, stroomsnelheden en debieten vloeiend werd gemaakt. In voorliggend rapport werd dit niet gedaan en vertonen de resultaten hierdoor een minder vloeiend verloop. Bij een volgende berekening zou deze smoothing kunnen toegevoegd worden, aangezien hiervoor de nodige mogelijkheden beschikbaar zijn in Matlab (cfr. Spline-functie)³.

De huidige kubatuurberekening gaat uit van een toestand representatief voor de periode 1991-2000 (getij) en 2001 (topo-bathymetrie). In het kader van het geïntegreerd monitoringprogramma werd in 2009 en 2010 een volledig gebiedsdekkende topo-bathymetrische opname uitgevoerd van het Schelde-estuarium, inclusief de bijrivieren. Daarnaast zullen op korte termijn de karakteristieke getijparameters beschikbaar komen voor de periode 2001-2010. Het verdient de aanbeveling om met deze nieuwe gegevens een nieuwe kubatuurberekening uit te voeren. Aangezien hiervoor dezelfde methodiek kan gebruikt worden, zal deze nieuwe berekening gemakkelijk vergelijkbaar zijn met de huidige.

³ In [Vandenbruwaene *et al.*, 2013] werd dit reeds geïmplementeerd.

9 Referentielijst

Aquavision (2010). Varende ADCP metingen Schelde 2009 (6 rapporten).

Bonnet, L.; Blockmans, J. (1936). Etude du régime des rivières du bassin de l'Escaut Maritime par cubature de la marée moyenne décennale 1921-1930. Bruxelles, Belgique.

Cornet, E.; Vereecken, H.; Mostaert, F. (2011). Hydrologisch jaarboek 2010 – Hic meetstations. WL_Rapporten, 709_01. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België. (in voorbereiding)

Ministerie van openbare werken – Bestuur der Waterwegen (BW) (1966). Stormvloeden op de Schelde. Deel 4. België.

Smets, E. (1996). Kubatuurberekeningen voor het Scheldebekken. Het gemiddeld getij over het decennium 1971-1980. Een gemiddeld getij typisch voor het jaar 1980. Mod. 405-2 (2 delen). Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Taverniers, E.; Mostaert, F. (2009). Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het decennium 1991-2000. Versie 2_0. WL_Rapporten, 833_01. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

THV. RA-IMDC (2003). Actualisatie van het Sigmaplan. Deelopdracht 3: Hydrodynamisch model. Volume 2a: Hydrodynamisch model Scheldebekken. Iov. Waterwegen en Zeekanaal N.V., Afdeling Zeeschelde, p.51.

Vandenbruwaene, W.; Plancke, Y.; Verwaest, T. ; Mostaert, F. (2013). The long-term hydro-geomorphological evolution of the Schelde estuary: A comparison between 1951-1960 and 2000-2010. Version 2_0. WL Rapporten, 00_158. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Tabellen

Tabel 7 – Overzicht gebruikte waterstandstations

Naam station waterpeil	Taknaam	Locatie [KM]	Bron
Vlissingen	Westerschelde	0	
Borssele	Westerschelde	11,4	
Terneuzen	Westerschelde	18,2	
Overloop van Hansweert	Westerschelde	31,7	
Hansweert	Westerschelde	33,6	
Walsoorden	Westerschelde	38,9	
Baalhoek	Westerschelde	43,3	
Schaar van de Noord	Westerschelde	47,2	
Bath	Westerschelde	50,0	
Prosperpolder	Beneden Zeeschelde	55,3	
Zandvlietsluis	Beneden Zeeschelde	57,0	
Liefkenshoek	Beneden Zeeschelde	63,1	
Boudewijns sluis	Beneden Zeeschelde	66,1	
Kallo	Beneden Zeeschelde	68,6	
Antwerpen	Beneden Zeeschelde	77,8	
Schelle	Beneden Zeeschelde	91,8	
Temse	Boven Zeeschelde	99,1	
Sint-Amands	Boven Zeeschelde	109,5	
Dendermonde	Boven Zeeschelde	121,9	
Schoonaarde	Boven Zeeschelde	133,4	
Wetteren	Boven Zeeschelde	145,4	

Melle	Boven Zeeschelde	151,8	
Gentbrugge	Boven Zeeschelde	159,7	
Boom	Rupel	6,0	
Walem	Rupel	11,3	
Duffel	Beneden Nete	21,7	
Lier-Molbrug	Beneden Nete	25,7	
Emblem	Kleine Nete	31,6	
Lier-Maasfort	Grote Nete	0,6	
Kessel	Grote Nete	6,9	
Mechelen	Dijle	6,0	
Rijmenam	Dijle	7,1	
Hombeek	Zenne	6,8	
Zemst	Zenne	9,6	
Tielrode	Durme	0,8	
Waasmunster	Durme	6,1	

Tabel 8 – Overzicht afgeleide grootheden in de belangrijkste getijposten (gemiddeld getij)

Naam station	Locatie [KM]	$v_{\text{gem}}^{\text{vl}}$ [cm/s]	$v_{\text{gem}}^{\text{eb}}$ [cm/s]	$v_{\text{max}}^{\text{vl}}$ [cm/s]	$v_{\text{max}}^{\text{eb}}$ [cm/s]	$Q_{\text{gem}}^{\text{vl}}$ [m³/s]	$Q_{\text{gem}}^{\text{eb}}$ [m³/s]	$Q_{\text{max}}^{\text{vl}}$ [m³/s]	$Q_{\text{max}}^{\text{eb}}$ [m³/s]	V^{vl} [m³]	V^{eb} [m³]	HW [m TAW]	LW [m TAW]
Vlissingen	0	114	-99	60	-65	1.04E+05	-8.19E+04	5.07E+04	-5.20E+04	1.16E+09	-1.16E+09	4.43	0.47
Borssele	11,4	96	-87	55	-58	7.82E+04	-6.17E+04	4.08E+04	-3.97E+04	9.06E+08	-9.05E+08	4.55	0.35
Terneuzen	18,2	96	-82	54	-56	6.59E+04	-5.08E+04	3.46E+04	-3.37E+04	7.68E+08	-7.68E+08	4.69	0.31
Ov. Hansweert	31,7	91	-73	52	-54	4.84E+04	-3.29E+04	2.43E+04	-2.30E+04	5.24E+08	-5.25E+08	4.75	0.20
Hansweert	33,6	111	-82	60	-59	4.57E+04	-3.02E+04	2.25E+04	-2.08E+04	4.85E+08	-4.87E+08	4.74	0.18
Walsoorden	38,9	92	-65	50	-48	4.02E+04	-2.53E+04	1.94E+04	-1.75E+04	4.07E+08	-4.09E+08	4.96	0.13
Baalhoek	43,3	122	-102	72	-74	3.33E+04	-1.98E+04	1.57E+04	-1.41E+04	3.29E+08	-3.31E+08	5.07	0.08
Sch. vd Noord	47,2	98	-81	58	-56	2.45E+04	-1.62E+04	1.24E+04	-1.10E+04	2.61E+08	-2.63E+08	5.13	0.05
Bath	50,0	81	-71	50	-49	1.94E+04	-1.44E+04	1.07E+04	-9.67E+03	2.24E+08	-2.26E+08	5.13	0.02
Prosperpolder	55,3	76	-66	46	-47	1.48E+04	-1.12E+04	7.95E+03	-7.43E+03	1.72E+08	-1.74E+08	5.18	0.02
Zandvlietsluis	57,0	56	-49	34	-35	1.36E+04	-1.04E+04	7.35E+03	-6.88E+03	1.59E+08	-1.61E+08	5.20	0.01
Liefkenshoek	63,1	101	-90	62	-67	1.06E+04	-8.28E+03	5.87E+03	-5.67E+03	1.27E+08	-1.29E+08	5.33	-0.06
Boudewijns sluis	66,1	82	-74	51	-54	9.33E+03	-7.49E+03	5.31E+03	-5.01E+03	1.15E+08	-1.17E+08	5.39	-0.12
Kallo	68,6	85	-81	55	-60	8.75E+03	-6.93E+03	4.92E+03	-4.64E+03	1.06E+08	-1.09E+08	5.33	-0.09
Antwerpen	77,8	132	-116	84	-86	6.86E+03	-5.32E+03	3.90E+03	-3.52E+03	8.19E+07	-8.45E+07	5.39	-0.11

Kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium:
 Karakteristieke getijden uit het decennium 1991 - 2000 en topo-bathymetrische gegevens uit 2001

Schelle	91,8	122	-96	76	-75	5.15E+03	-3.57E+03	2.75E+03	-2.38E+03	5.61E+07	-5.86E+07	5.51	-0.06
Temse	99,1	96	-80	61	-62	2.48E+03	-1.65E+03	1.36E+03	-1.11E+03	2.69E+07	-2.80E+07	5.57	-0.09
Sint-Amands	109,5	107	-91	63	-68	1.24E+03	-8.39E+02	6.53E+02	-5.63E+02	1.29E+07	-1.38E+07	5.56	0.20
Dendermonde	121,9	85	-78	52	-55	6.75E+02	-4.40E+02	3.55E+02	-2.96E+02	7.03E+06	-7.82E+06	5.28	0.95
Schoonaarde	133,4	95	-79	57	-58	3.91E+02	-2.26E+02	2.00E+02	-1.67E+02	3.84E+06	-4.32E+06	4.97	1.53
Wetteren	145,4	77	-57	52	-43	1.72E+02	-1.11E+02	1.01E+02	-7.60E+01	1.70E+06	-2.18E+06	4.76	1.74
Melle	151,8	36	-31	23	-24	7.28E+01	-6.00E+01	3.98E+01	-4.10E+01	6.69E+05	-1.15E+06	4.85	1.87
Boom	6,0	88	-78	56	-65	1011	-866	540	-504	1.07E+07	-1.24E+07	5.55	0.00
Walem	11,3	76	-77	51	-64	678	-590	333	-333	6.60E+06	-8.39E+06	5.58	0.23
Duffel	21,7	63	-61	36	-43	155	-116	77	-55	1.12E+06	-1.66E+06	5.58	1.04
Lier-Molbrug	25,7	105	-80	55	-62	110	-82	54	-39	7.07E+05	-1.24E+06	5.45	2.33
Emblem	31,6	97	-76	58	-54	23	-26	14	-11	1.30E+05	-4.00E+05	5.07	3.11
Lier-Maasfort	0,6	122	-99	56	-63	52	-33	22	-16	3.01E+05	-5.62E+05	5.14	2.75
Kessel	6,9	114	-103	62	-68	20	-17	11	-10	1.02E+05	-3.53E+05	4.89	3.21
Mechelen	6,0	63	-195	33	-102	79	-92	29	-54	5.04E+05	-1.48E+06	5.60	0.82
Rijmenam	7,1	36	-8	16	-4	9	-5	5	-2	1.98E+04	-8.75E+03	2.87	0.91
Hombeek	6,8	51	-105	27	-63	25	-27	12	-12	1.19E+05	-4.37E+05	5.78	2.14

Kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium:

Karakteristieke getijden uit het decennium 1991 - 2000 en topo-bathymetrische gegevens uit 2001

Tielrode	0,8	160	-56	48	-47	213	-179	90	-87	1.78E+06	-2.14E+06	5.66	0.05
Waasmunster	6,1	94	-11	31	-6	13	-7	6	-4	4.26E+04	-1.30E+04	3.70	2.16

Tabel 9 – Overzicht afgeleide grootheden in de belangrijkste getijposten (gemiddeld springtij)

Naam station	Locatie [KM]	v_{gem}^{vl} [cm/s]	v_{gem}^{eb} [cm/s]	v_{max}^{vl} [cm/s]	v_{max}^{eb} [cm/s]	Q_{gem}^{vl} [m³/s]	Q_{gem}^{eb} [m³/s]	Q_{max}^{vl} [m³/s]	Q_{max}^{eb} [m³/s]	V^{vl} [m³]	V^{eb} [m³]	HW [m TAW]	LW [m TAW]
Vlissingen	0	131	-111	66	-73	1.21E+05	-9.16E+04	5.63E+04	-5.84E+04	1.28E+09	-1.26E+09	4.74	0.24
Borssele	11,4	111	-95	59	-65	9.15E+04	-6.88E+04	4.40E+04	-4.45E+04	1.00E+09	-9.87E+08	4.86	0.13
Terneuzen	18,2	108	-89	59	-61	7.83E+04	-5.63E+04	3.83E+04	-3.68E+04	8.50E+08	-8.38E+08	5.01	0.11
Ov. Hansweert	31,7	107	-79	57	-58	5.87E+04	-3.68E+04	2.69E+04	-2.52E+04	5.81E+08	-5.75E+08	5.04	-0.01
Hansweert	33,6	131	-89	66	-64	5.58E+04	-3.36E+04	2.49E+04	-2.28E+04	5.37E+08	-5.33E+08	5.03	-0.03
Walsoorden	38,9	110	-70	53	-52	4.88E+04	-2.78E+04	2.09E+04	-1.91E+04	4.51E+08	-4.48E+08	5.25	-0.08
Baalhoek	43,3	143	-110	78	-79	4.10E+04	-2.22E+04	1.74E+04	-1.51E+04	3.65E+08	-3.63E+08	5.37	-0.11
Sch. vd Noord	47,2	111	-87	62	-62	2.98E+04	-1.75E+04	1.36E+04	-1.22E+04	2.86E+08	-2.85E+08	5.43	-0.15
Bath	50,0	92	-75	52	-53	2.40E+04	-1.54E+04	1.13E+04	-1.04E+04	2.45E+08	-2.44E+08	5.41	-0.18
Prosperpolder	55,3	90	-72	51	-51	1.75E+04	-1.21E+04	8.68E+03	-8.02E+03	1.87E+08	-1.88E+08	5.35	-0.38
Zandvlietsluis	57,0	65	-52	37	-37	1.62E+04	-1.13E+04	8.01E+03	-7.42E+03	1.73E+08	-1.74E+08	5.54	-0.21
Liefkenshoek	63,1	117	-96	67	-72	1.31E+04	-9.17E+03	6.38E+03	-6.10E+03	1.38E+08	-1.39E+08	5.66	-0.26
Boudewijns sluis	66,1	98	-79	53	-59	1.18E+04	-8.38E+03	5.62E+03	-5.53E+03	1.25E+08	-1.26E+08	5.75	-0.34
Kallo	68,6	103	-86	59	-64	1.07E+04	-7.80E+03	5.35E+03	-5.00E+03	1.16E+08	-1.17E+08	5.69	-0.32
Antwerpen	77,8	152	-126	87	-92	8.26E+03	-5.97E+03	4.10E+03	-3.79E+03	8.86E+07	-9.09E+07	5.71	-0.33

Kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium:
 Karakteristieke getijden uit het decennium 1991 - 2000 en topo-bathymetrische gegevens uit 2001

Schelle	91,8	138	-103	77	-81	5.92E+03	-4.08E+03	2.86E+03	-2.60E+03	6.00E+07	-6.24E+07	5.82	-0.24
Temse	99,1	107	-83	66	-65	3.01E+03	-1.90E+03	1.50E+03	-1.18E+03	2.88E+07	-2.97E+07	5.86	-0.08
Sint-Amands	109,5	123	-90	65	-71	1.48E+03	-9.50E+02	6.82E+02	-5.96E+02	1.39E+07	-1.47E+07	5.83	0.07
Dendermonde	121,9	98	-76	55	-58	7.77E+02	-4.87E+02	3.83E+02	-3.18E+02	7.57E+06	-8.19E+06	5.49	0.83
Schoonaarde	133,4	111	-72	61	-53	4.48E+02	-2.28E+02	2.22E+02	-1.59E+02	3.99E+06	-4.49E+06	5.20	1.53
Wetteren	145,4	105	-61	54	-43	2.29E+02	-1.16E+02	1.07E+02	-7.90E+01	1.73E+06	-2.22E+06	4.95	1.81
Melle	151,8	56	-34	24	-23	1.02E+02	-6.10E+01	4.21E+01	-4.00E+01	6.57E+05	-1.14E+06	4.84	1.91
Boom	6,0	99	-79	59	-68	1305	-960	583	-540	1.16E+07	-1.33E+07	5.86	-0.15
Walem	11,3	96	-77	54	-67	826	-642	361	-354	7.15E+06	-8.92E+06	5.83	0.13
Duffel	21,7	71	-62	38	-44	175	-121	85	-58	1.22E+06	-1.74E+06	5.85	1.09
Lier-Molbrug	25,7	110	-81	58	-63	122	-88	60	-41	7.93E+05	-1.31E+06	5.66	2.29
Emblem	31,6	115	-85	59	-55	29	-28	15	-12	1.48E+05	-4.20E+05	5.22	3.08
Lier-Maasfort	0,6	123	-98	61	-66	51	-49	25	-18	3.31E+05	-5.76E+05	5.33	2.78
Kessel	6,9	109	-103	67	-65	21	-27	12	-10	1.15E+05	-3.66E+05	5.02	3.23
Mechelen	6,0	86	-170	40	-106	90	-112	31	-56	5.47E+05	-1.50E+06	5.90	0.65
Rijmenam	7,1	58	-186	26	-98	71	-101	23	-49	3.97E+05	-1.36E+06	5.93	0.75
Hombeek	6,8	64	-119	36	-68	33	-31	17	-13	1.43E+05	-4.59E+05	6.03	2.15

Tielrode	0,8	209	-60	53	-48	297	-206	105	-92	2.02E+06	-2.37E+06	5.95	-0.05
Waasmunster	6,1	100	-102	22	-54	132	-76	22	-30	4.10E+05	-7.73E+05	5.97	2.09

Tabel 10 – Overzicht procentuele verandering (toename) afgeleide grootheden gemiddeld springtij ten opzichte van gemiddeld getij

	$v_{\text{gem}}^{\text{vl}}$ [%]	$v_{\text{gem}}^{\text{eb}}$ [%]	$v_{\text{max}}^{\text{vl}}$ [%]	$v_{\text{max}}^{\text{eb}}$ [%]	$Q_{\text{gem}}^{\text{vl}}$ [%]	$Q_{\text{gem}}^{\text{eb}}$ [%]	$Q_{\text{max}}^{\text{vl}}$ [%]	$Q_{\text{max}}^{\text{eb}}$ [%]	V^{vl} [%]	V^{eb} [%]
Westerschelde	16.1±2.2	8.5±1.8	8.5±2.0	9.0±1.7	19.8±2.1	10.5±1.6	10.2±2.0	9.5±1.8	10.5±0.6	9.1±0.6
Beneden Zeeschelde	16.7±2.2	7.5±1.6	7.0±2.5	7.2±1.6	19.7±3.0	11.8±1.5	8.2±2.4	7.7±1.6	8.3±0.6	7.5±0.4
Boven Zeeschelde	14.0±3.1	-0.8±7.1	5.3±3.0	4.9±2.7	17.9±2.7	13.2±2.2	7.6±3.0	6.7±2.7	7.1±0.6	5.5±0.5
Rupel	14.9±5.2	5.2±9.1	5.8±4.1	4.5±14.4	20.2±6.4	7.9±18.5	9.6±4.4	7.2±15.3	8.4±1.1	24.2±196.5

Tabel 11 – Overzicht afgeleide grootheden in de belangrijkste getijposten (gemiddeld doottij)

Naam station	Locatie [KM]	v_{gem}^{vl} [cm/s]	v_{gem}^{eb} [cm/s]	v_{max}^{vl} [cm/s]	v_{max}^{eb} [cm/s]	Q_{gem}^{vl} [m³/s]	Q_{gem}^{eb} [m³/s]	Q_{max}^{vl} [m³/s]	Q_{max}^{eb} [m³/s]	V^{vl} [m³]	V^{eb} [m³]	HW [m TAW]	LW [m TAW]
Vlissingen	0	80	-84	47	-54	7.07E+04	-6.81E+04	3.93E+04	-4.26E+04	8.96E+08	-9.98E+08	3.86	0.87
Borssele	11,4	70	-74	43	-48	5.38E+04	-5.15E+04	3.08E+04	-3.25E+04	7.03E+08	-7.80E+08	3.98	0.79
Terneuzen	18,2	68	-70	42	-48	4.55E+04	-4.23E+04	2.62E+04	-2.82E+04	5.97E+08	-6.61E+08	4.10	0.75
Ov. Hansweert	31,7	62	-64	40	-45	3.13E+04	-2.72E+04	1.79E+04	-1.87E+04	4.08E+08	-4.50E+08	4.25	0.64
Hansweert	33,6	74	-71	47	-50	2.91E+04	-2.50E+04	1.70E+04	-1.73E+04	3.77E+08	-4.15E+08	4.26	0.61
Walsoorden	38,9	60	-57	37	-41	2.52E+04	-2.07E+04	1.42E+04	-1.45E+04	3.16E+08	-3.47E+08	4.37	0.58
Baalhoek	43,3	81	-93	56	-64	2.09E+04	-1.68E+04	1.15E+04	-1.14E+04	2.55E+08	-2.81E+08	4.46	0.53
Sch. vd Noord	47,2	67	-74	45	-51	1.60E+04	-1.42E+04	9.36E+03	-9.61E+03	2.08E+08	-2.31E+08	4.51	0.50
Bath	50,0	56	-65	39	-43	1.30E+04	-1.28E+04	8.12E+03	-8.18E+03	1.80E+08	-2.01E+08	4.53	0.46
Prosperpolder	55,3	53	-62	37	-42	9.92E+03	-1.02E+04	6.26E+03	-6.51E+03	1.39E+08	-1.56E+08	4.56	0.46
Zandvlietsluis	57,0	39	-46	27	-30	9.19E+03	-9.47E+03	5.79E+03	-5.88E+03	1.29E+08	-1.45E+08	4.58	0.45
Liefkenshoek	63,1	72	-85	49	-59	7.36E+03	-7.64E+03	4.51E+03	-4.85E+03	1.03E+08	-1.16E+08	4.69	0.40
Boudewijnsdijk	66,1	60	-69	41	-48	6.65E+03	-7.00E+03	4.20E+03	-4.40E+03	9.32E+07	-1.06E+08	4.73	0.33
Kallo	68,6	63	-76	45	-54	6.09E+03	-6.50E+03	3.90E+03	-4.08E+03	8.66E+07	-9.79E+07	4.71	0.35
Antwerpen	77,8	94	-111	67	-77	4.69E+03	-5.03E+03	3.02E+03	-3.09E+03	6.70E+07	-7.60E+07	4.80	0.31

Kubatuurberekening voor het Schelde-estuarium:
 Karakteristieke getijden uit het decennium 1991 - 2000 en topo-bathymetrische gegevens uit 2001

Schelle	91,8	82	-93	61	-66	3.32E+03	-3.47E+03	2.18E+03	-2.03E+03	4.57E+07	-5.25E+07	4.94	0.35
Temse	99,1	66	-74	49	-58	1.74E+03	-1.59E+03	1.05E+03	-9.93E+02	2.21E+07	-2.50E+07	4.98	0.34
Sint-Amands	109,5	78	-81	51	-60	8.79E+02	-6.86E+02	5.11E+02	-4.81E+02	1.07E+07	-1.24E+07	4.95	0.47
Dendermonde	121,9	72	-70	46	-53	5.13E+02	-3.63E+02	3.04E+02	-2.73E+02	5.65E+06	-7.04E+06	4.76	1.01
Schoonaarde	133,4	75	-71	47	-50	2.83E+02	-2.11E+02	1.61E+02	-1.37E+02	3.09E+06	-3.86E+06	4.58	1.66
Wetteren	145,4	59	-57	39	-41	1.26E+02	-1.06E+02	7.55E+01	-7.00E+01	1.36E+06	-1.92E+06	4.41	1.95
Melle	151,8	27	-32	17	-21	5.14E+01	-5.40E+01	2.89E+01	-3.60E+01	5.20E+05	-9.86E+05	4.53	2.05
Boom	6,0	59	-72	44	-59	712	-766	411	-429	8.64E+06	-1.11E+07	5.01	0.37
Walem	11,3	58	-69	39	-60	462	-516	246	-285	5.16E+06	-7.35E+06	5.03	0.51
Duffel	21,7	49	-58	28	-40	104	-91	56	-47	8.39E+05	-1.40E+06	5.08	1.17
Lier-Molbrug	25,7	75	-76	46	-53	76	-65	40	-30	5.22E+05	-1.06E+06	4.91	2.28
Emblem	31,6	61	-69	41	-50	15	-22	9	-10	8.56E+04	-3.69E+05	4.69	3.10
Lier-Maasfort	0,6	98	-107	50	-59	37	-31	17	-14	2.18E+05	-4.77E+05	4.69	2.76
Kessel	6,9	87	-94	44	-61	13	-17	7	-9	6.72E+04	-3.24E+05	4.54	3.21
Mechelen	6,0	58	-185	24	-97	38	-101	16	-40	2.46E+05	-1.28E+06	5.04	0.84
Rijmenam	7,1	33	-13	10	-7	7	-9	3	-6	2.27E+04	-2.02E+04	3.38	0.88
Hombeek	6,8	34	-104	19	-65	16	-24	8	-10	7.20E+04	-3.99E+05	5.20	2.08

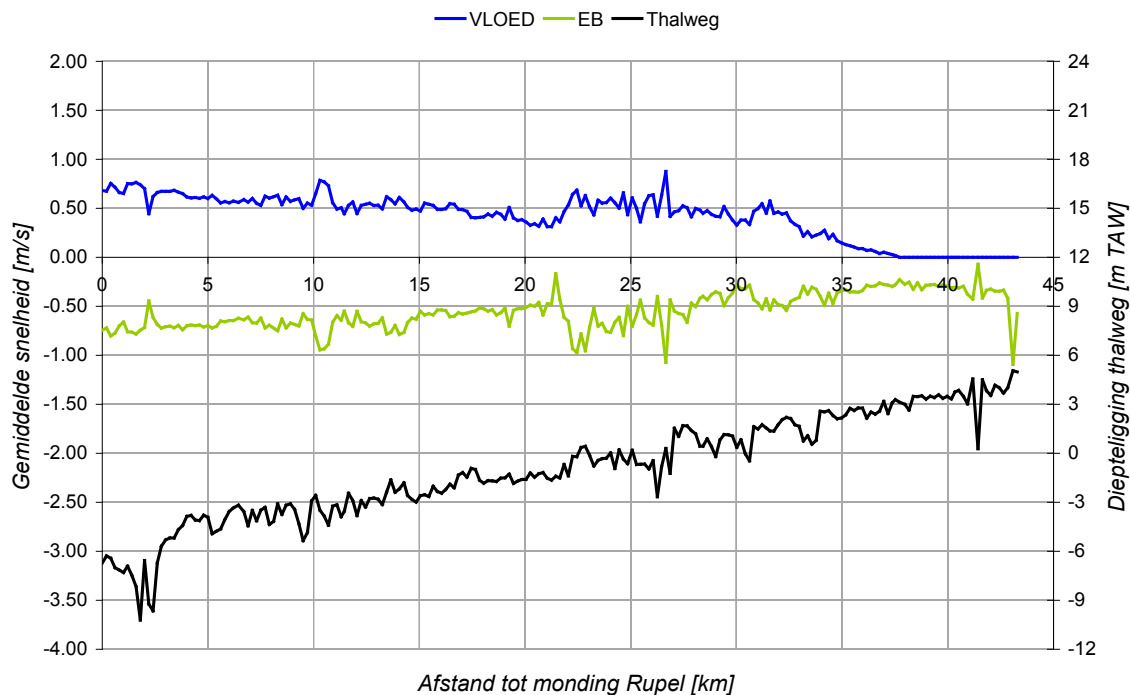
Tielrode	0,8	75	-52	33	-43	133	-160	61	-70	1.31E+06	-1.75E+06	5.06	0.41
Waasmunster	6,1	13	-7	7	-4	3	-4	2	-2	1.86E+04	-7.78E+03	3.75	2.28

Tabel 12 – Overzicht procentuele verandering (afname) afgeleide grootheden gemiddeld doortij ten opzichte van gemiddeld getij

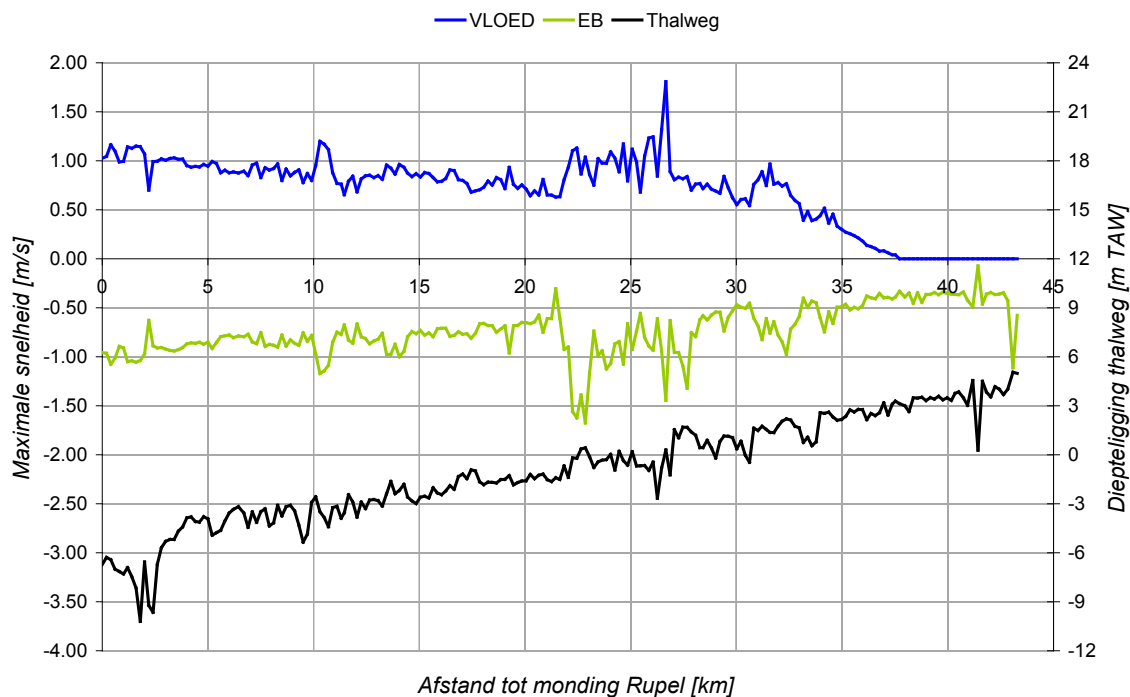
	$v_{\text{gem}}^{\text{vl}}$ [%]	$v_{\text{gem}}^{\text{eb}}$ [%]	$v_{\text{max}}^{\text{vl}}$ [%]	$v_{\text{max}}^{\text{eb}}$ [%]	$Q_{\text{gem}}^{\text{vl}}$ [%]	$Q_{\text{gem}}^{\text{eb}}$ [%]	$Q_{\text{max}}^{\text{vl}}$ [%]	$Q_{\text{max}}^{\text{eb}}$ [%]	V^{vl} [%]	V^{eb} [%]
Westerschelde	-30.6±2.3	-12.3±2.7	-22.6±1.5	-14.3±2.4	-33.4±2.4	-15.7±2.5	-24.5±1.5	-16.5±2.0	-21.8±1.1	-13.6±1.3
Beneden Zeeschelde	-29.2±1.7	-4.8±1.6	-19.9±1.3	-11.6±1.6	-32.4±1.9	-6.0±1.7	-21.8±1.2	-13.6±1.6	-18.6±0.2	-10.2±0.2
Boven Zeeschelde	-24.8±5.5	-10.8±4.2	-18.7±2.6	-9.1±2.3	-27.3±4.8	-13.5±7.6	-21.6±2.5	-13.2±2.3	-18.0±0.8	-10.5±0.2
Rupel	-25.0±5.0	-5.5±9.0	-19.5±3.3	-6.8±13.4	-29.2±3.0	-14.5±14.0	-23.8±3.9	-14.2±12.4	-20.6±2.1	2.4±158.0

Bijlage 1A: Resultaten bijrivieren (gemiddeld getij)

Rupel en Kleine Nete

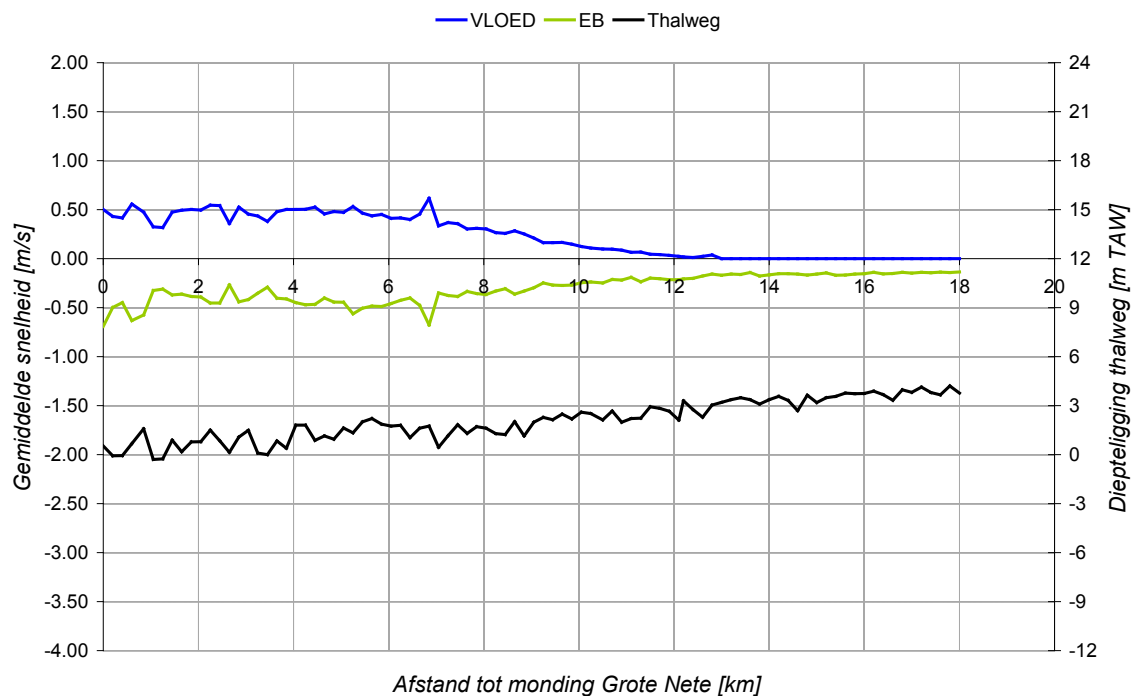


Figuur 57 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete

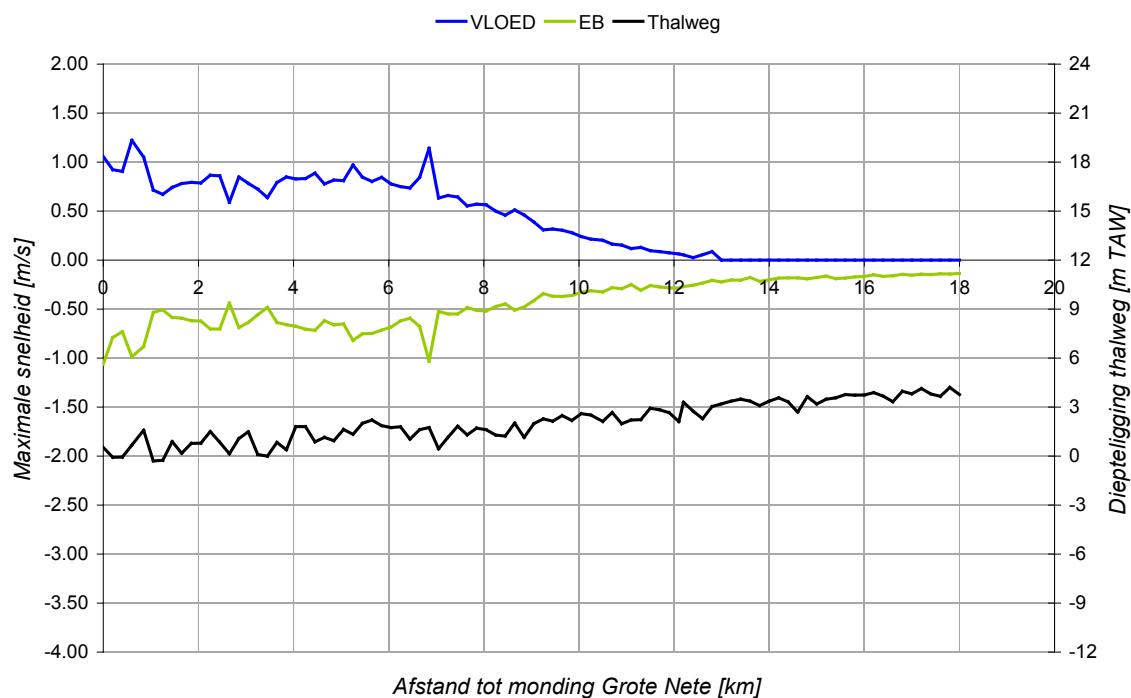


Figuur 58 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete

Grote Nete

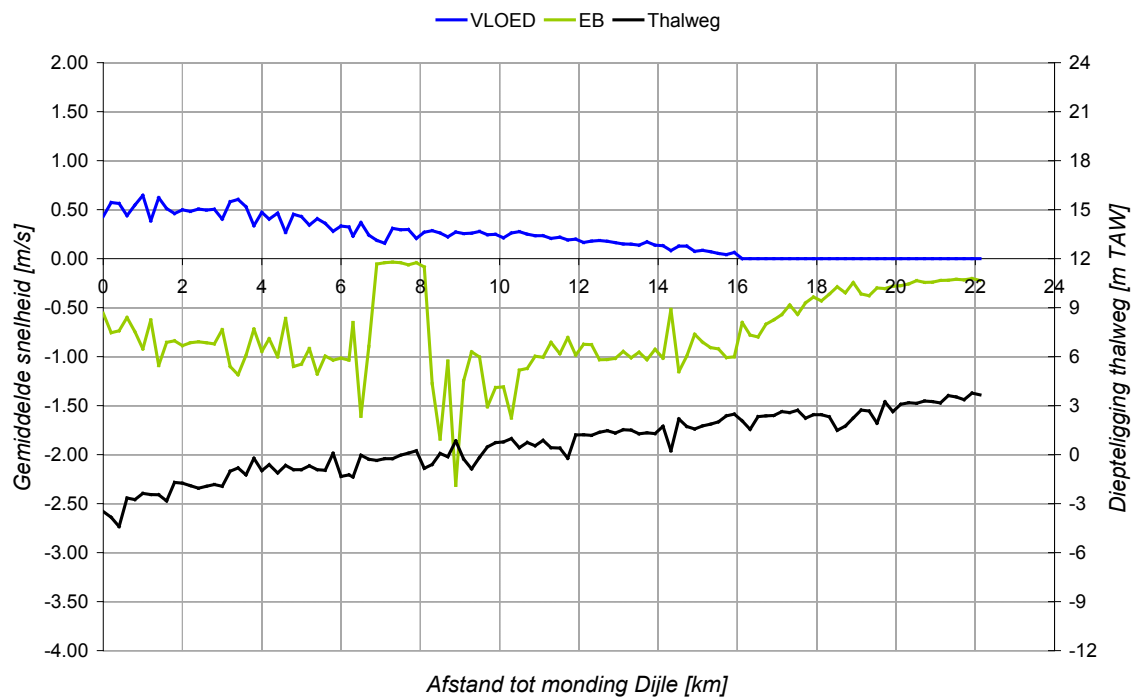


Figuur 59 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete

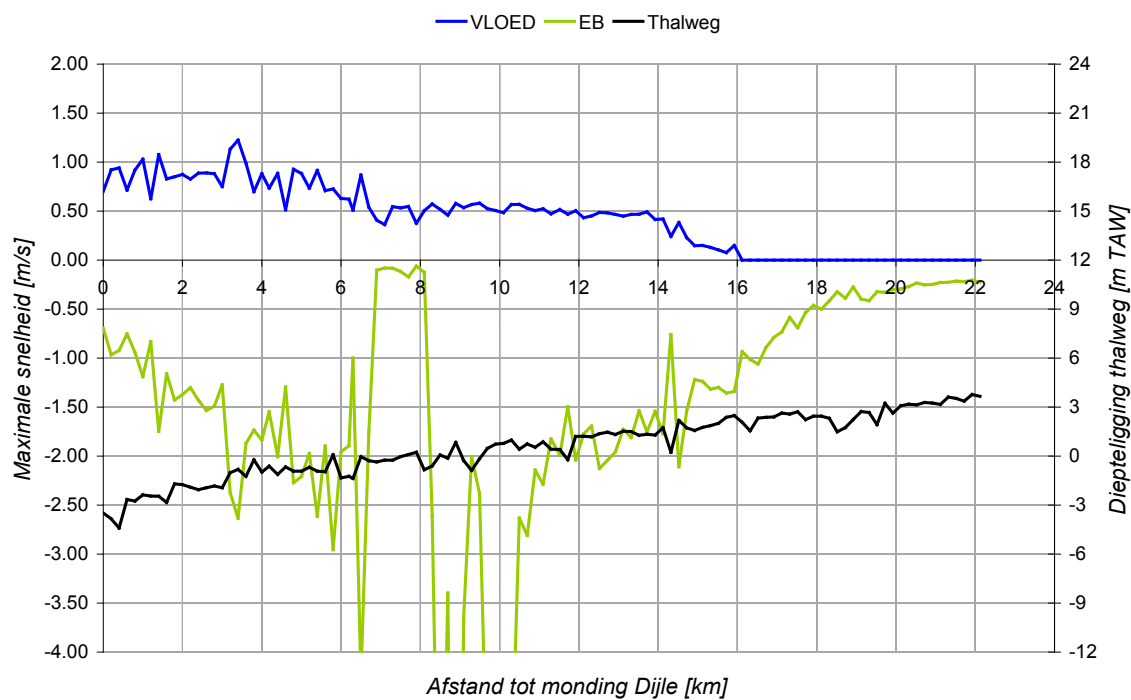


Figuur 60 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete

Dijle

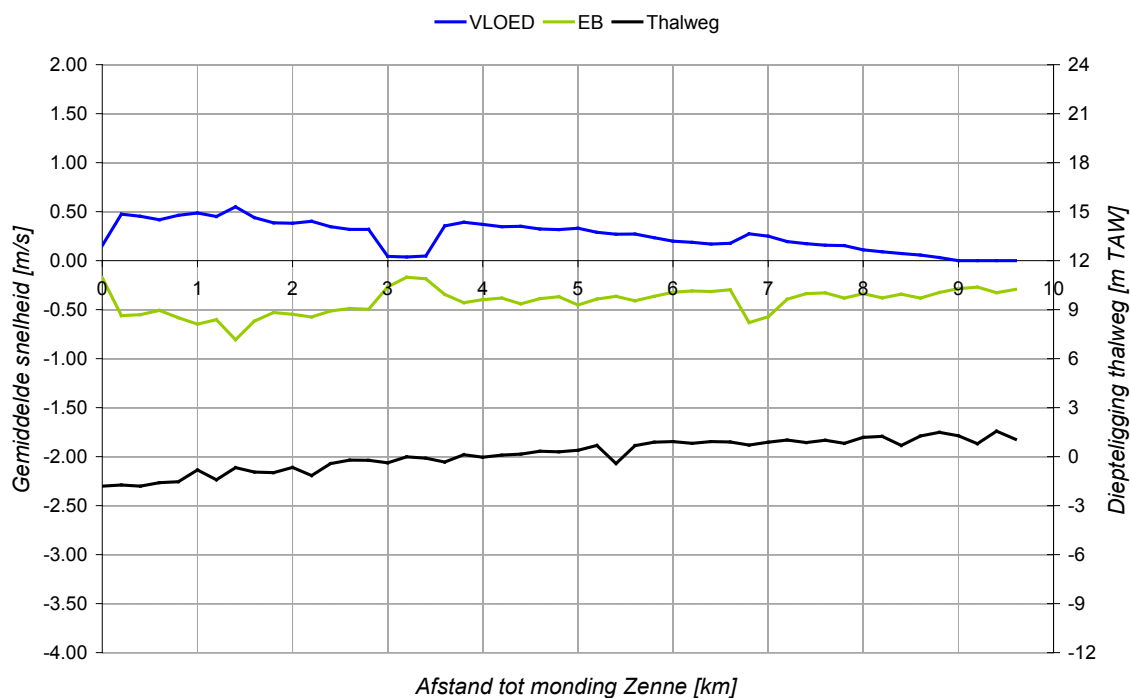


Figuur 61 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle

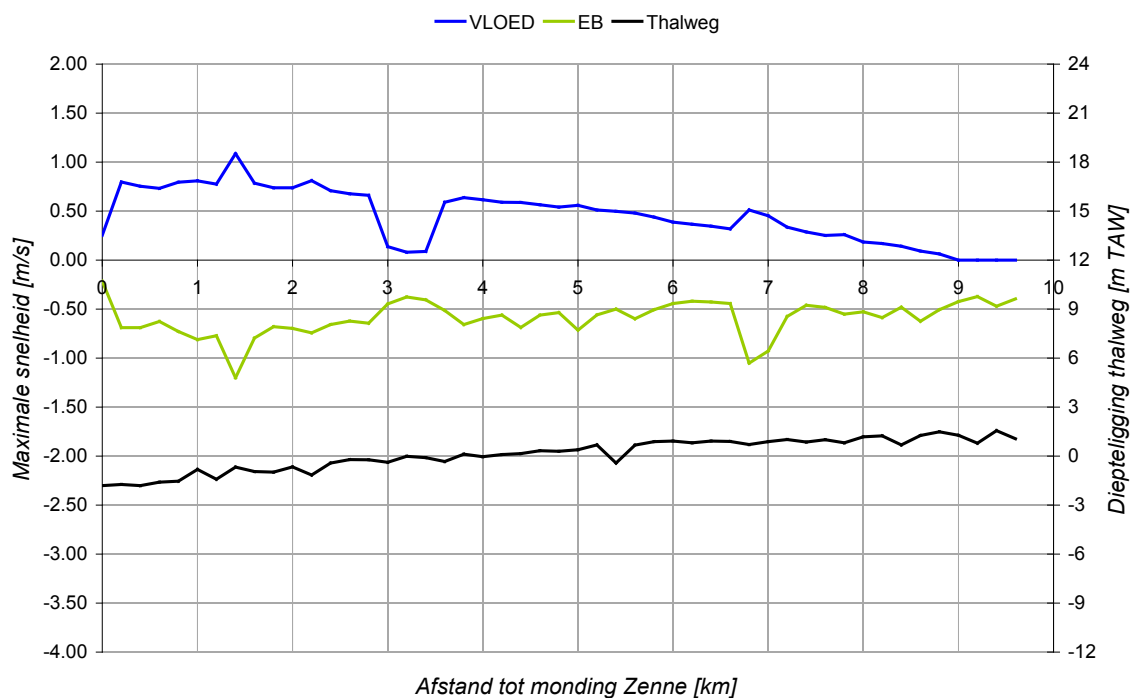


Figuur 62 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle

Zenne

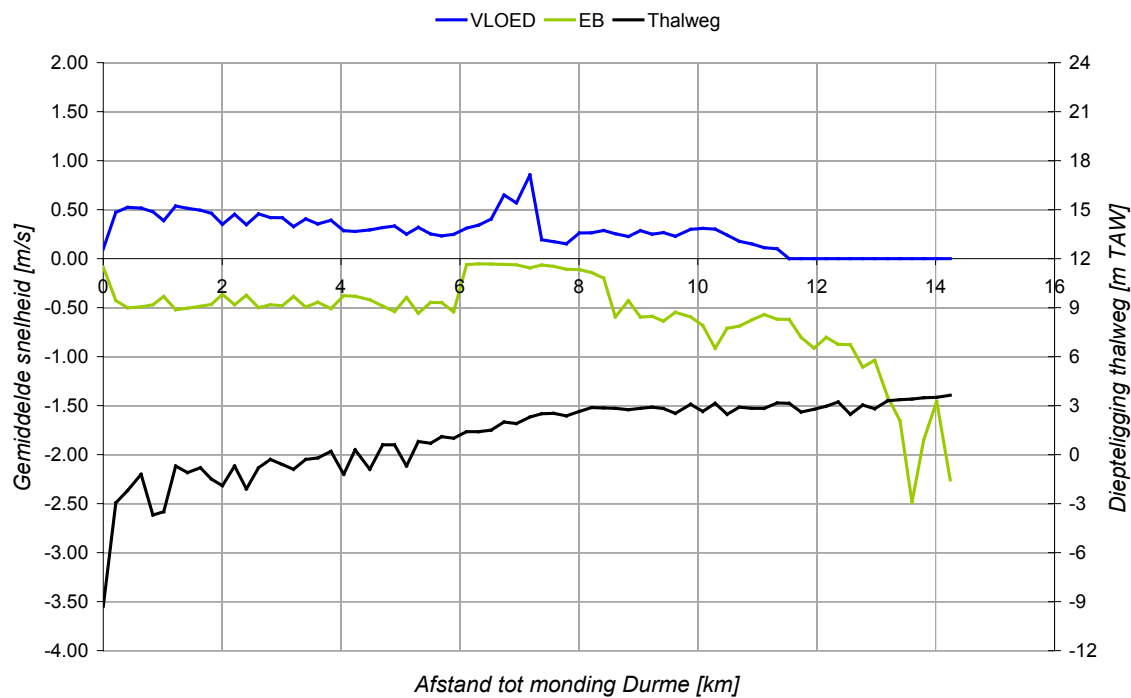


Figuur 63 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne

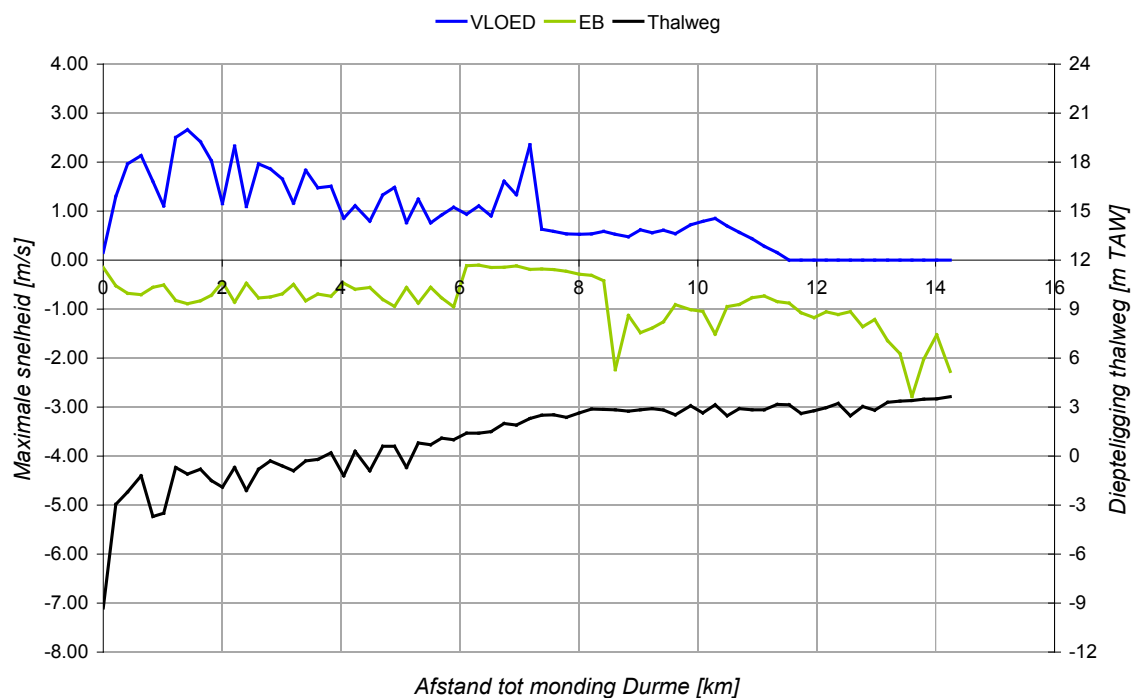


Figuur 64 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne

Durme



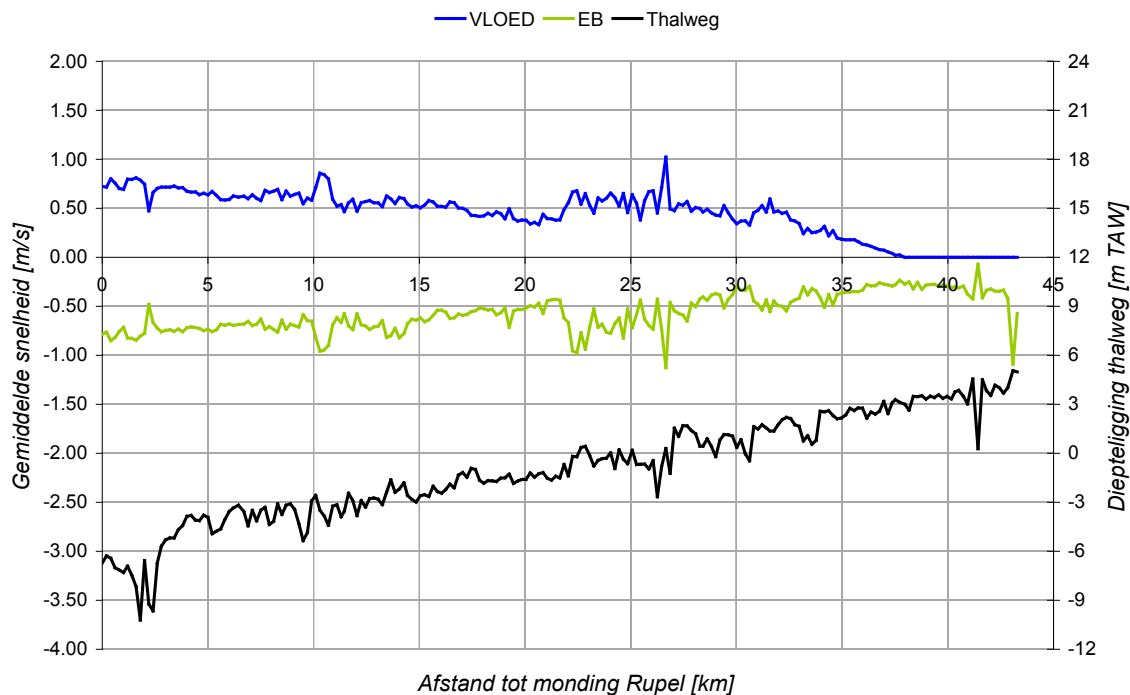
Figuur 65 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme



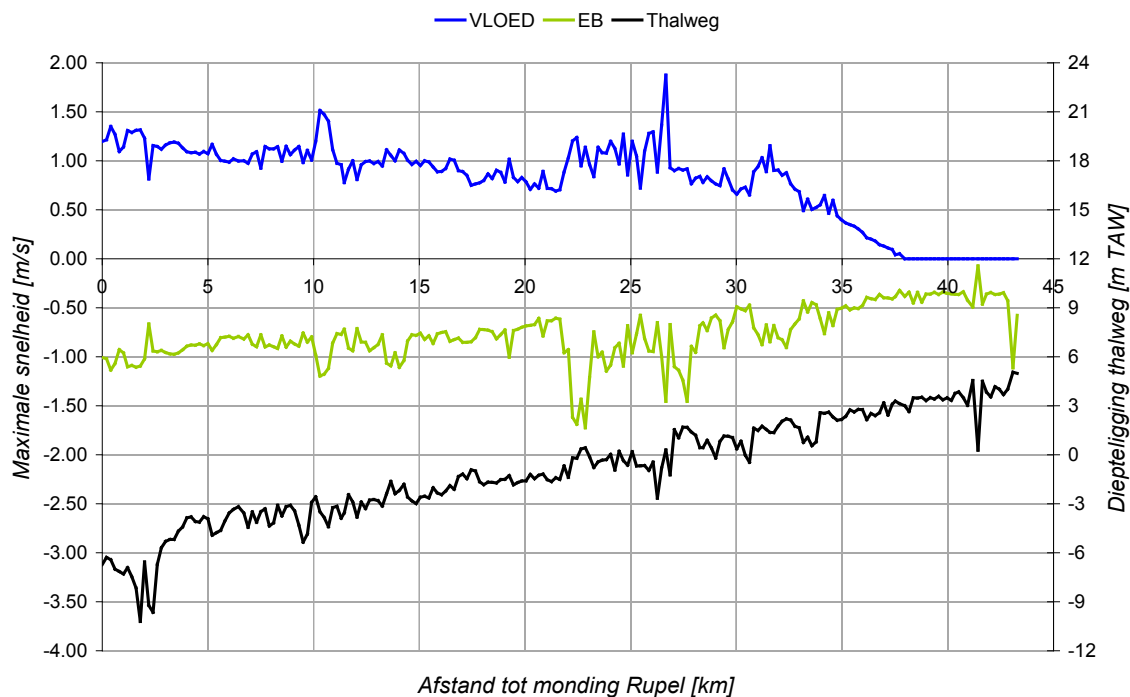
Figuur 66 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme

Bijlage 1B: Resultaten bijrivieren (gemiddeld springtij)

Rupel en Kleine Nete

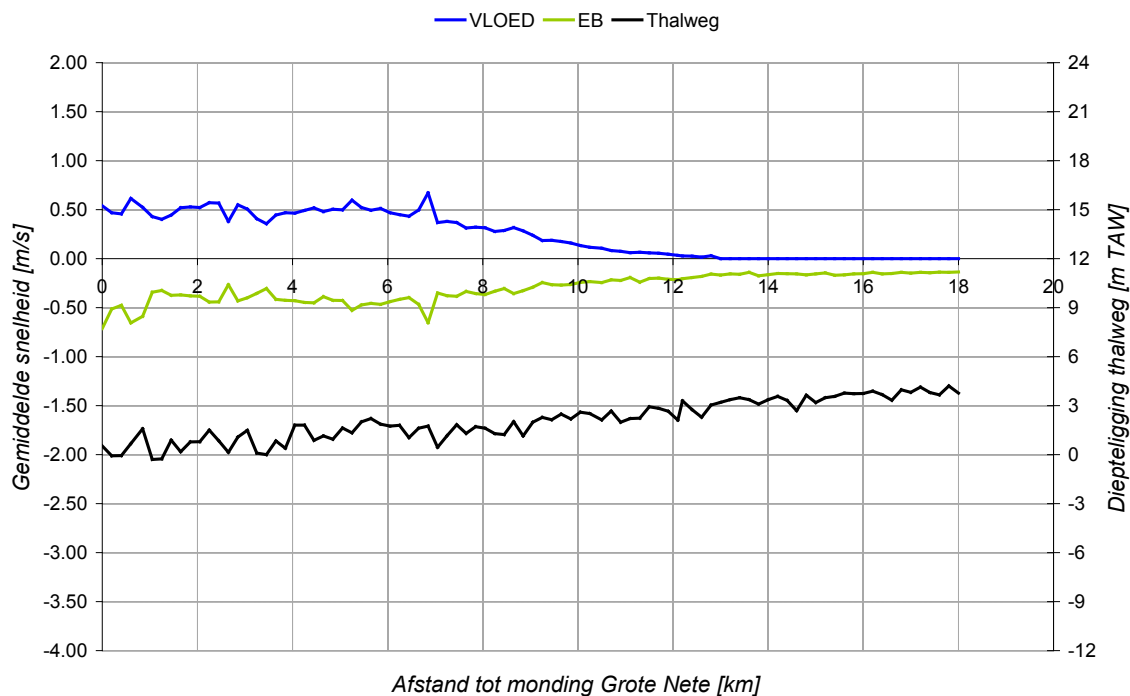


Figuur 67 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete

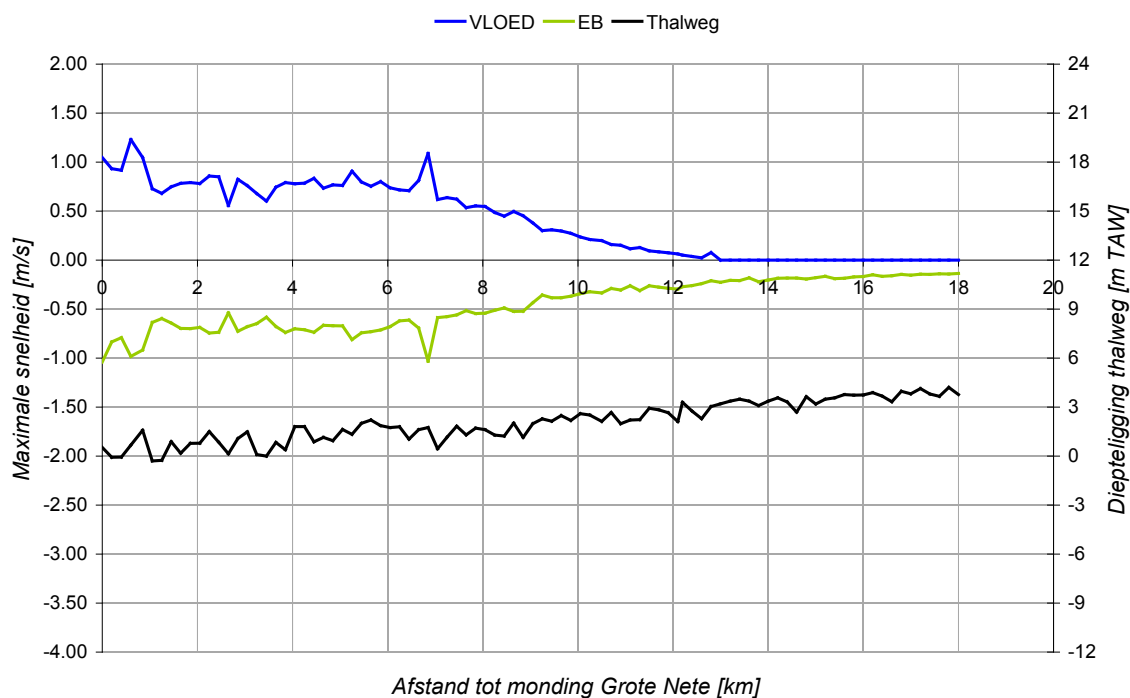


Figuur 68 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete

Grote Nete

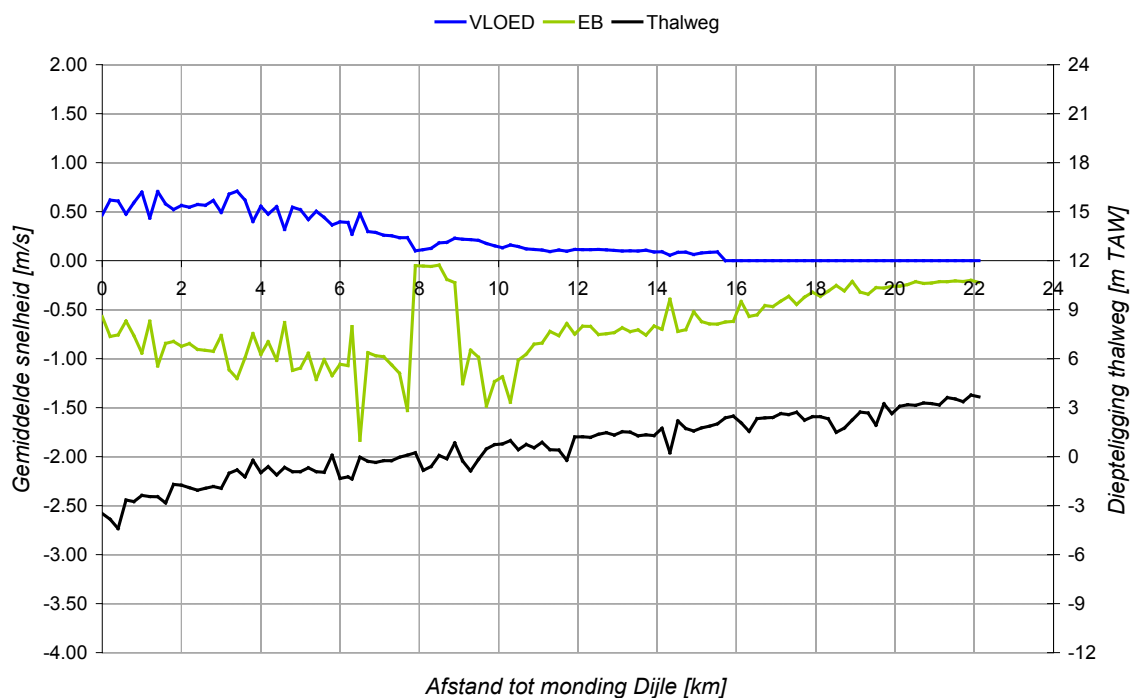


Figuur 69 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete

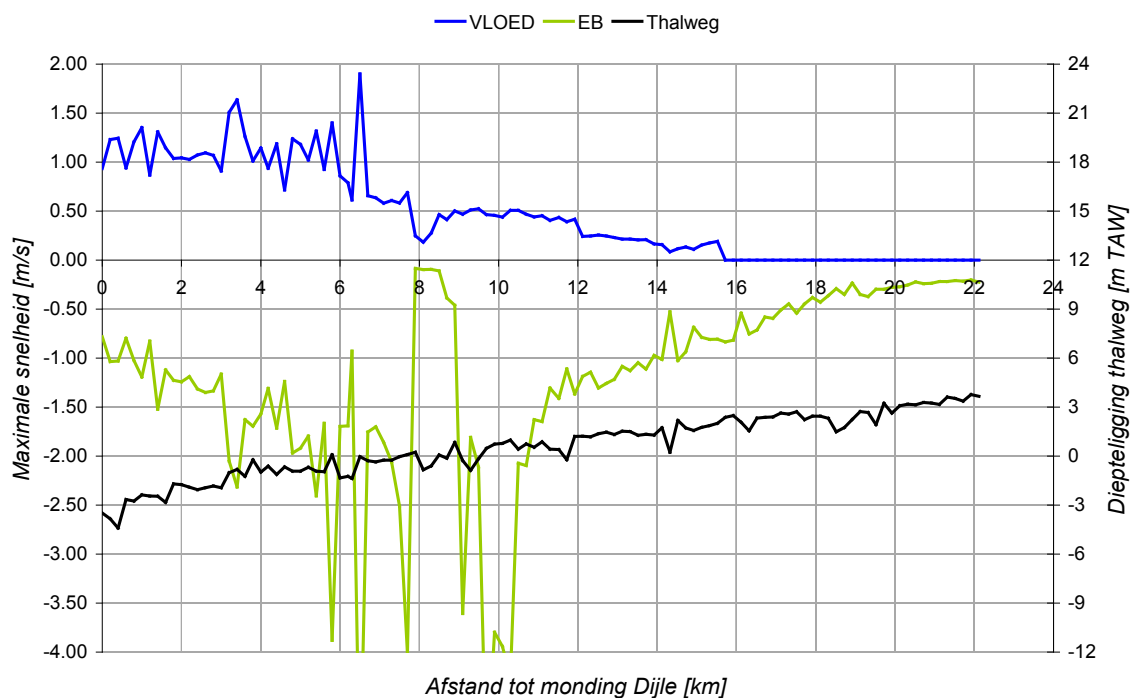


Figuur 70 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete

Dijle

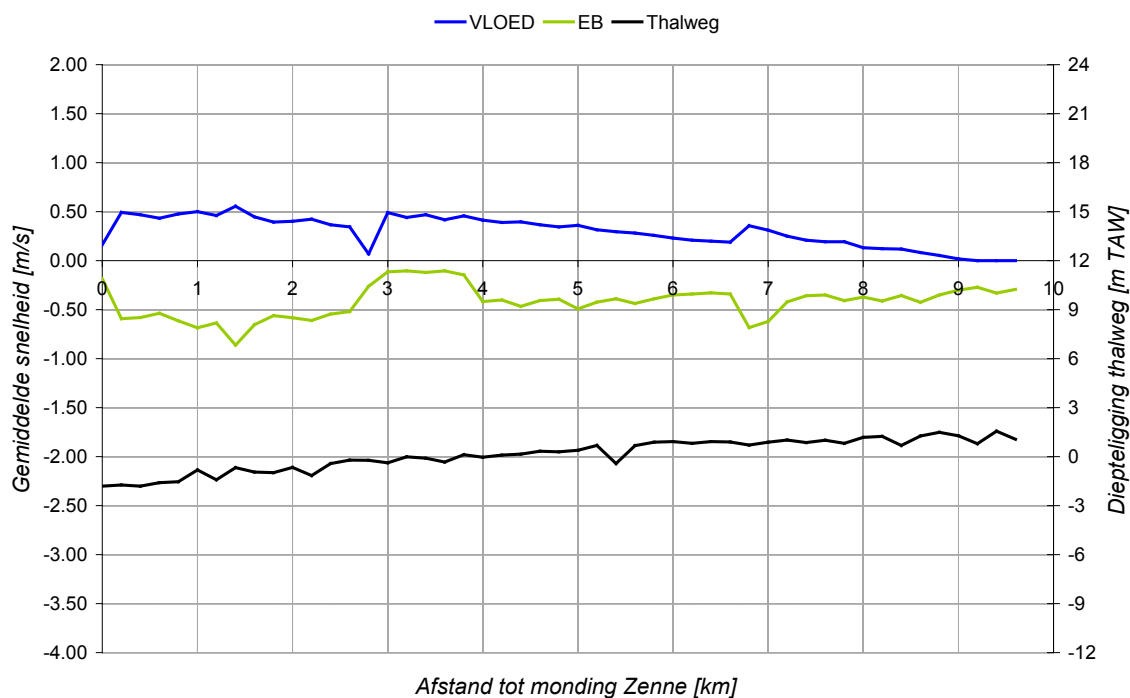


Figuur 71 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle

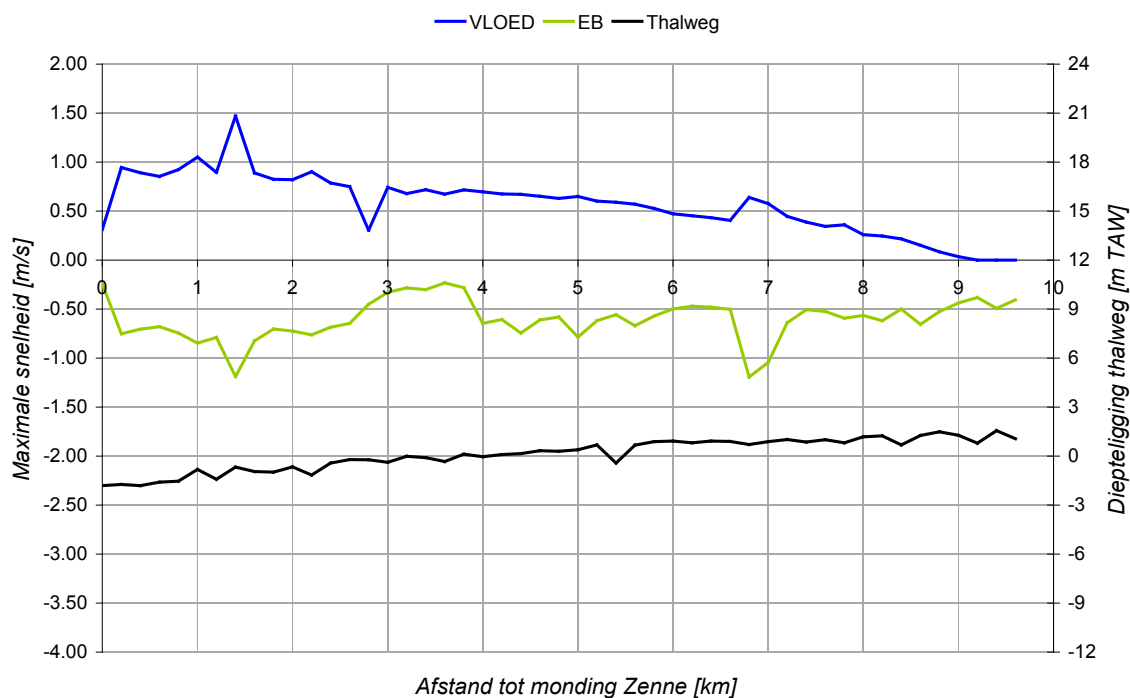


Figuur 72 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle

Zenne

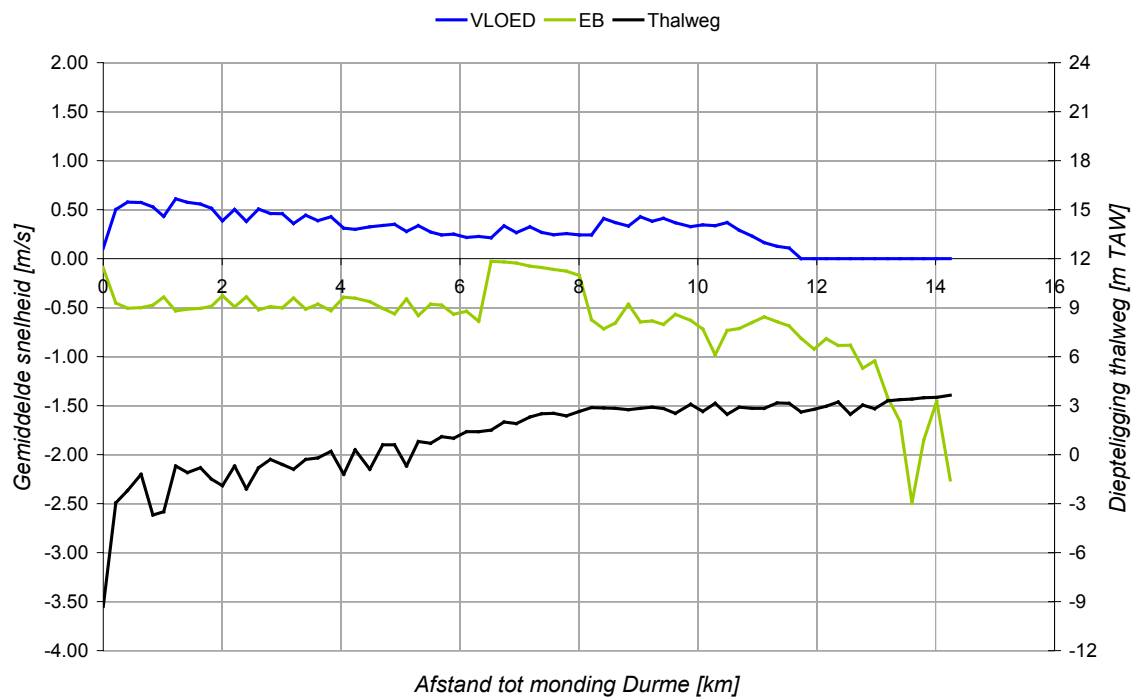


Figuur 73 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne

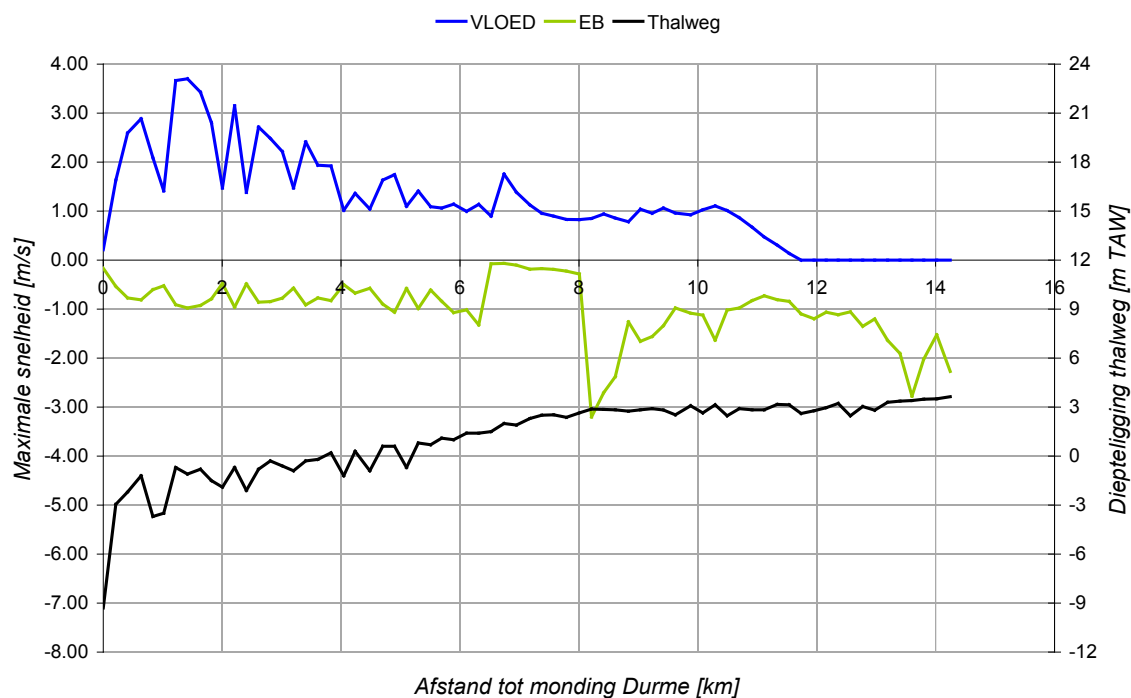


Figuur 74 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne

Durme



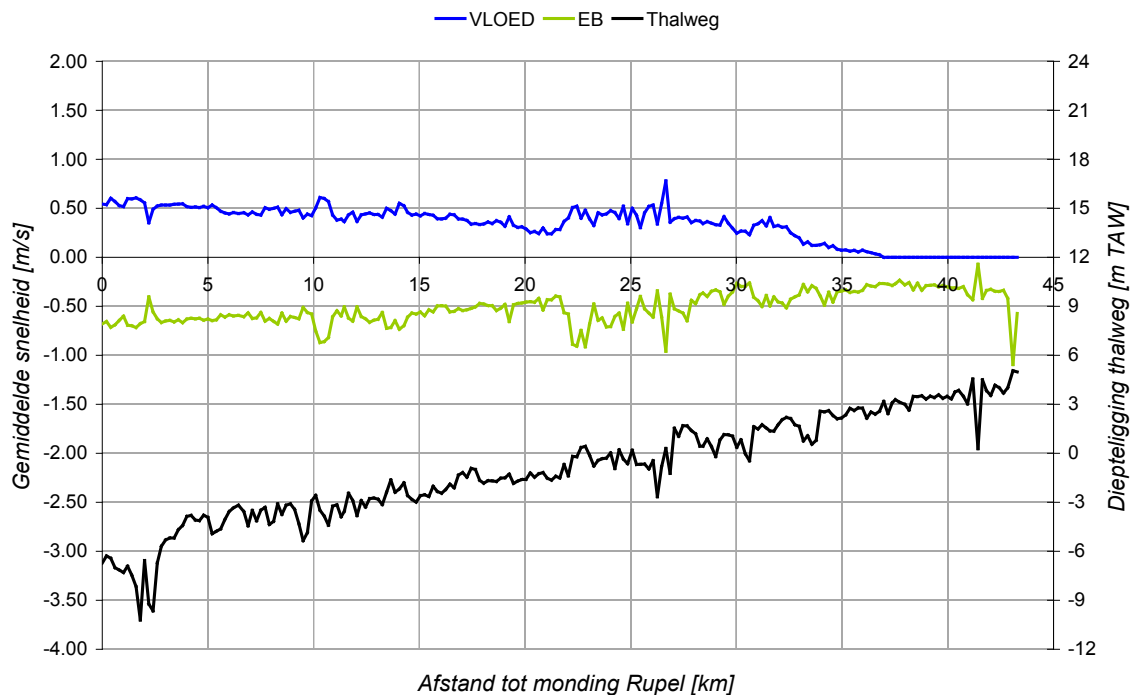
Figuur 75 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme



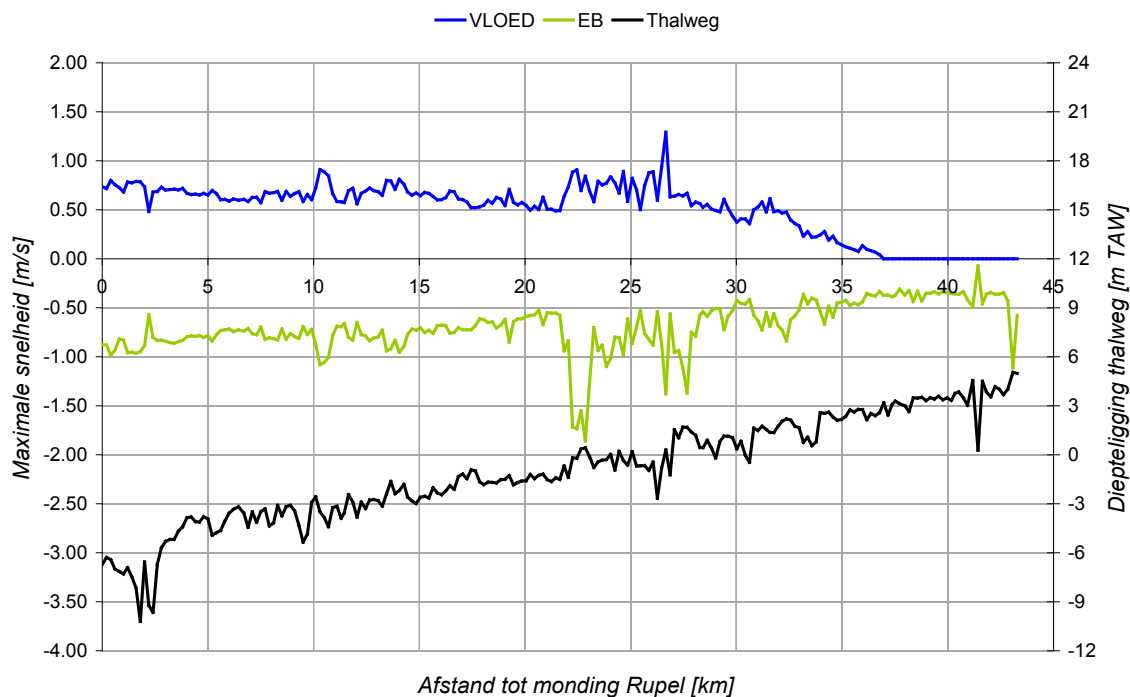
Figuur 76 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme

Bijlage 1C: Resultaten bijrivieren (gemiddeld doottij)

Rupel en Kleine Nete

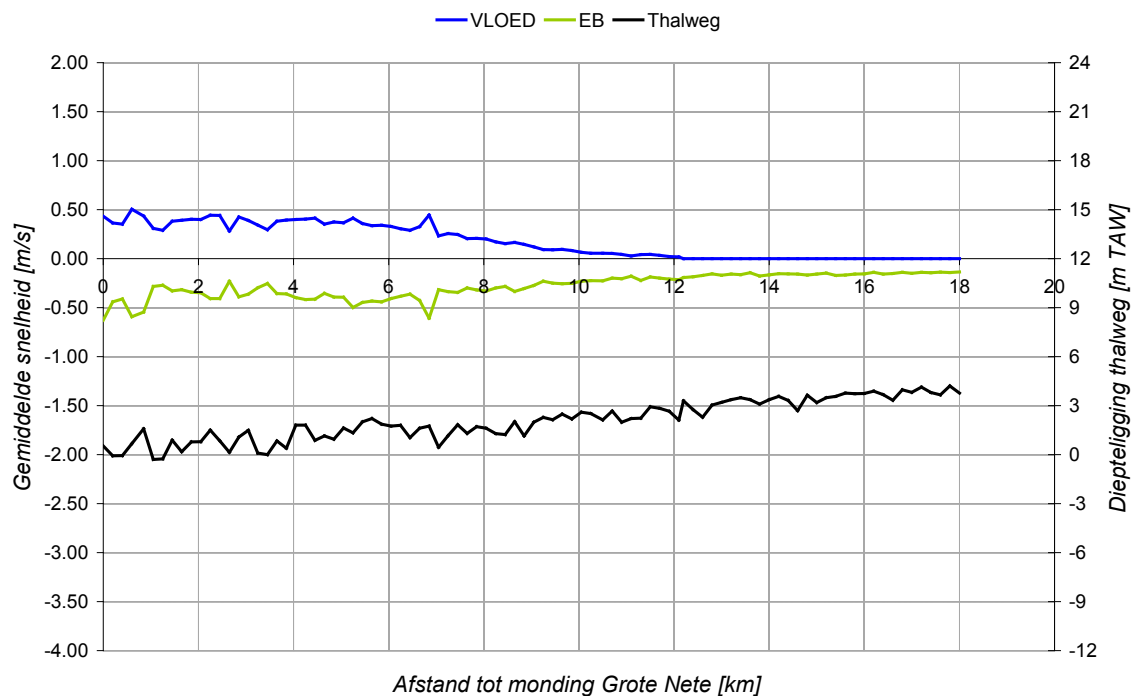


Figuur 77 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete

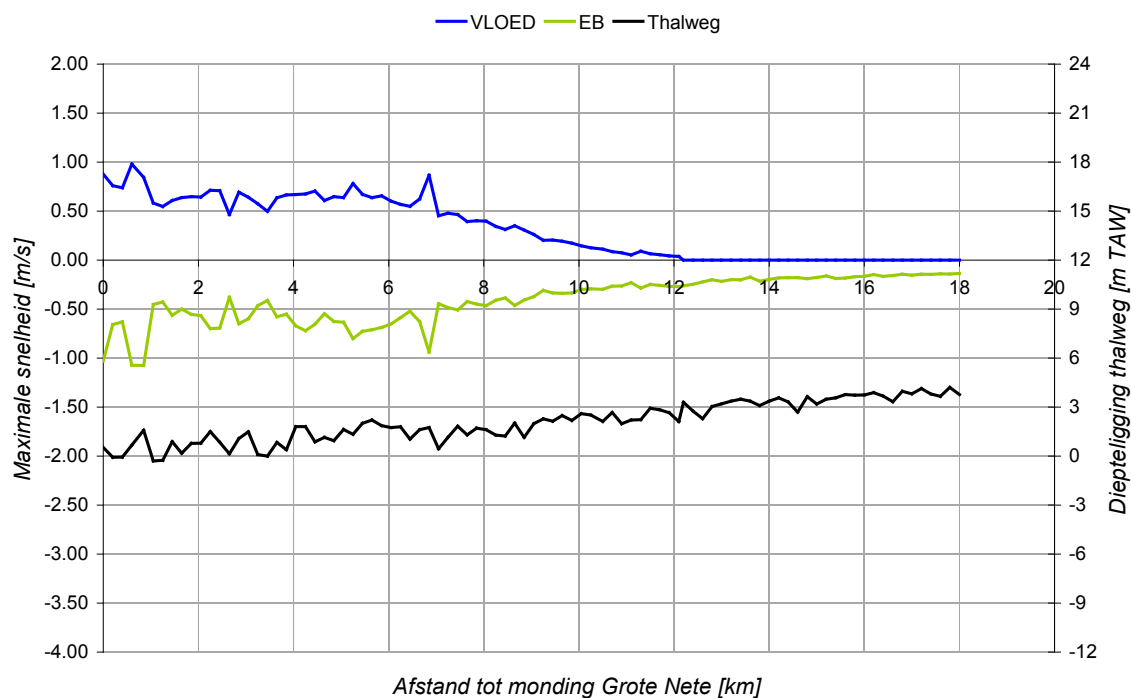


Figuur 78 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Rupel en Kleine Nete

Grote Nete

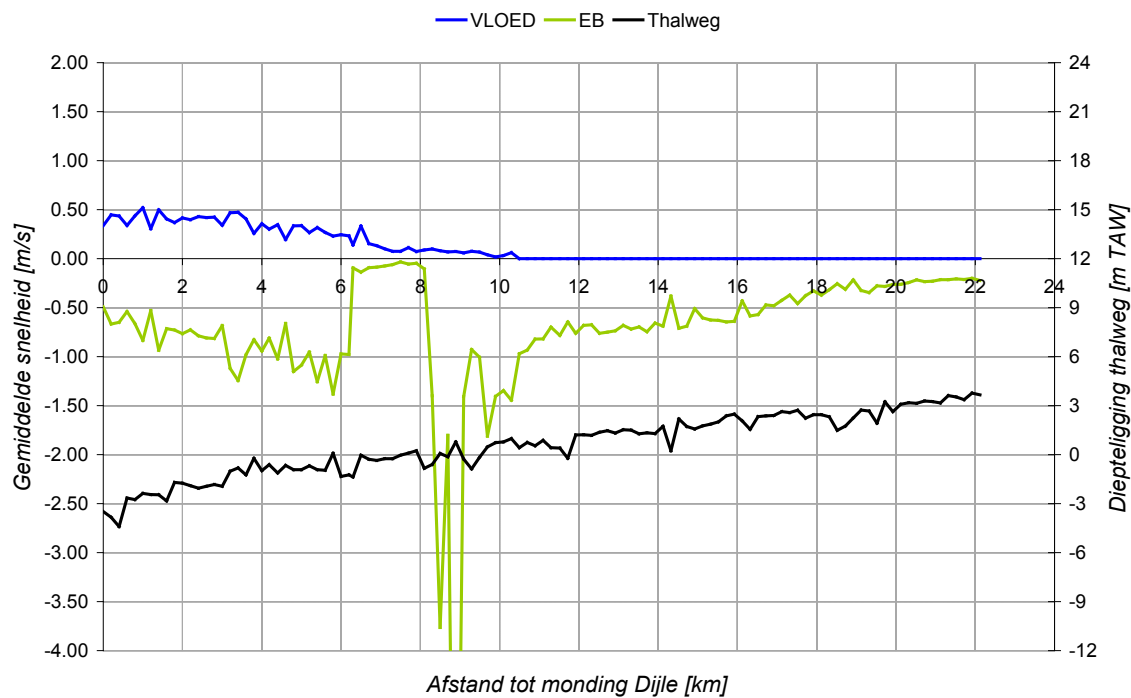


Figuur 79 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete

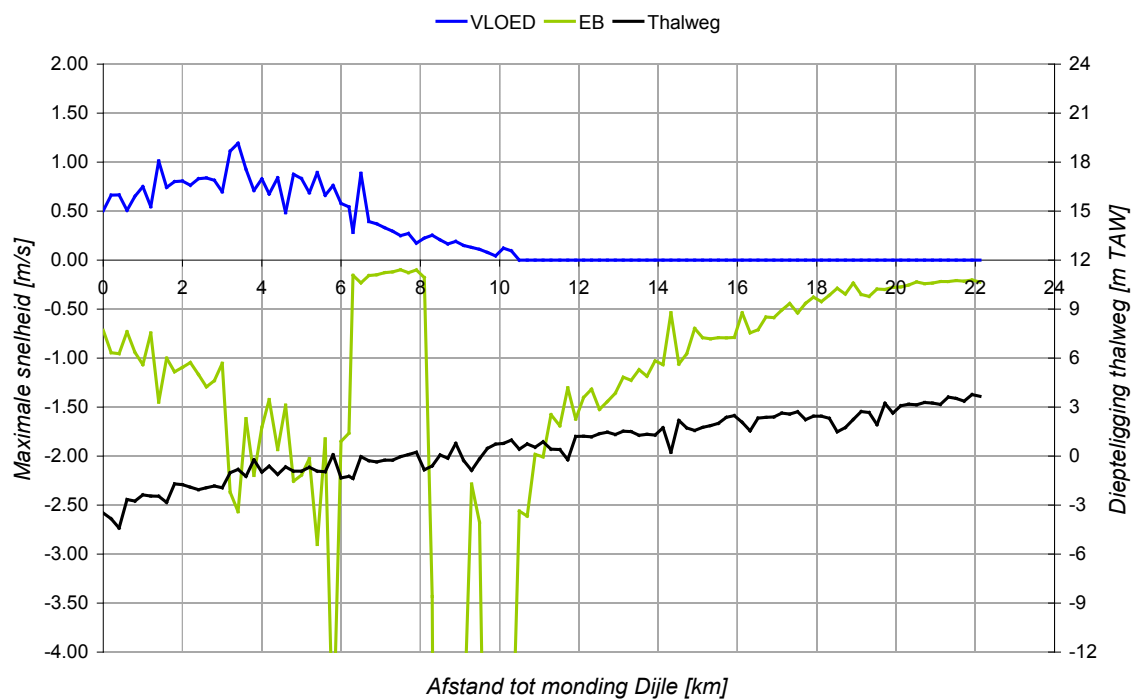


Figuur 80 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Grote Nete

Dijle

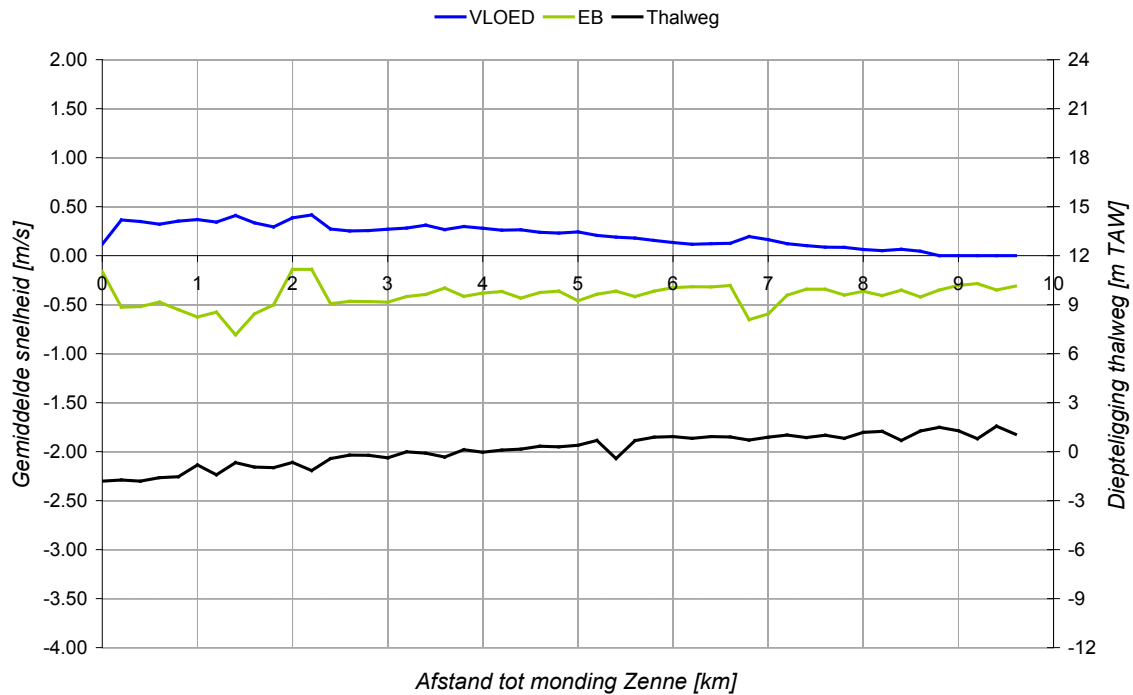


Figuur 81 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle

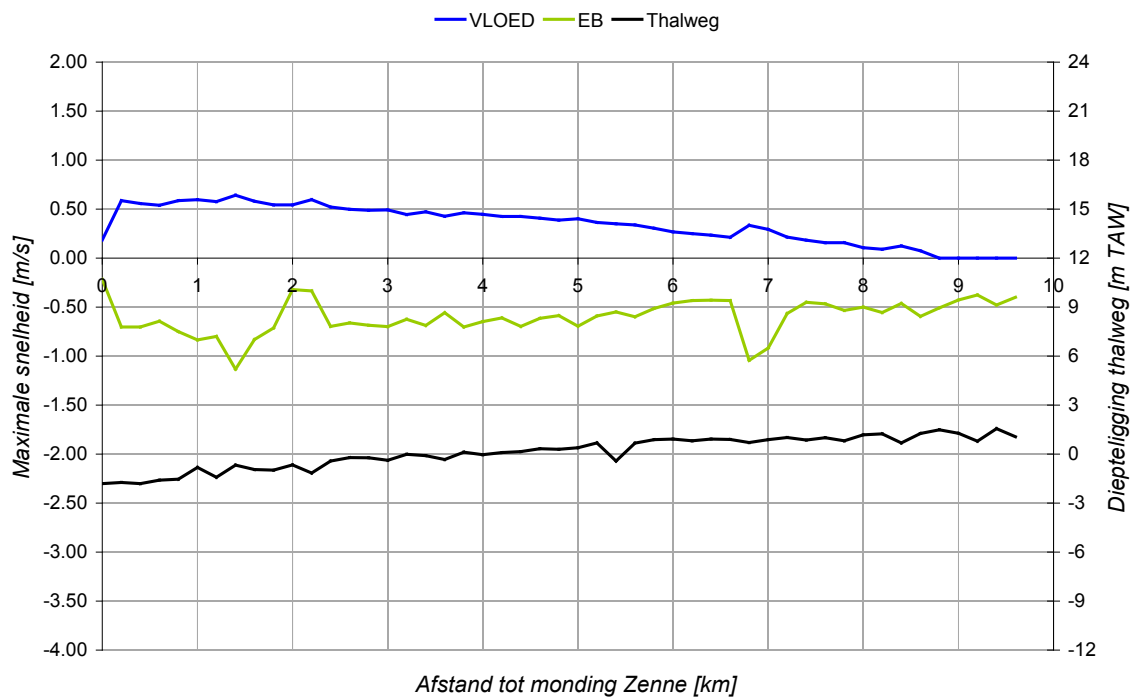


Figuur 82 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Dijle

Zenne

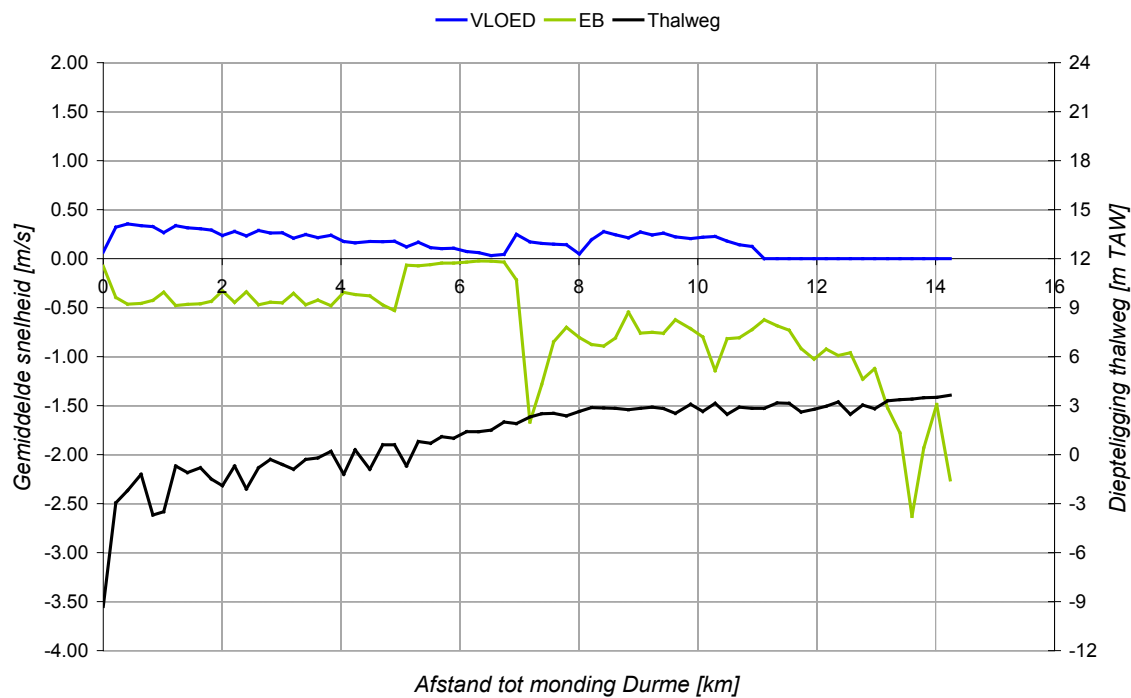


Figuur 83 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne

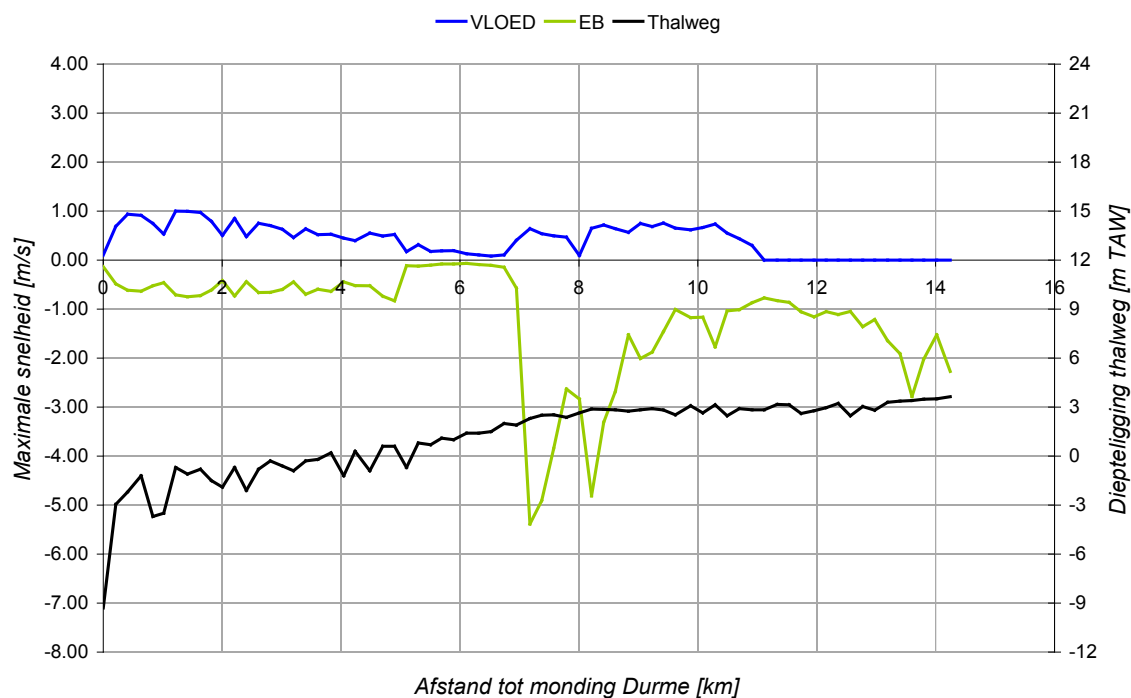


Figuur 84 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Zenne

Durme

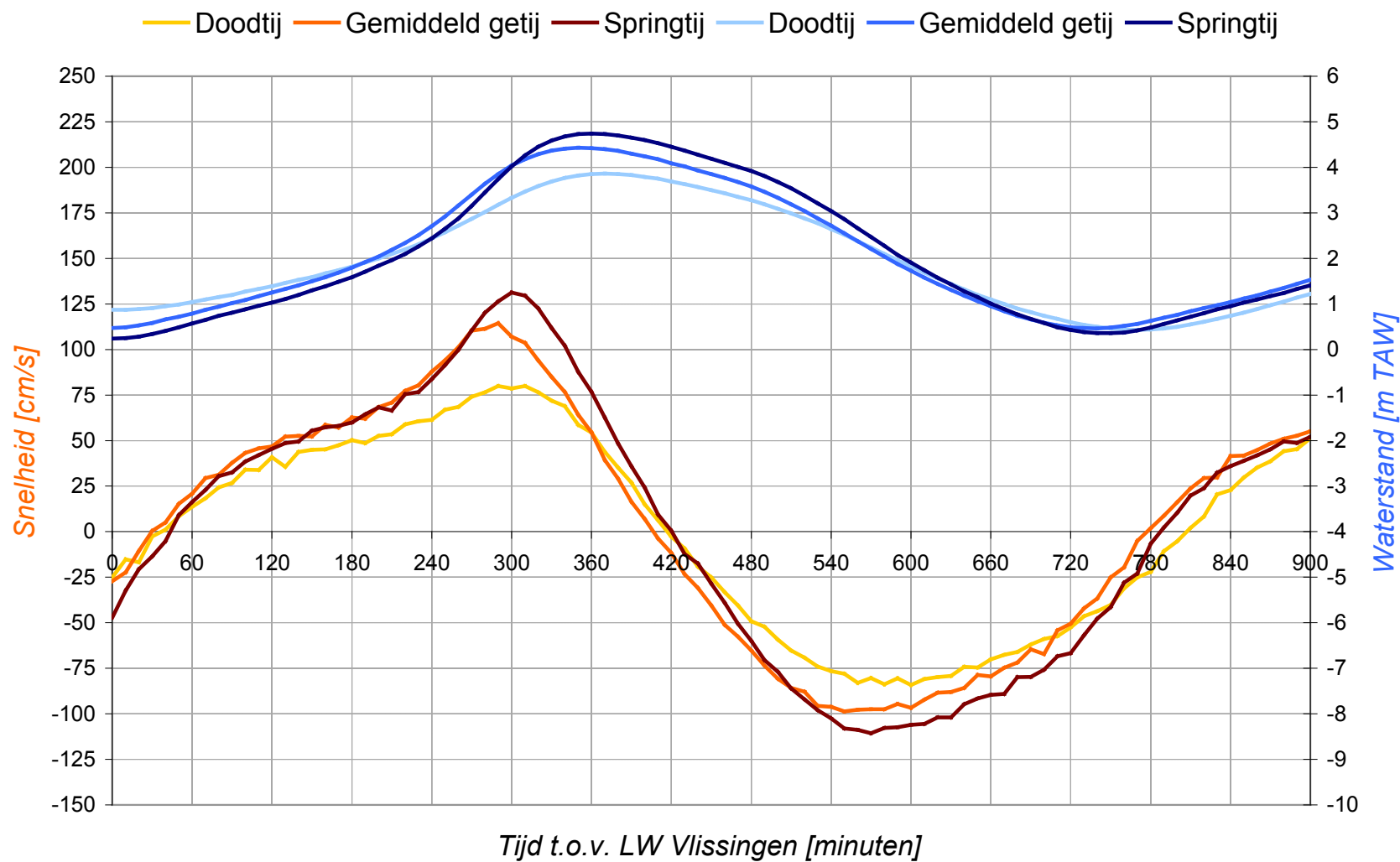


Figuur 85 – Verloop van de gemiddelde vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme

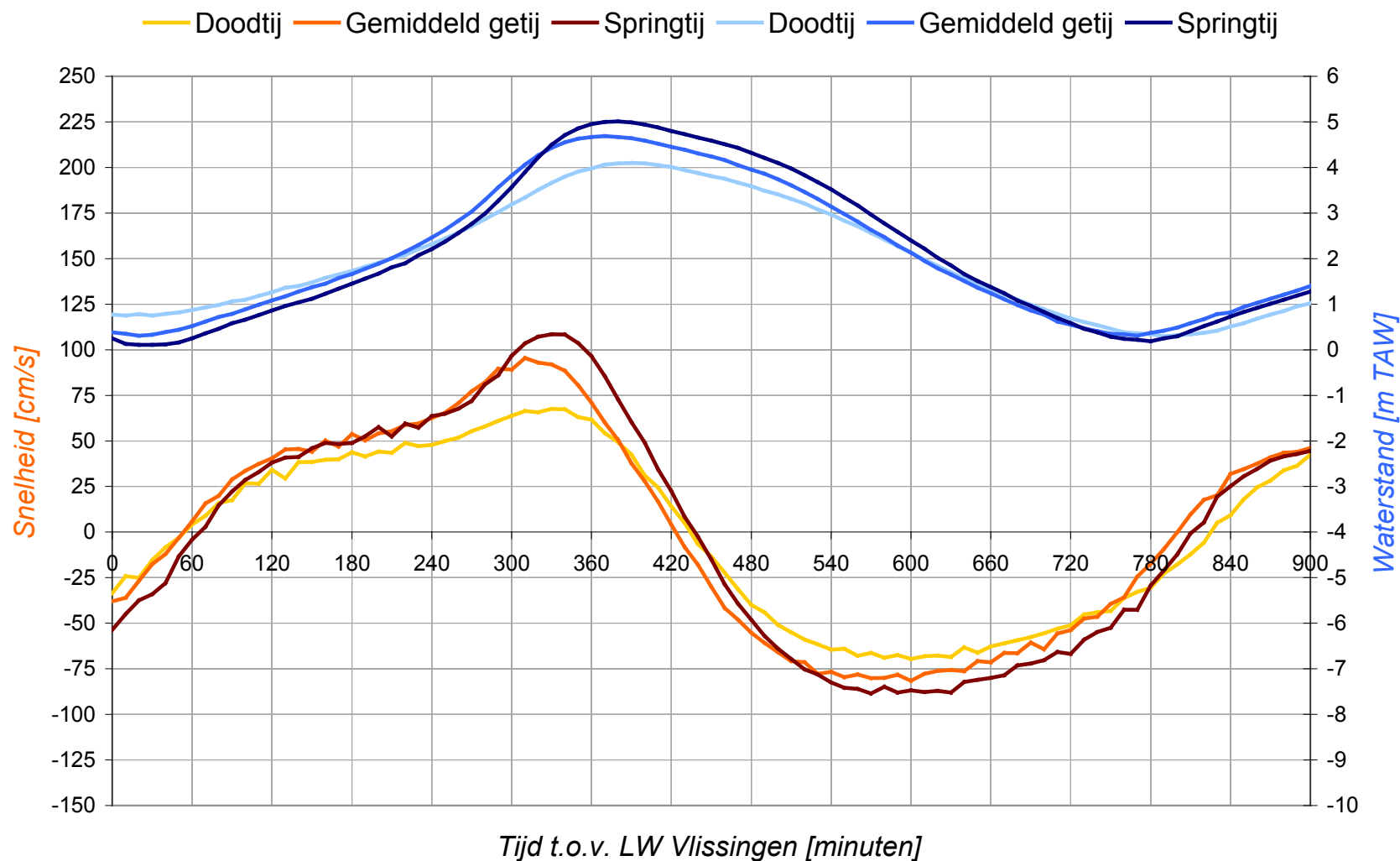


Figuur 86 – Verloop van de maximale vloed- (+) en eb (-) snelheid langsheen de Durme

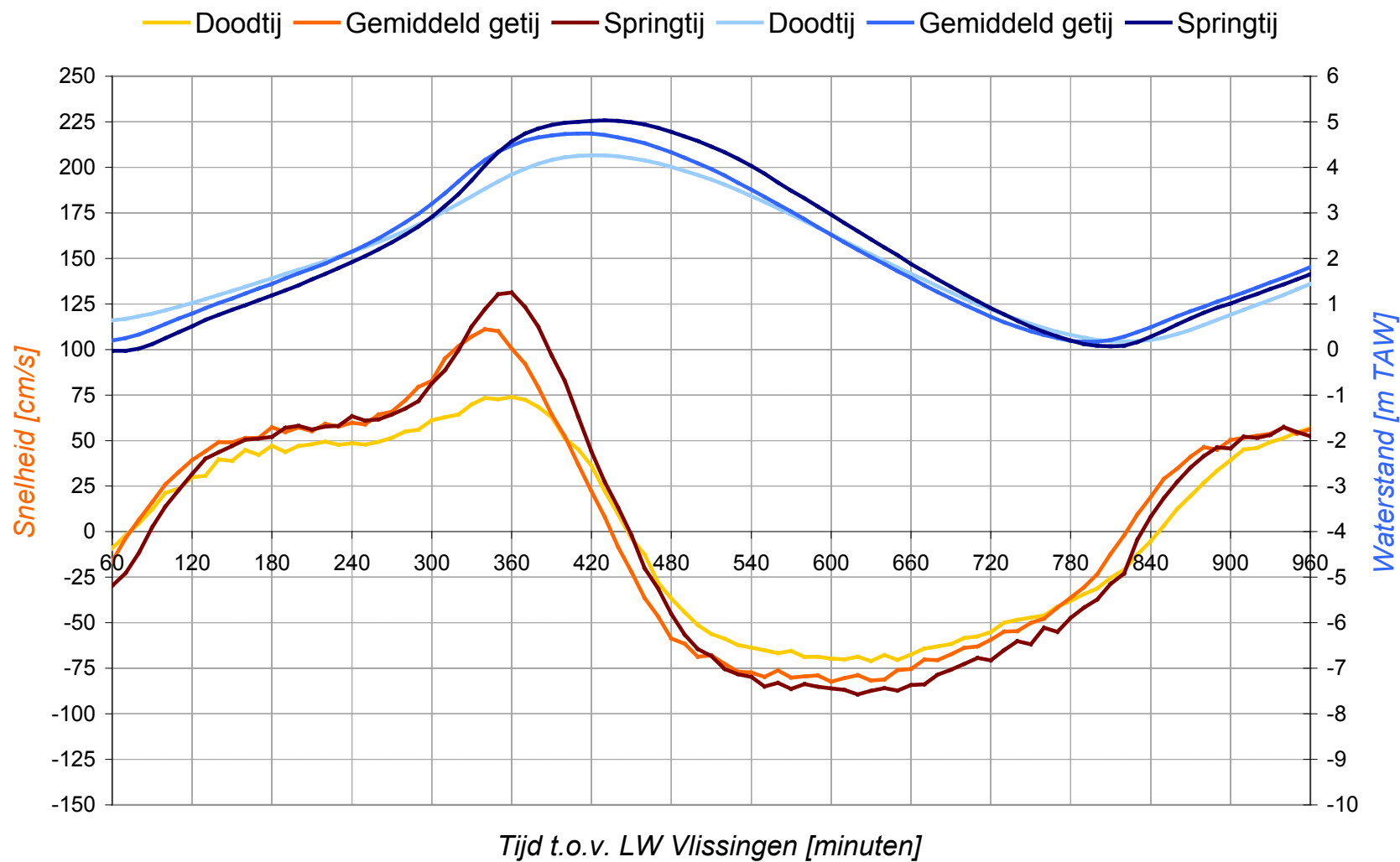
Bijlage 2: Verloop stroomsnelheid op de belangrijkste getijposten



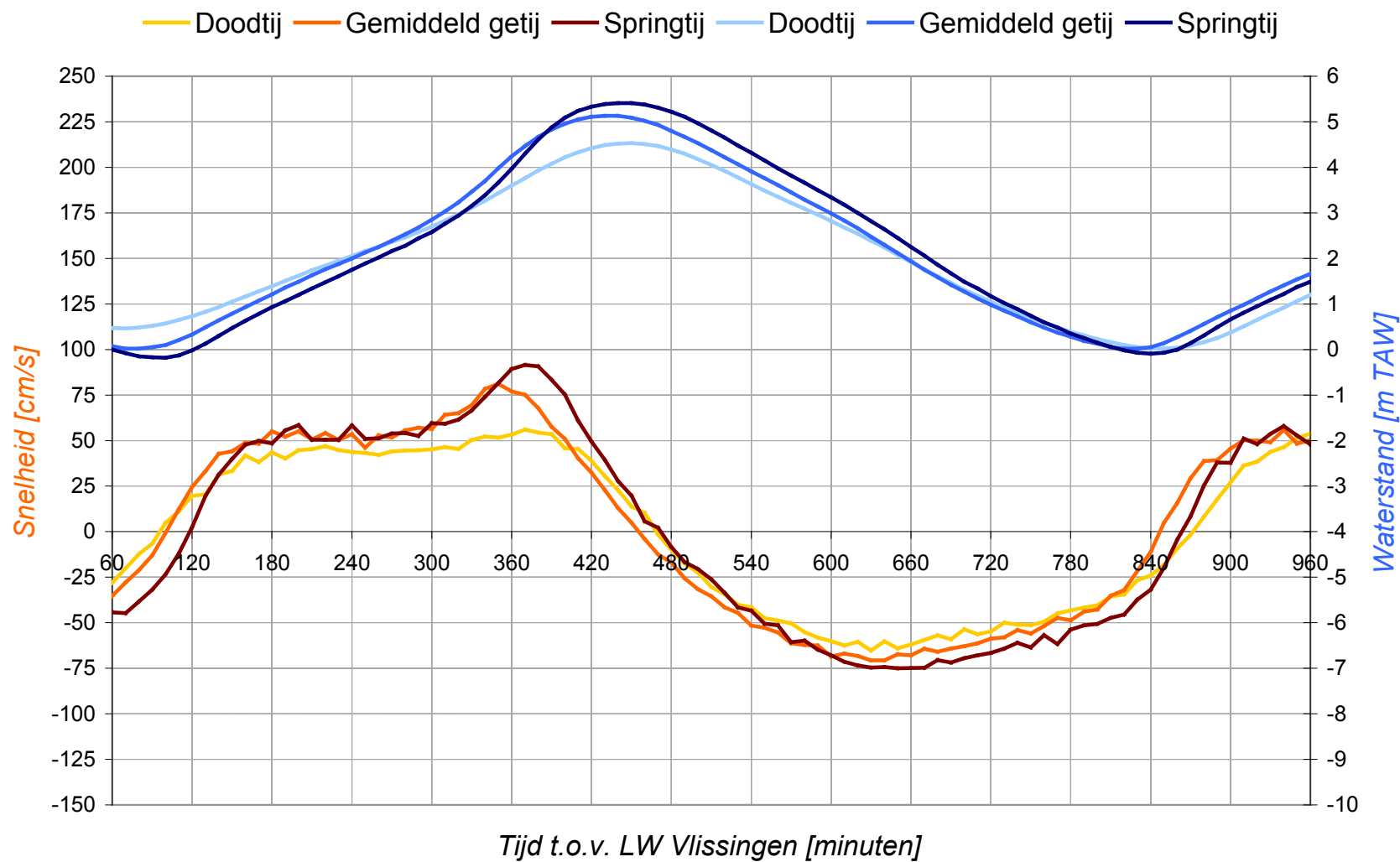
Figuur 87 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Vlissingen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



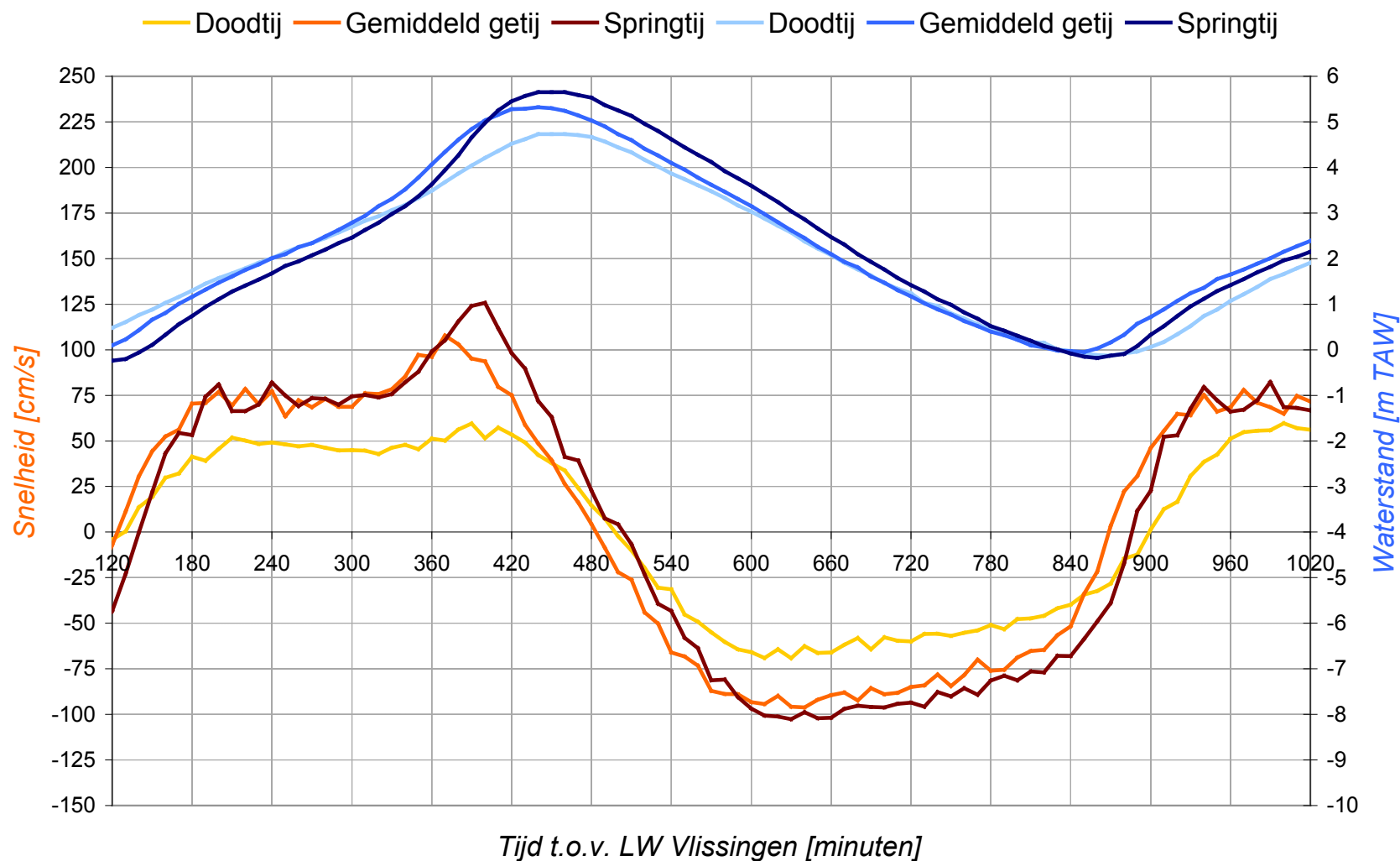
Figuur 88 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Terneuzen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



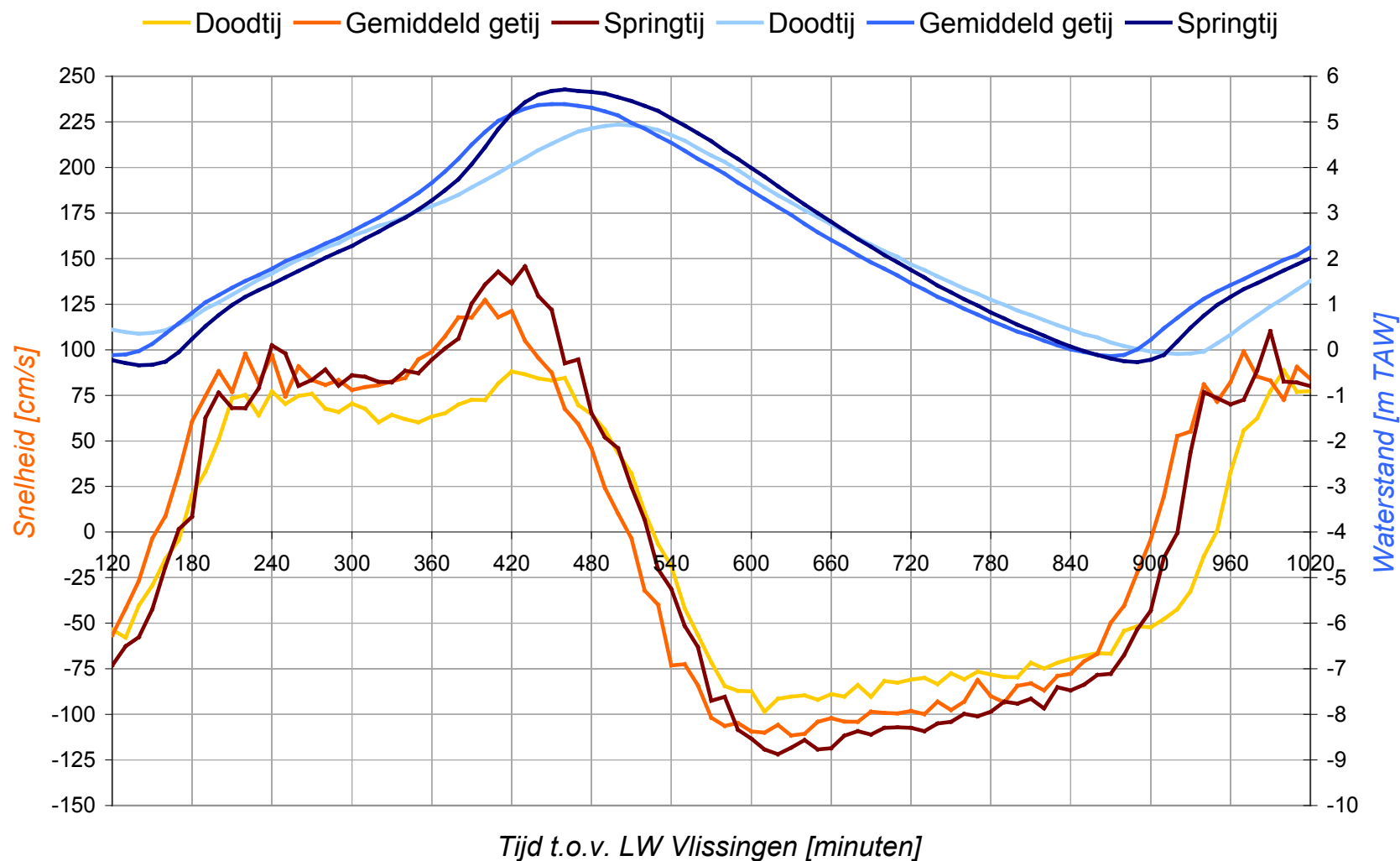
Figuur 89 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Hansweert bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doodtij



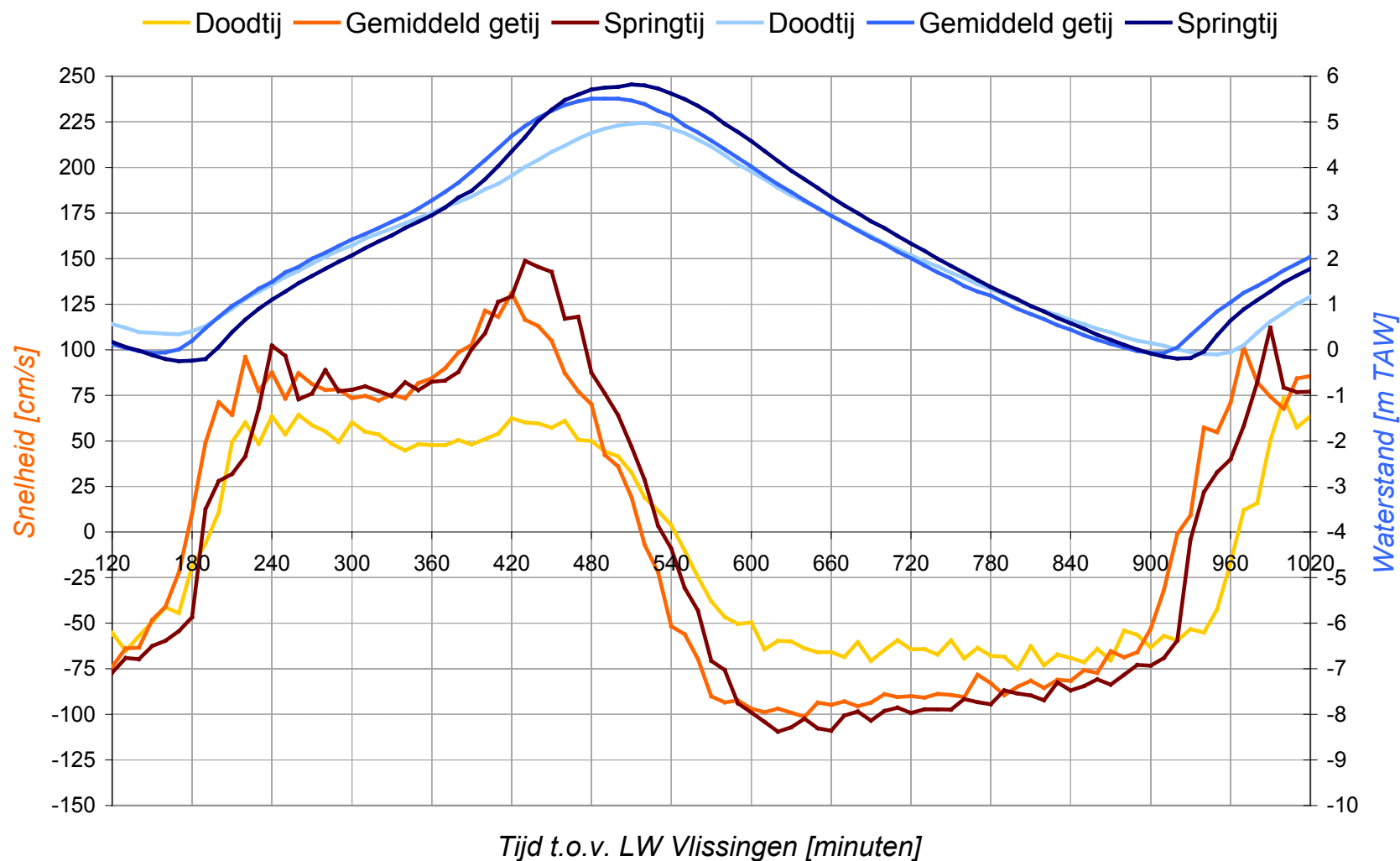
Figuur 90 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Bath bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doortij



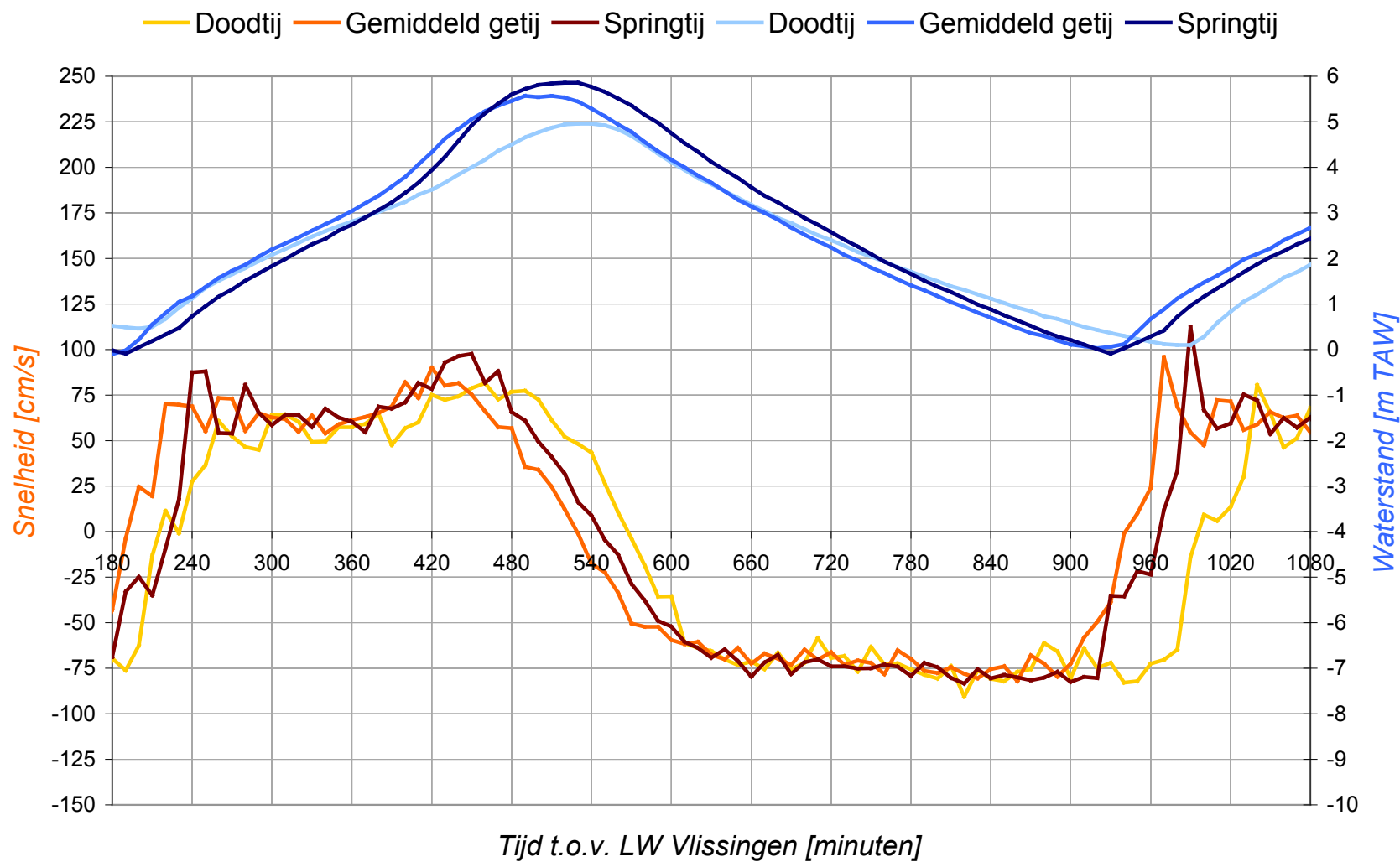
Figuur 91 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Liefkenshoek bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



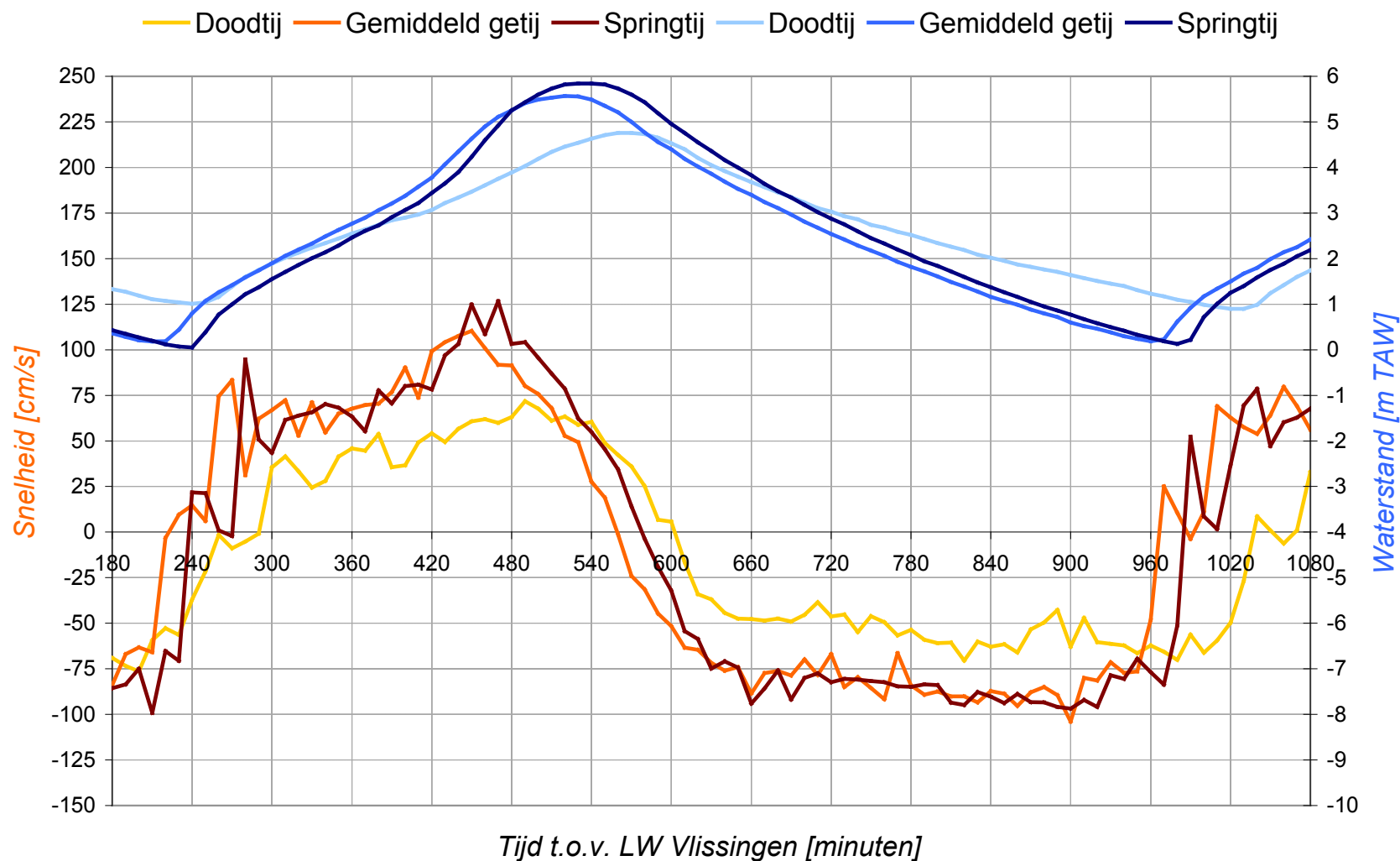
Figuur 92 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Antwerpen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doodtij



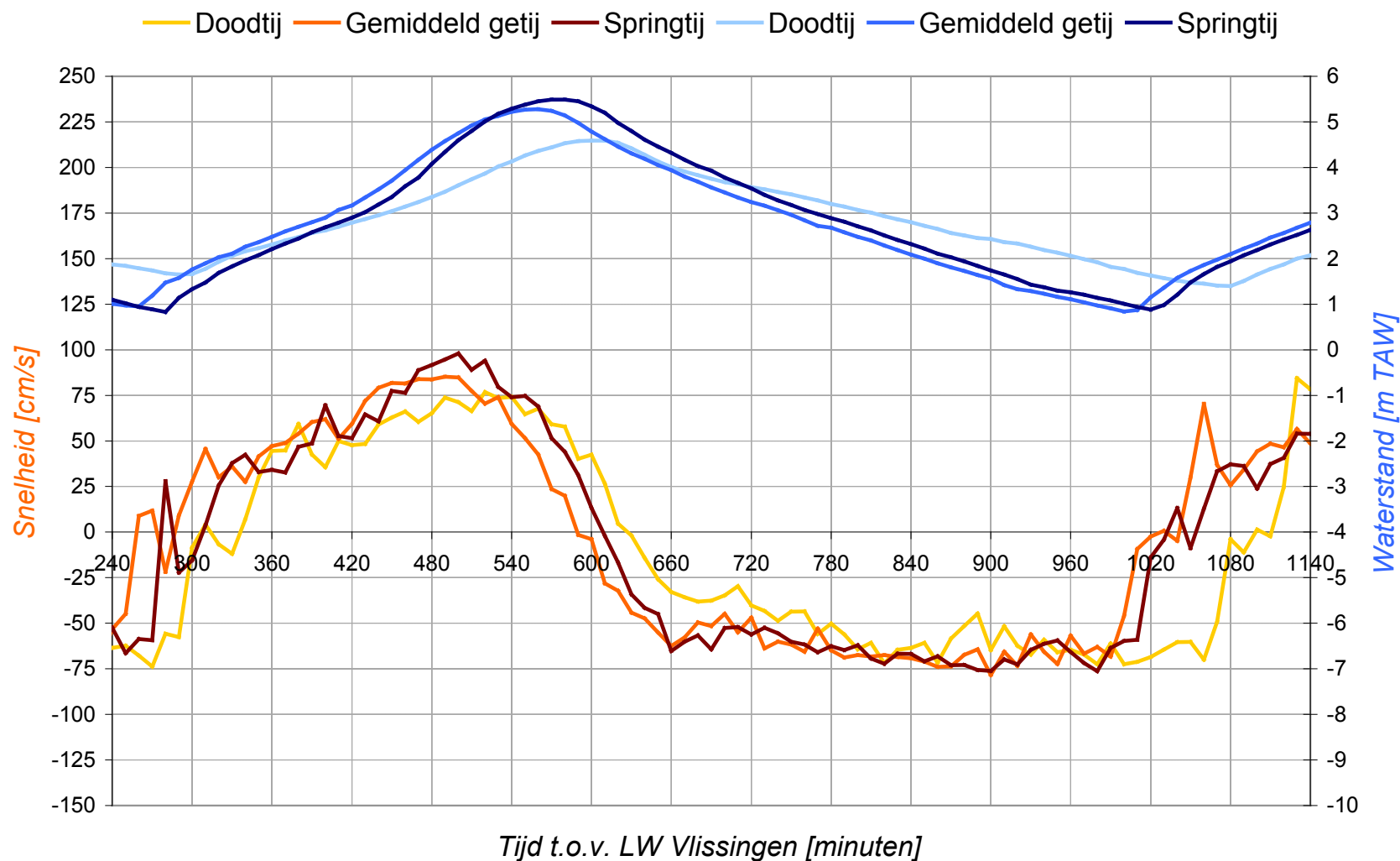
Figuur 93 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Schelle bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



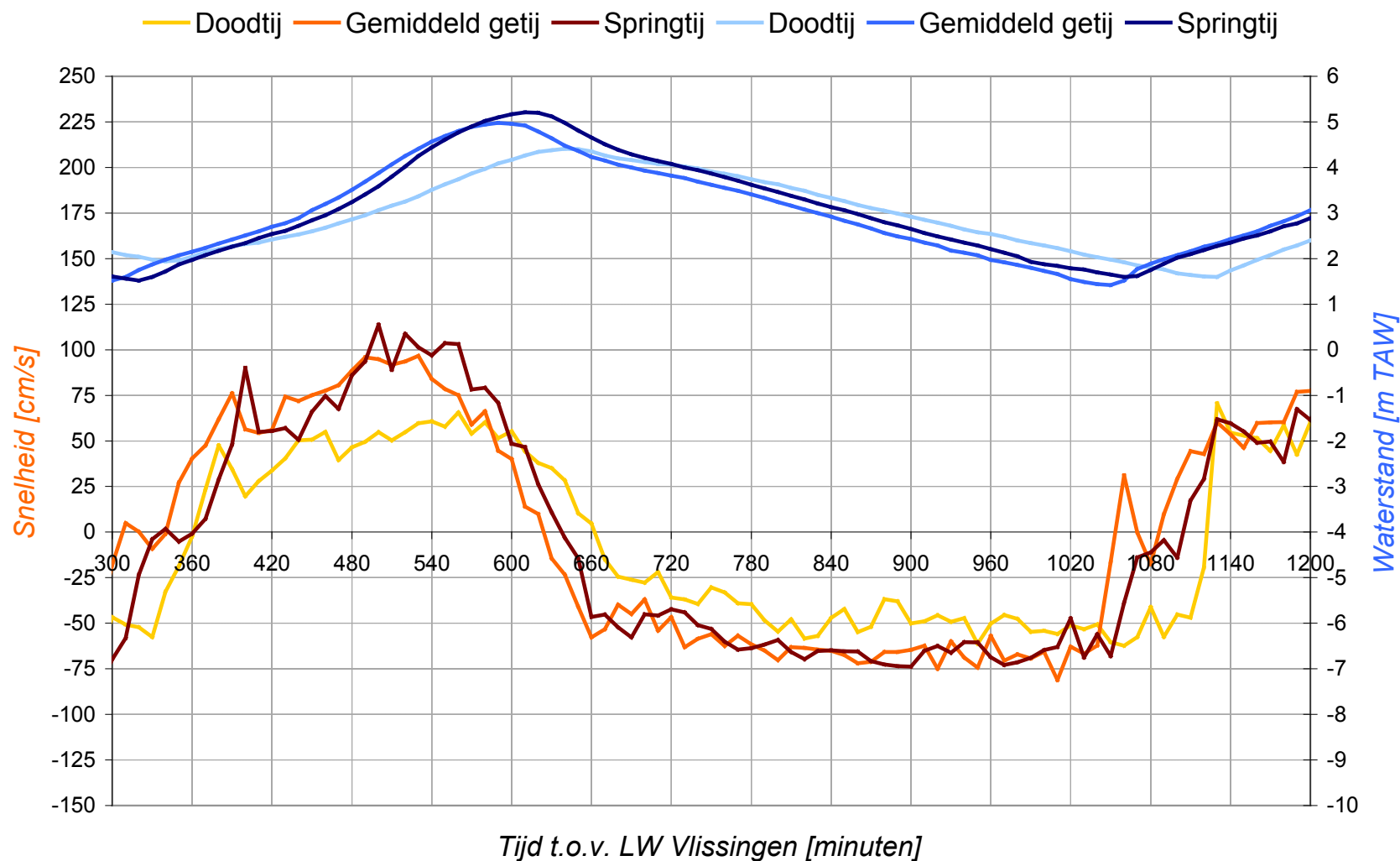
Figuur 94 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Temse bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



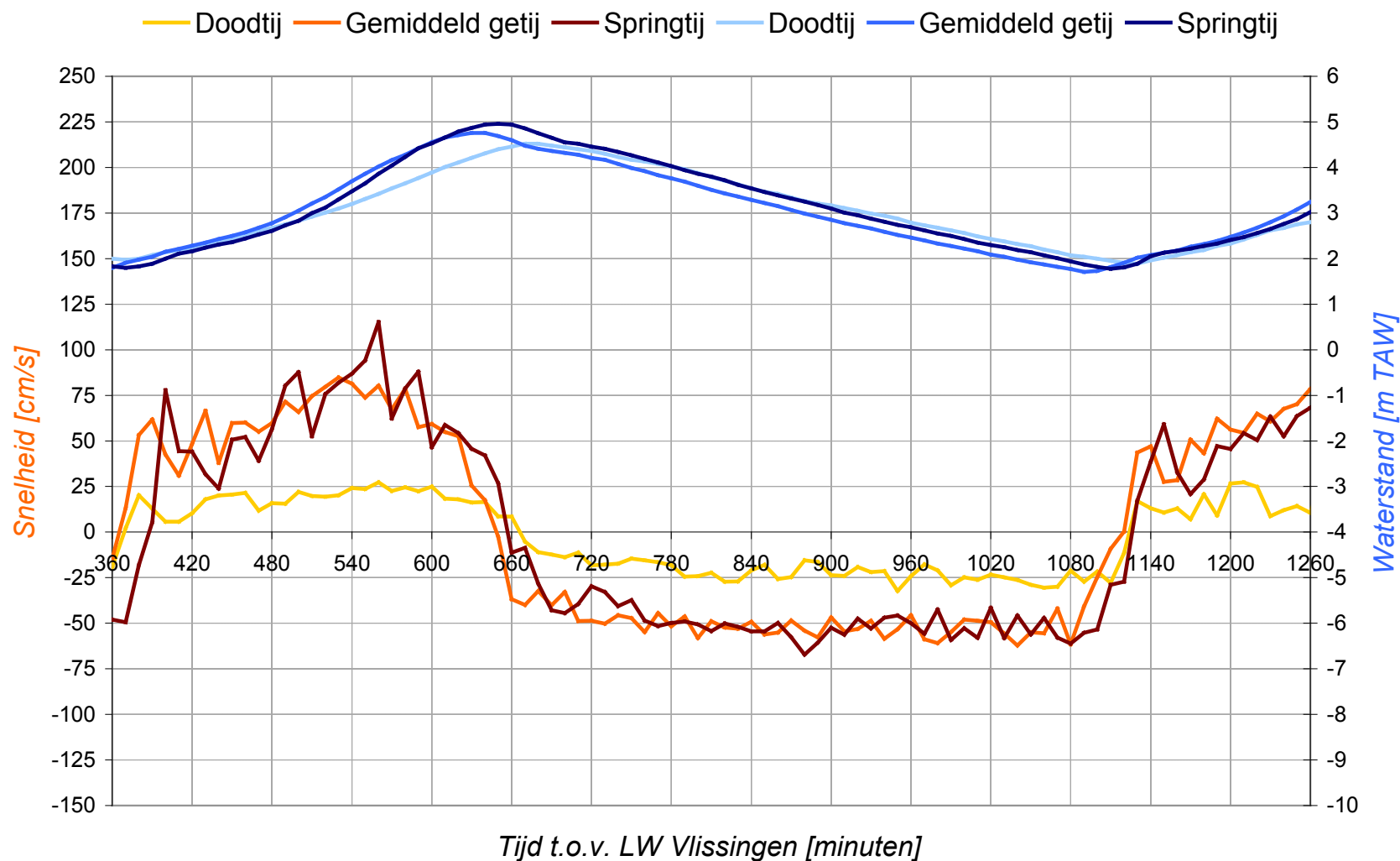
Figuur 95 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Sint Amands bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



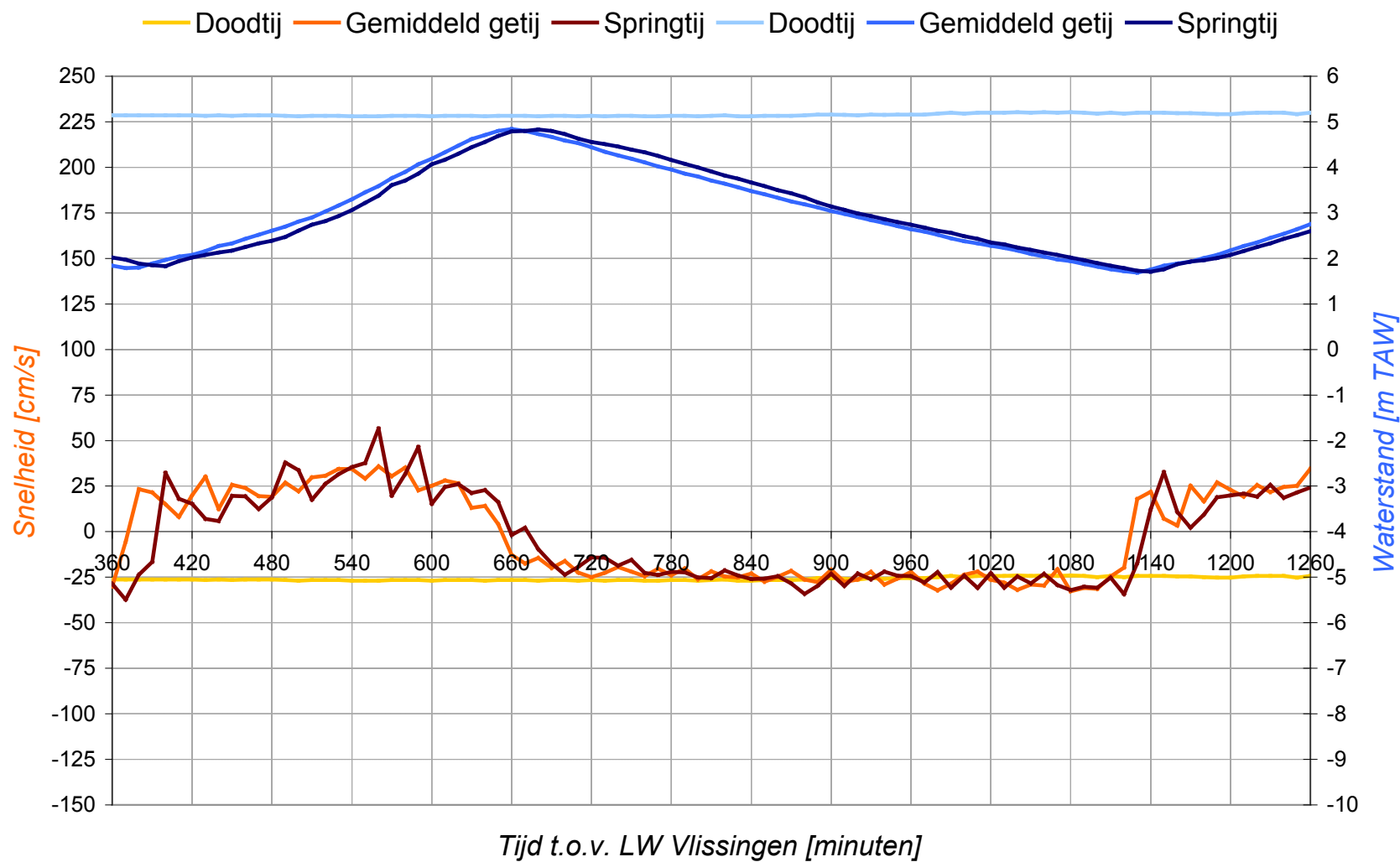
Figuur 96 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Dendermonde bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



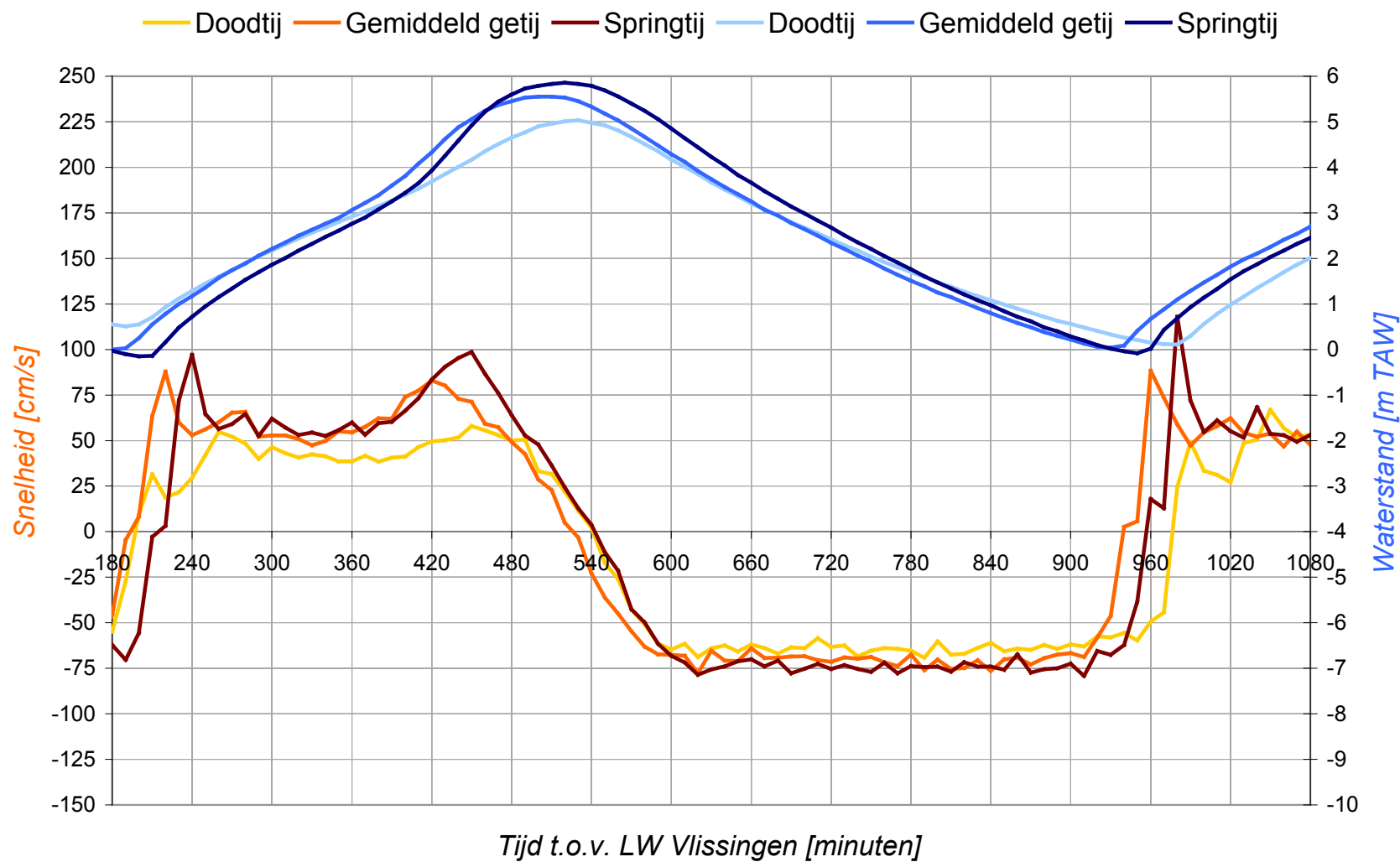
Figuur 97 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Schoonarde bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



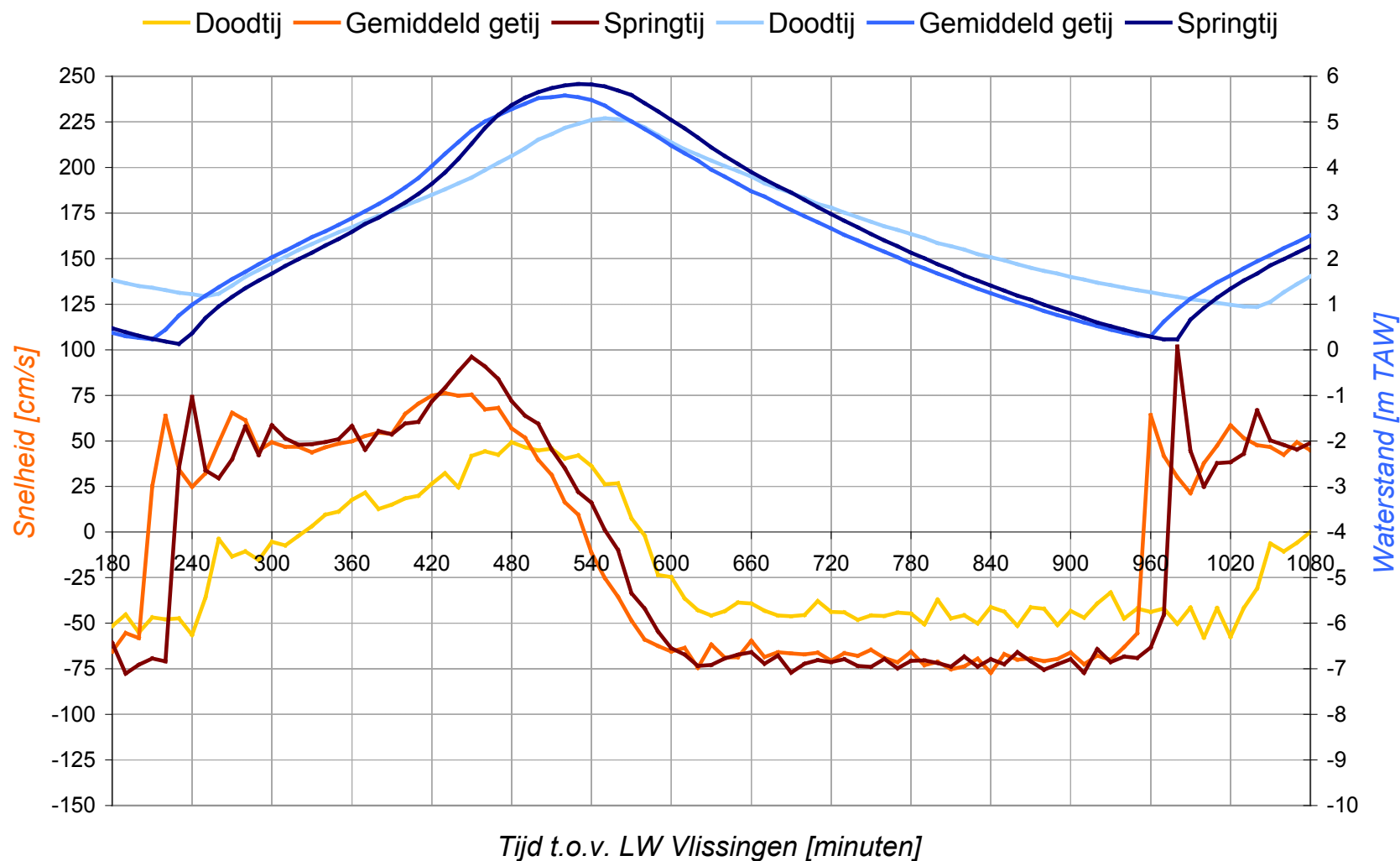
Figuur 98 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Wetteren bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



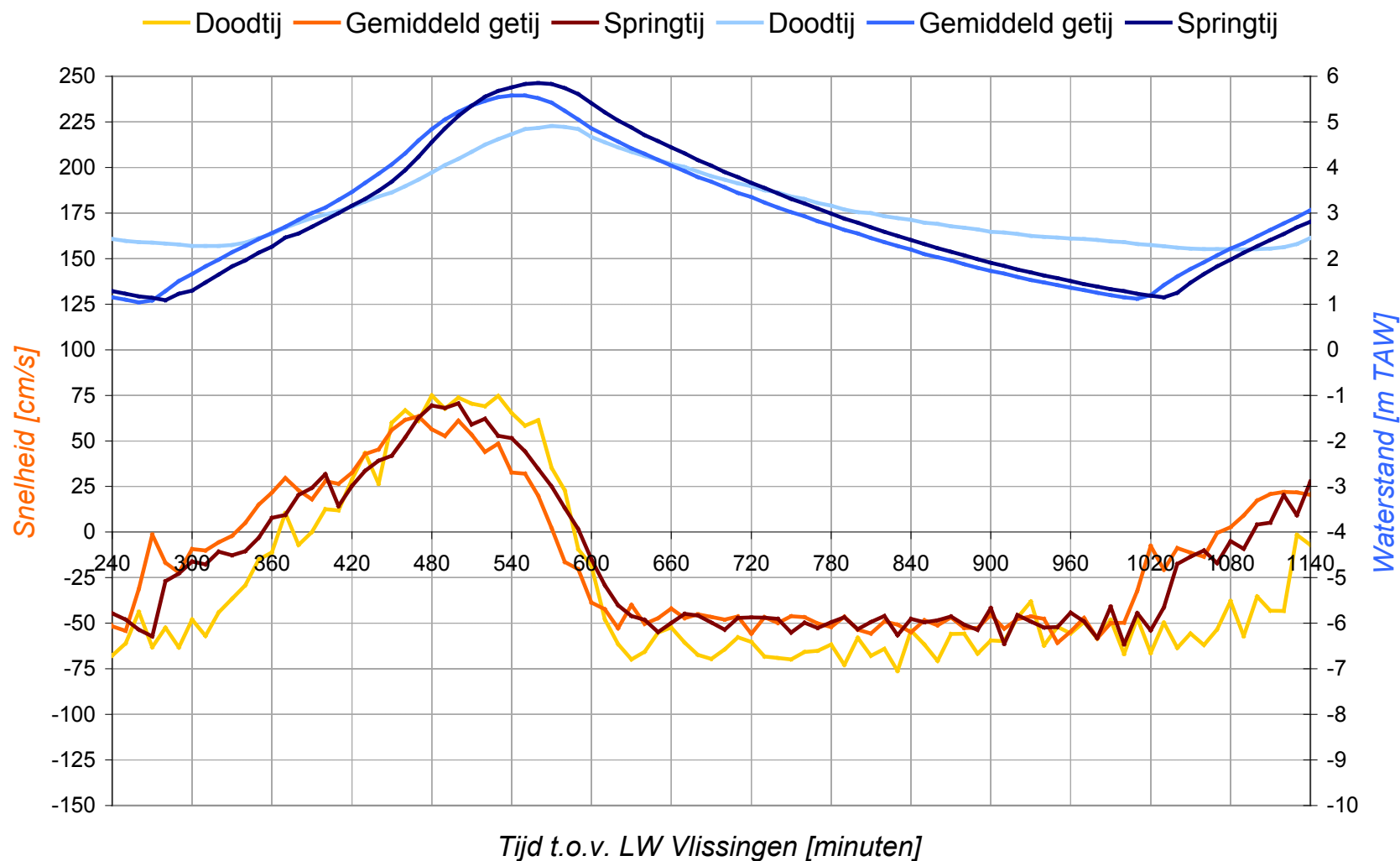
Figuur 99 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Melle bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doortij



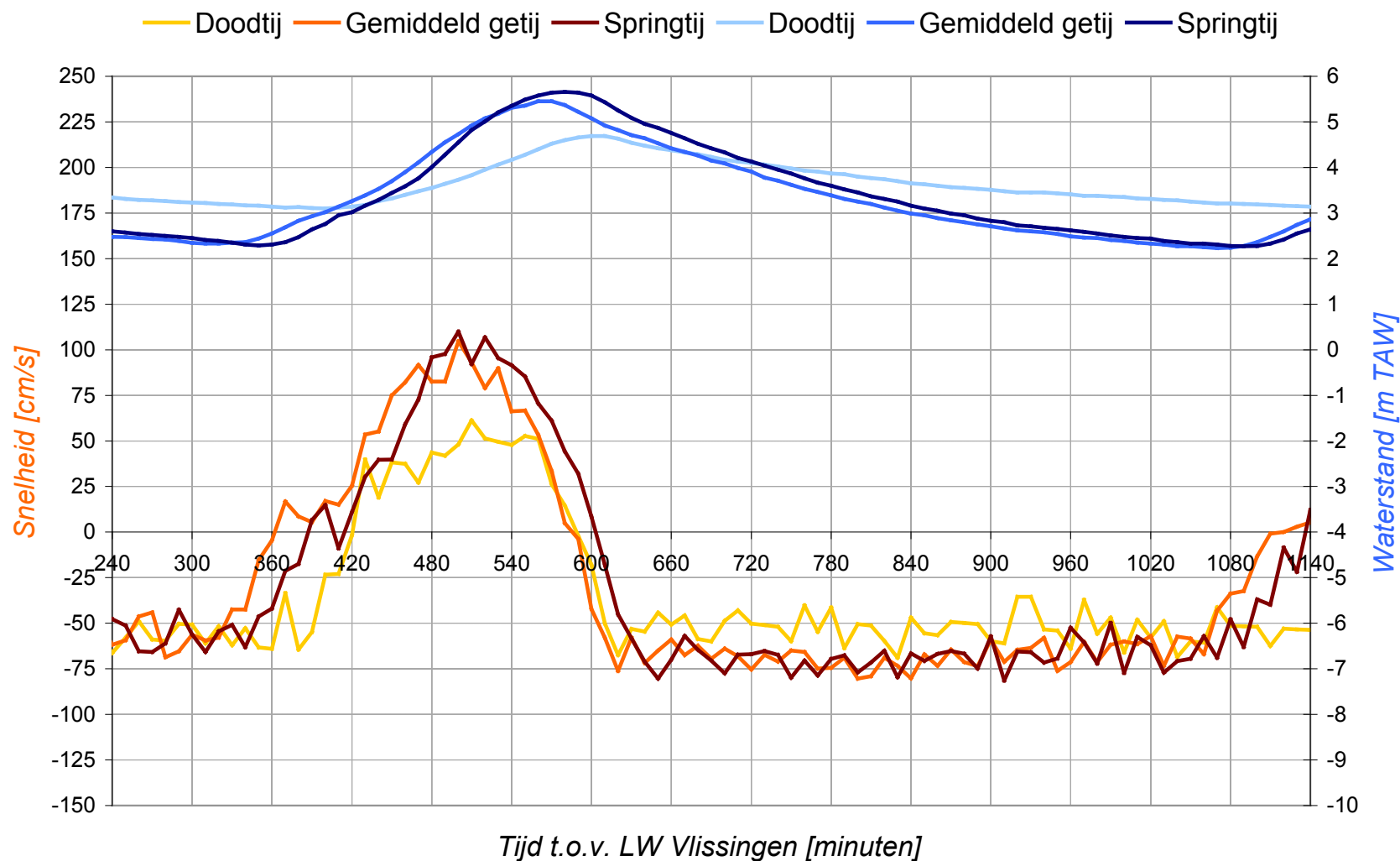
Figuur 100 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Boom bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



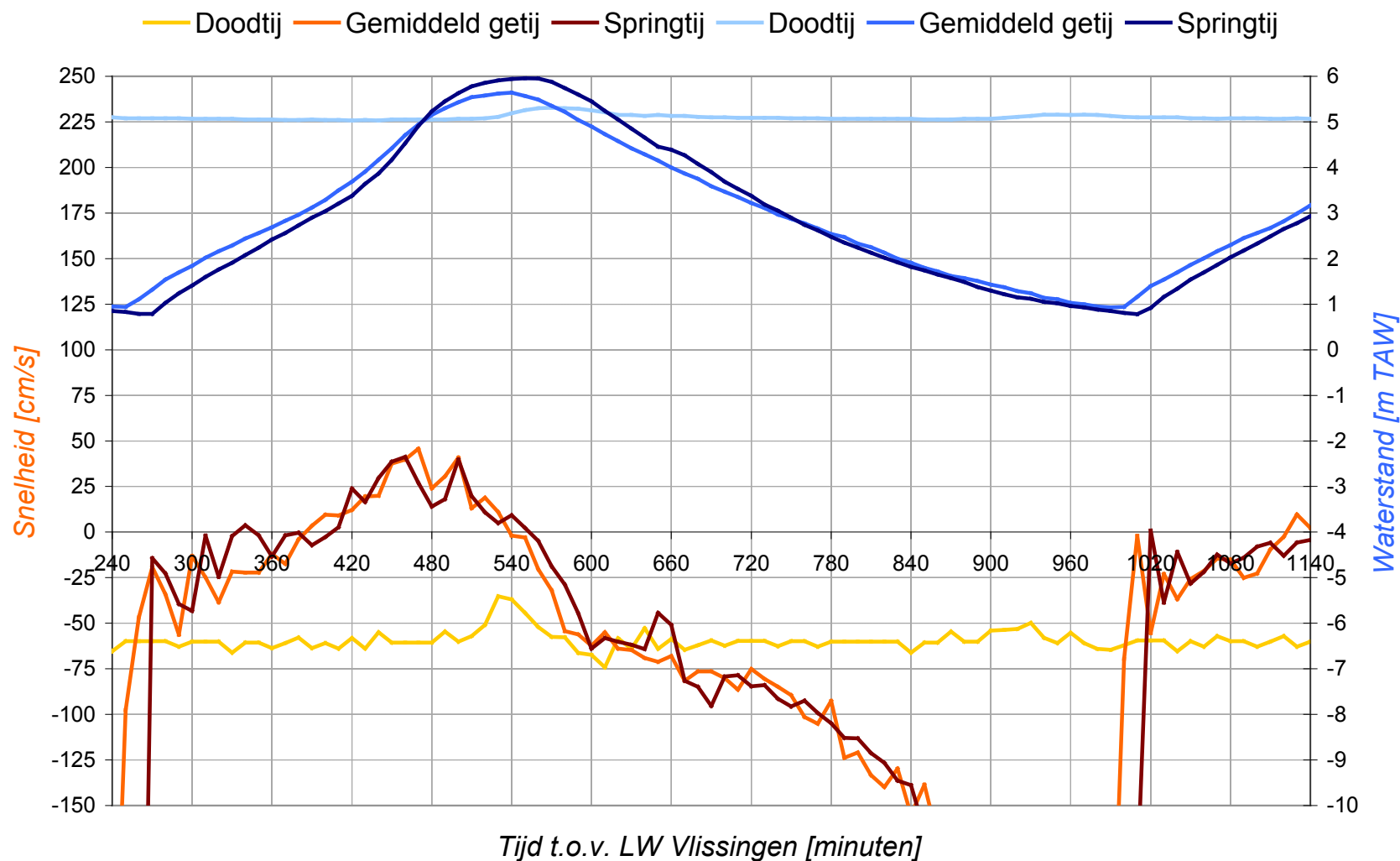
Figuur 101 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Walem bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



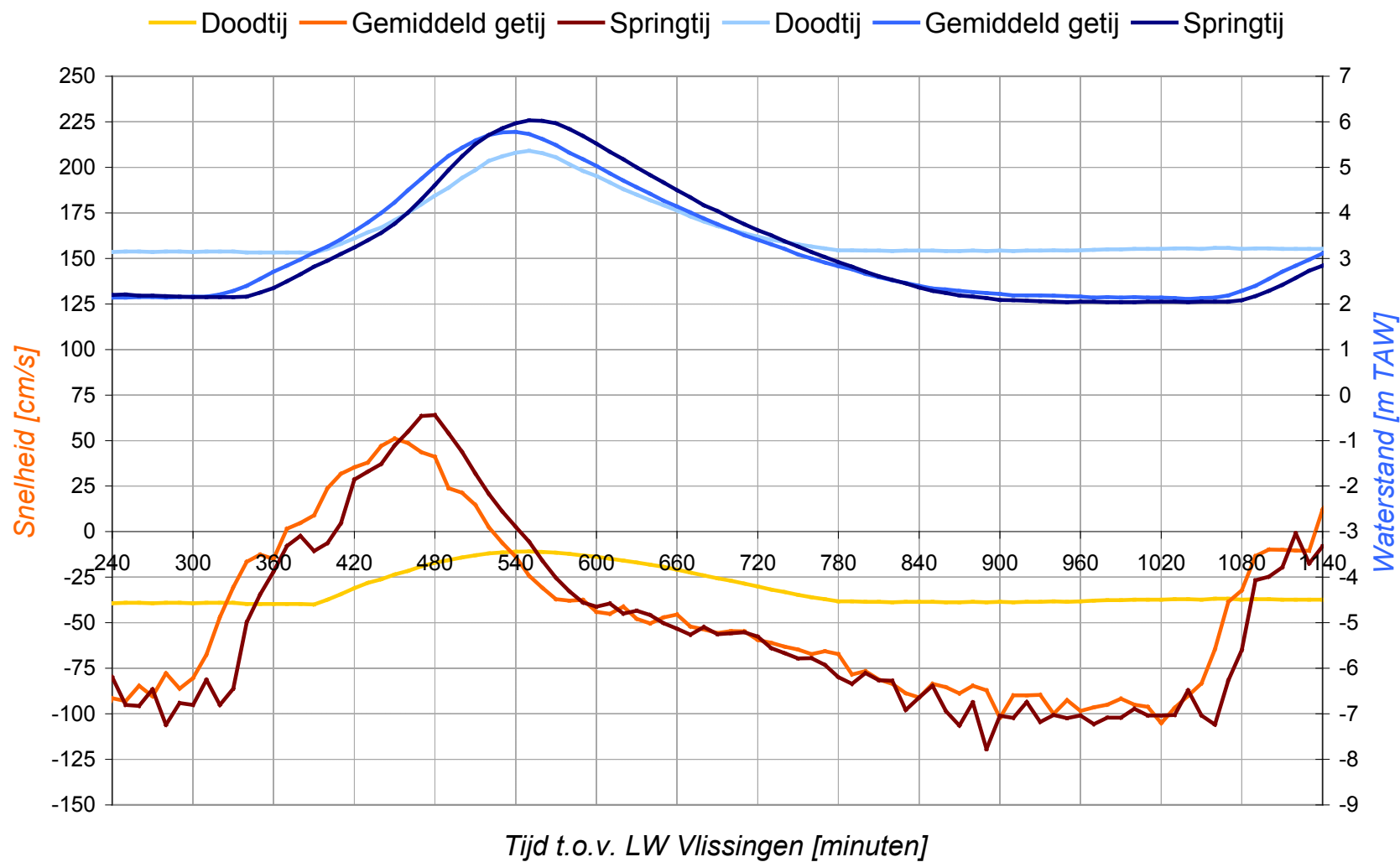
Figuur 102 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Duffel bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



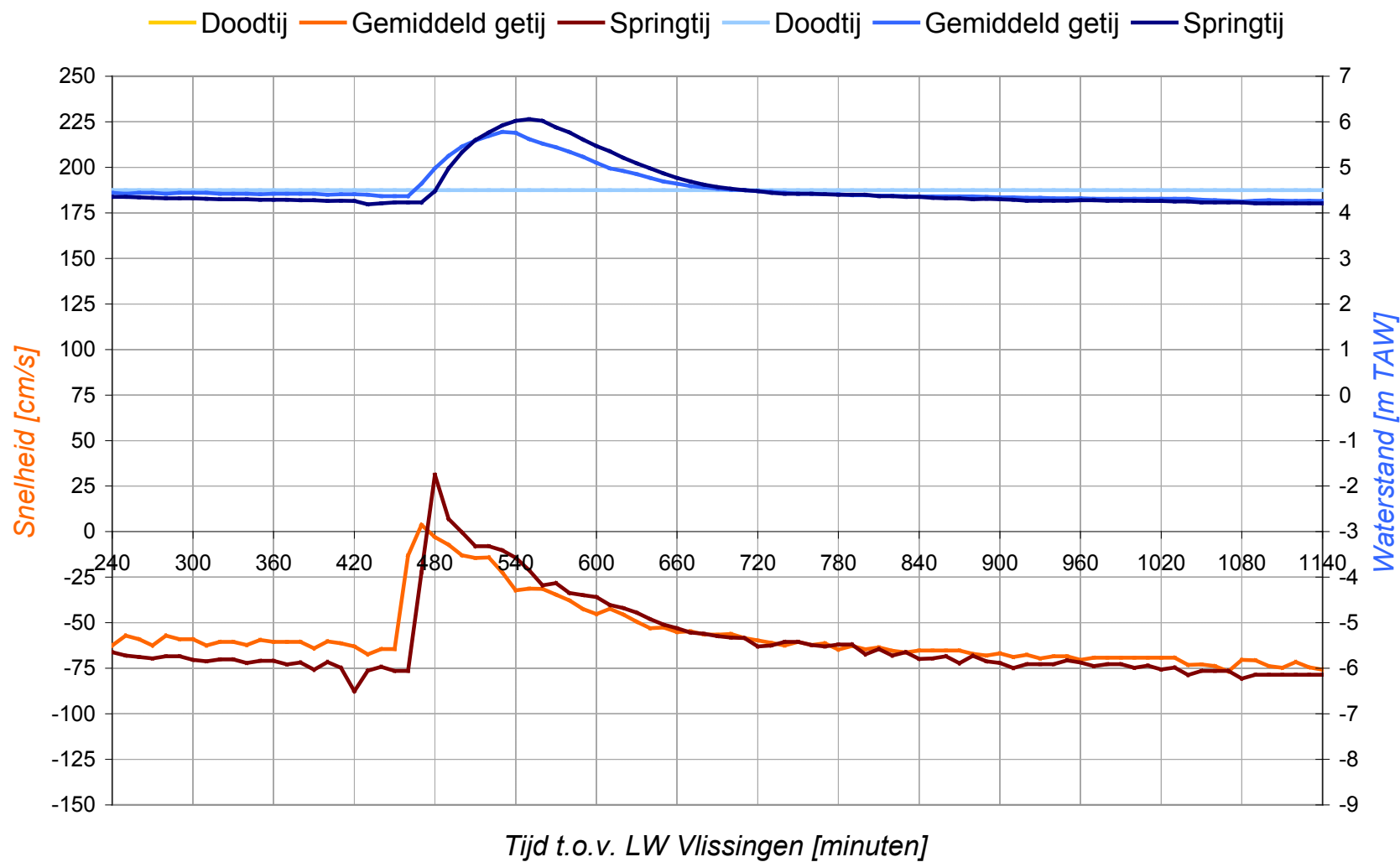
Figuur 103 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Lier-Molbrug bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



Figuur 104 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Mechelen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doodtij

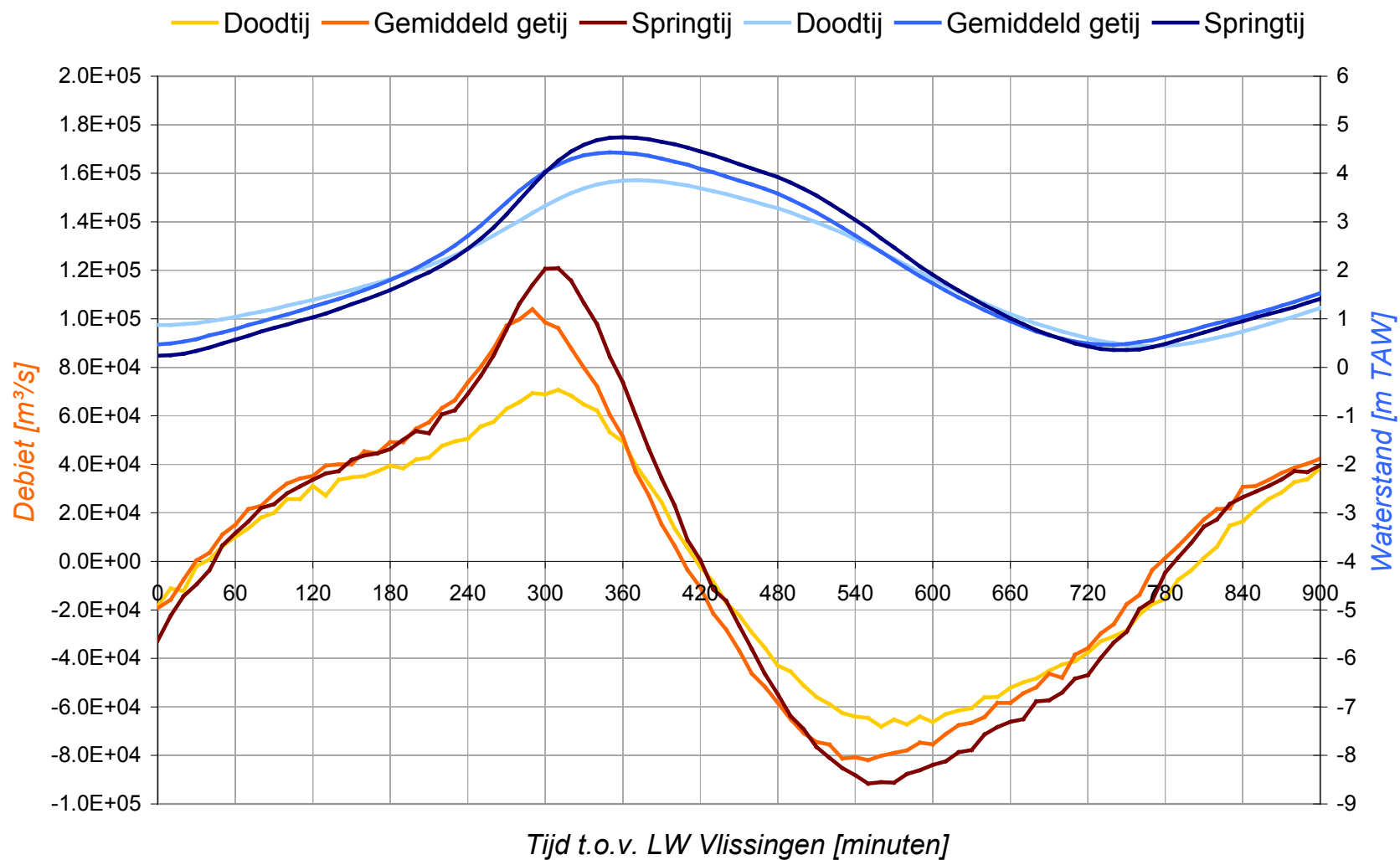


Figuur 105 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Hombeek bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij

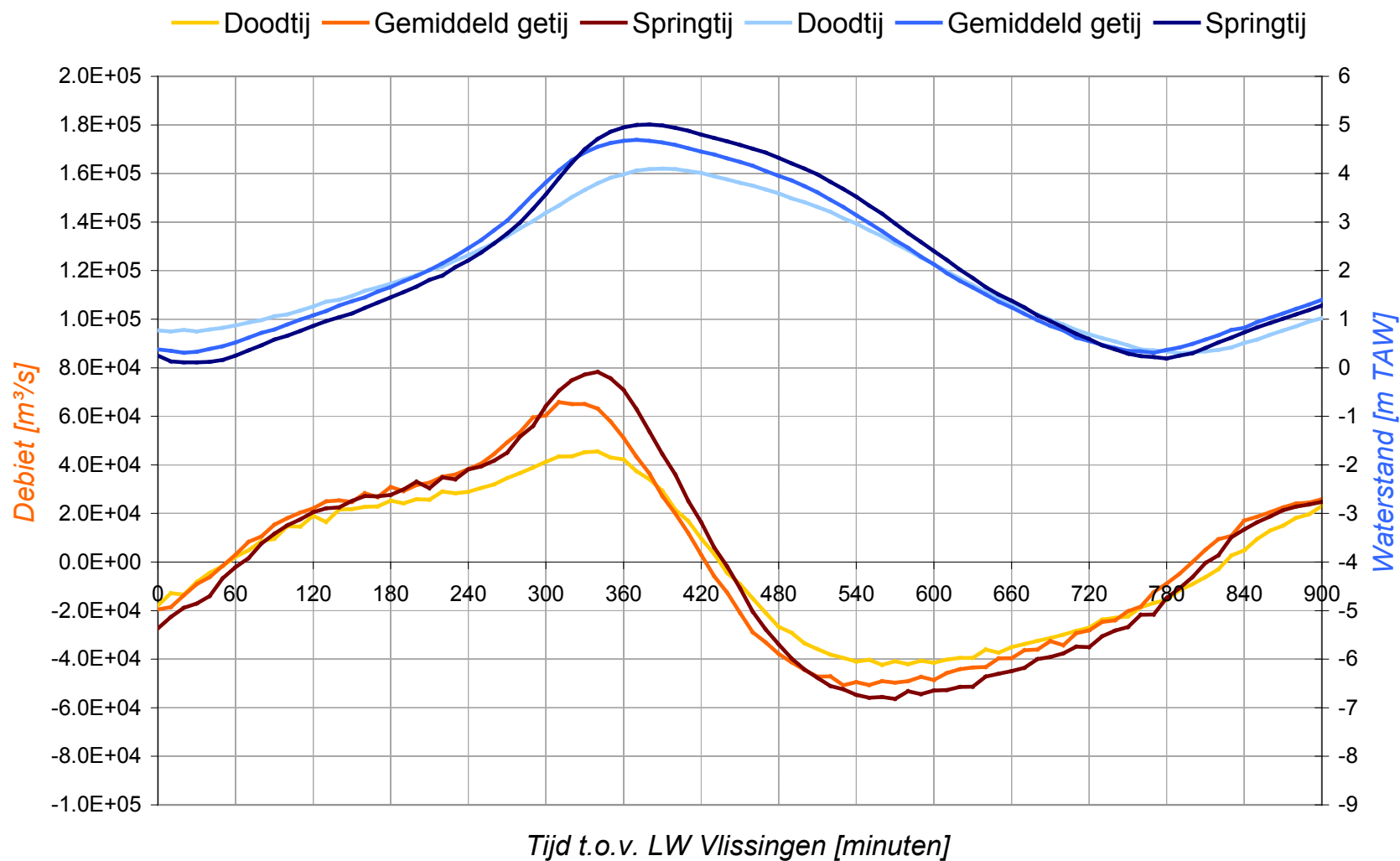


Figuur 106 – Verloop waterstand en stroomsnelheid te Waasmunster-Manta bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doodtij

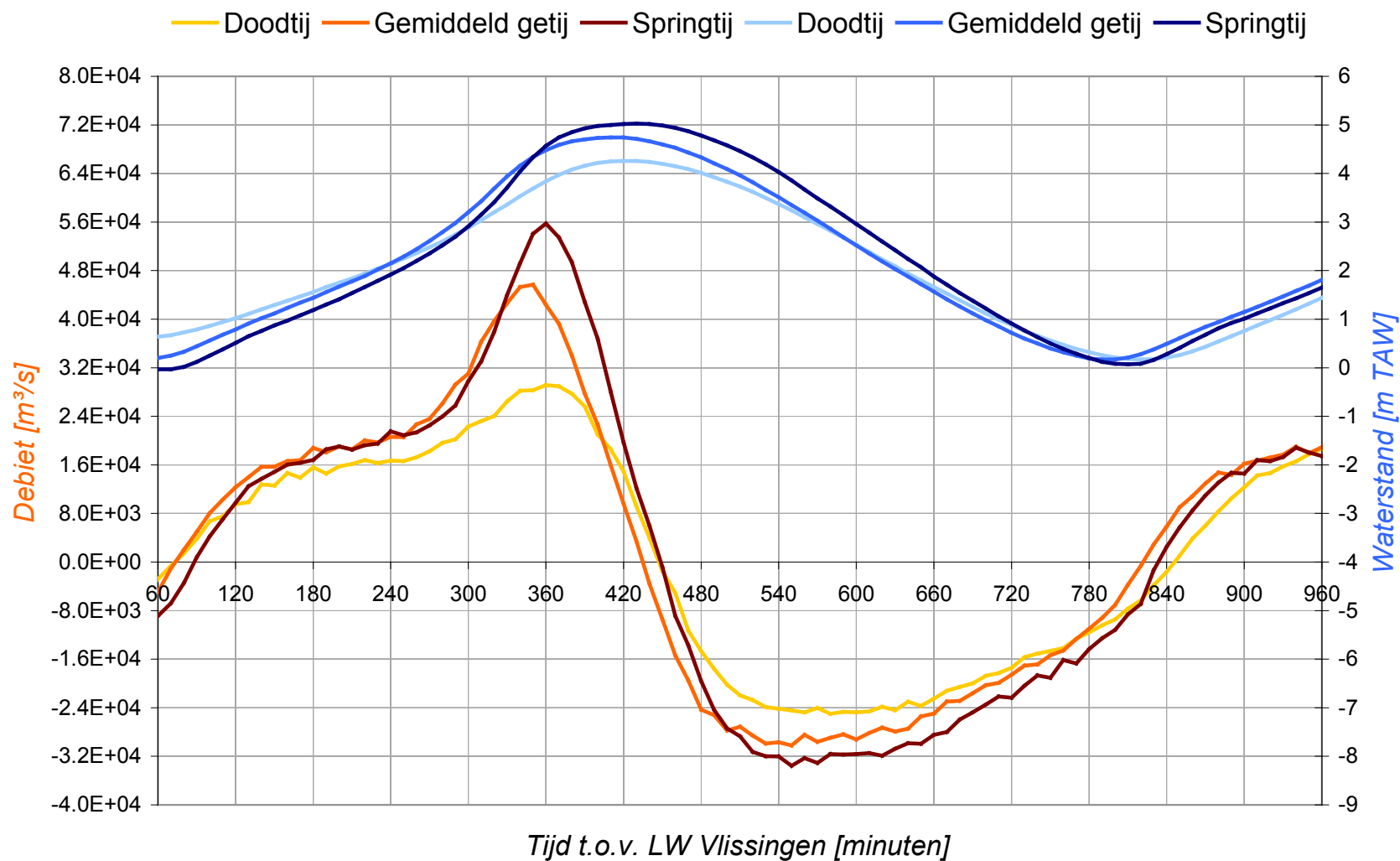
Bijlage 3: Verloop debiet op de belangrijkste getijposten



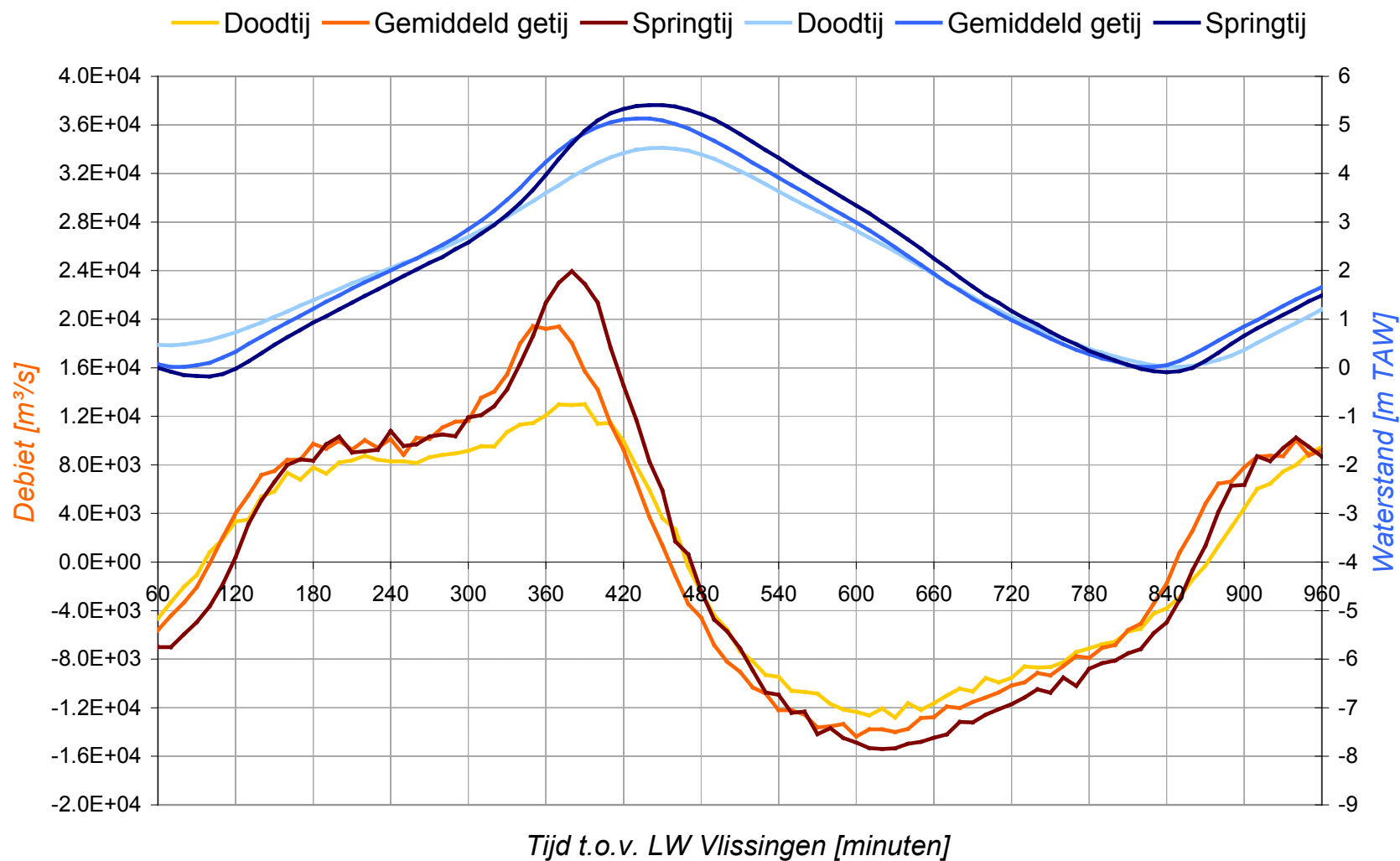
Figuur 107 – Verloop waterstand en debiet te Vlissingen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



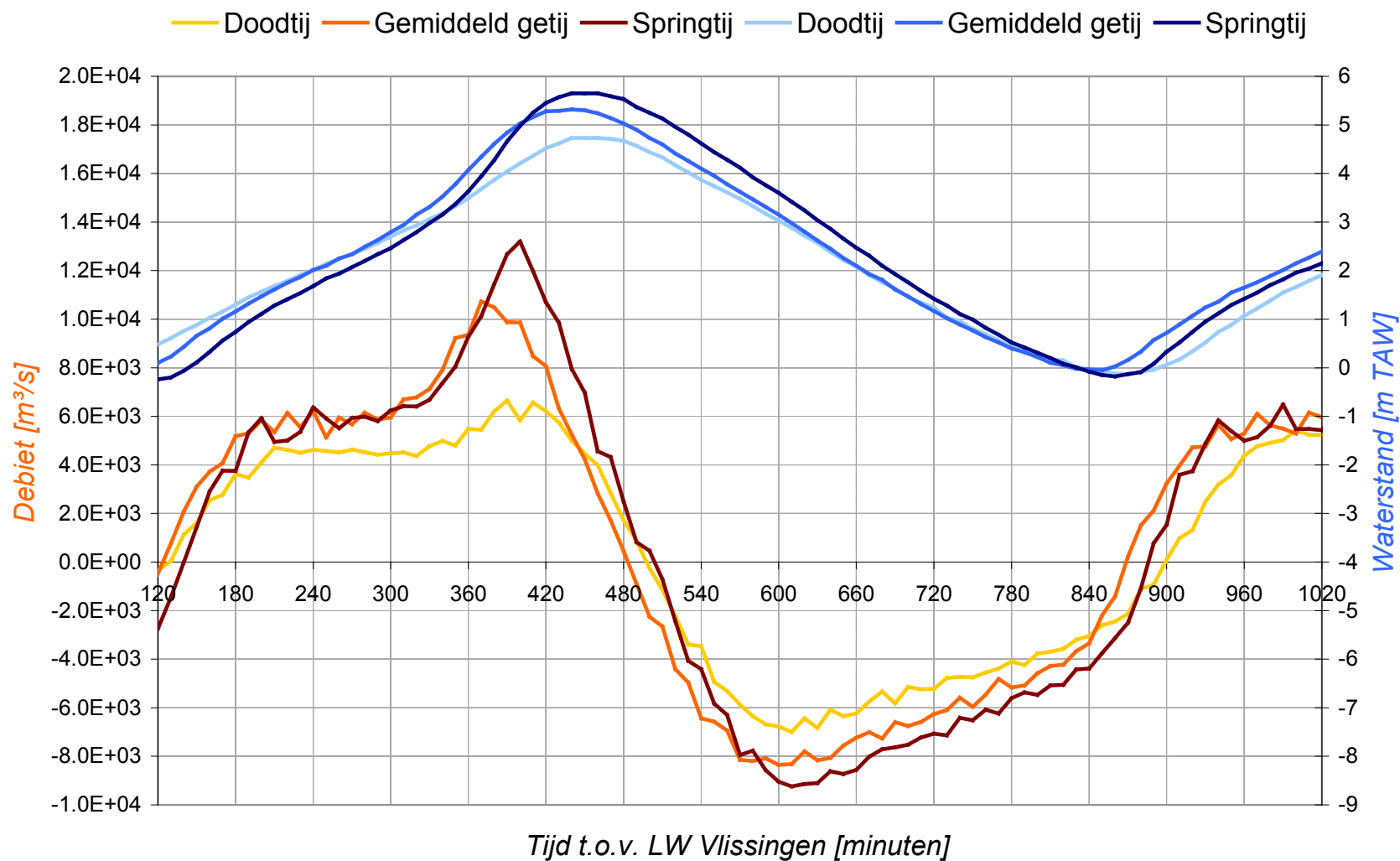
Figuur 108 – Verloop waterstand en debiet te Terneuzen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



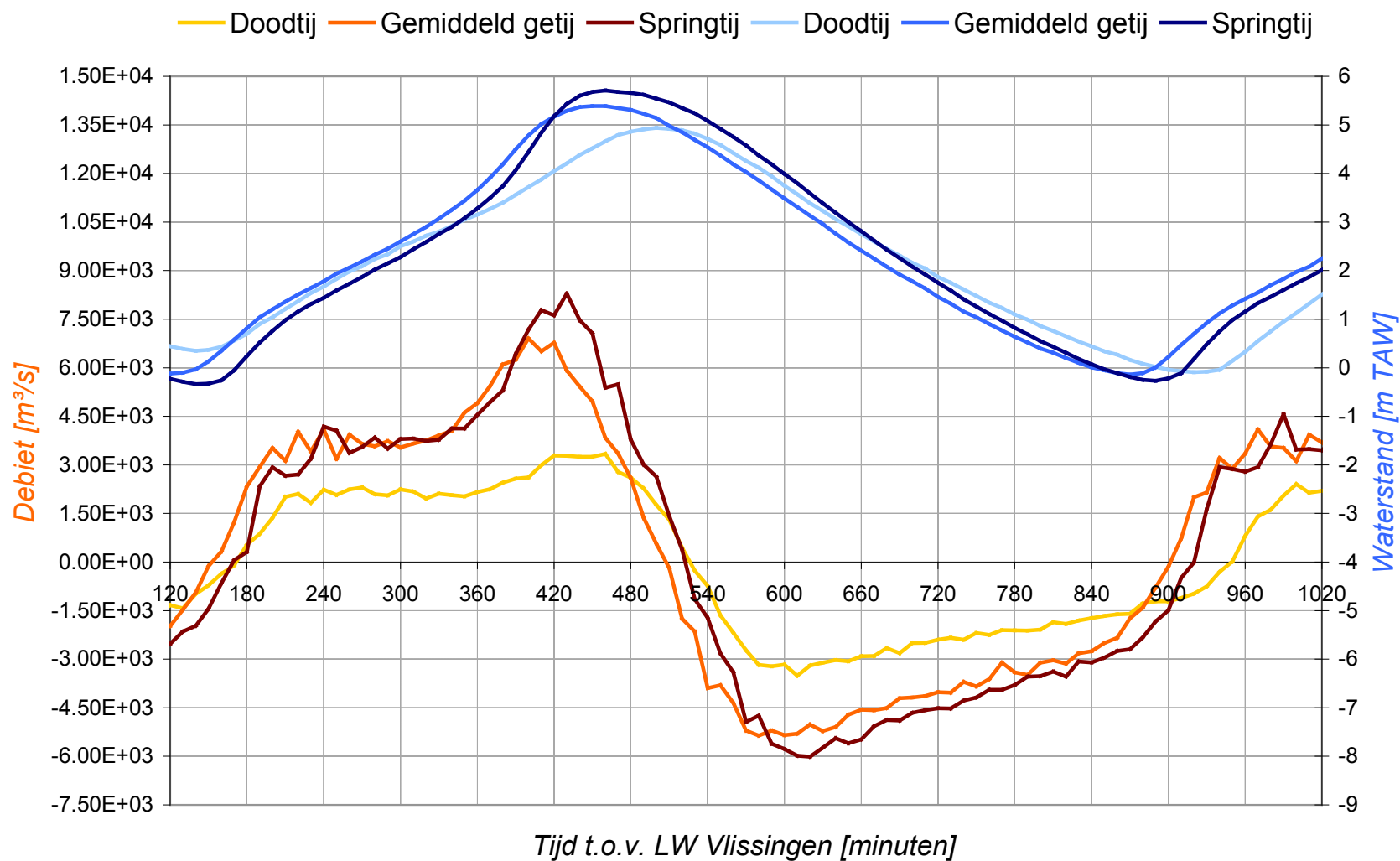
Figuur 109 – Verloop waterstand en debiet te Hansweert bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



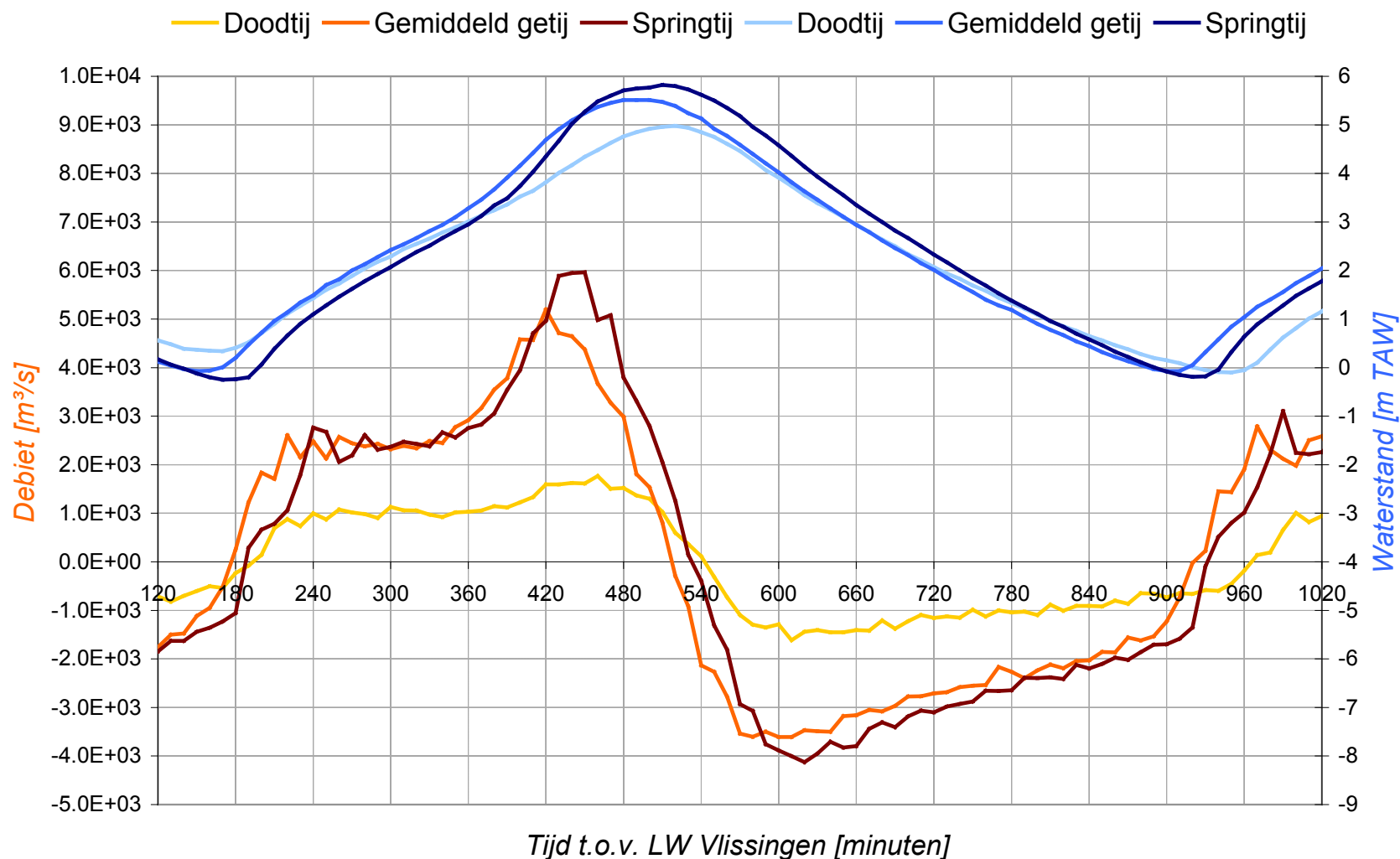
Figuur 110 – Verloop waterstand en debiet te Bath bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



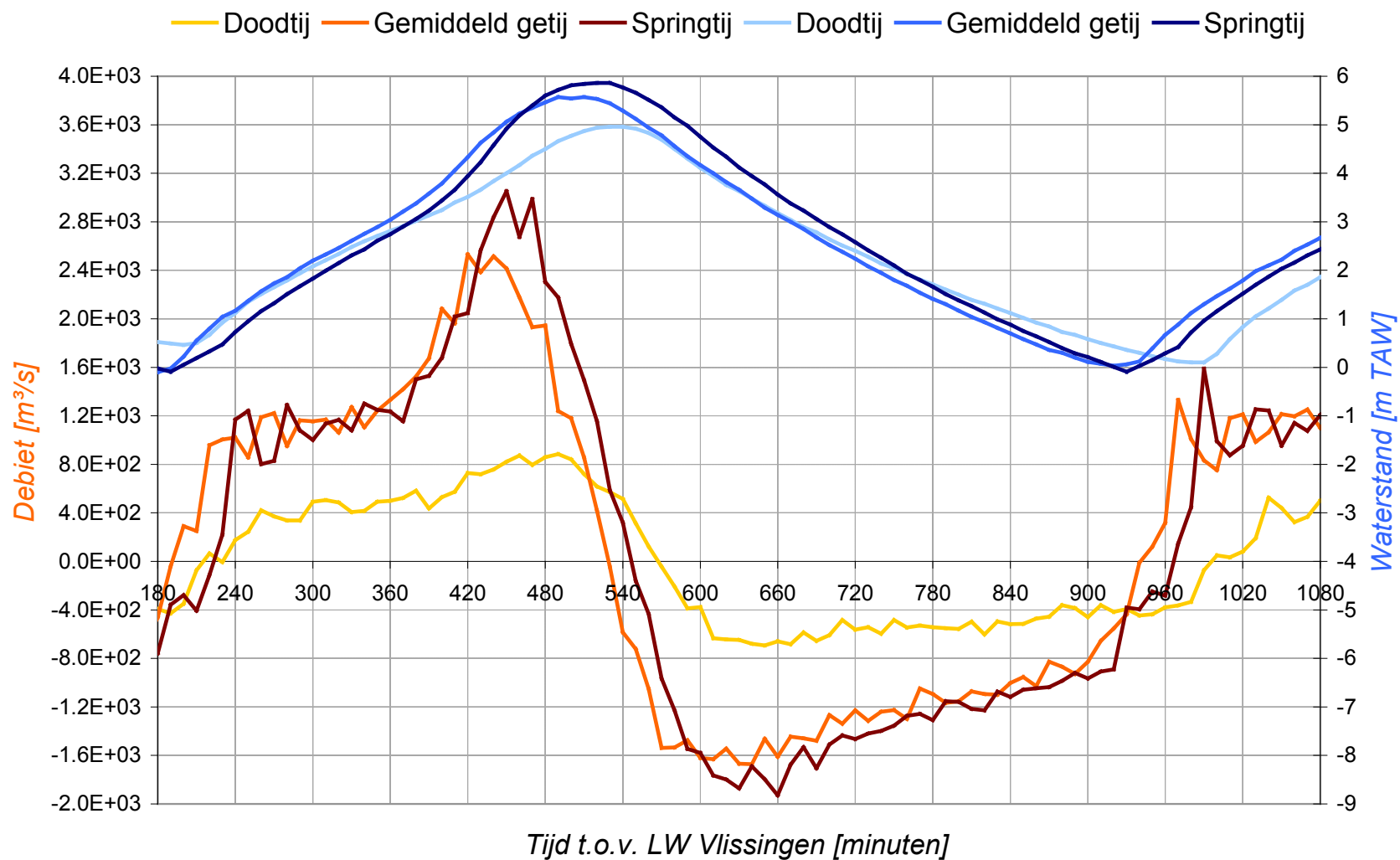
Figuur 111 – Verloop waterstand en debiet te Liefkenshoek bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doortij



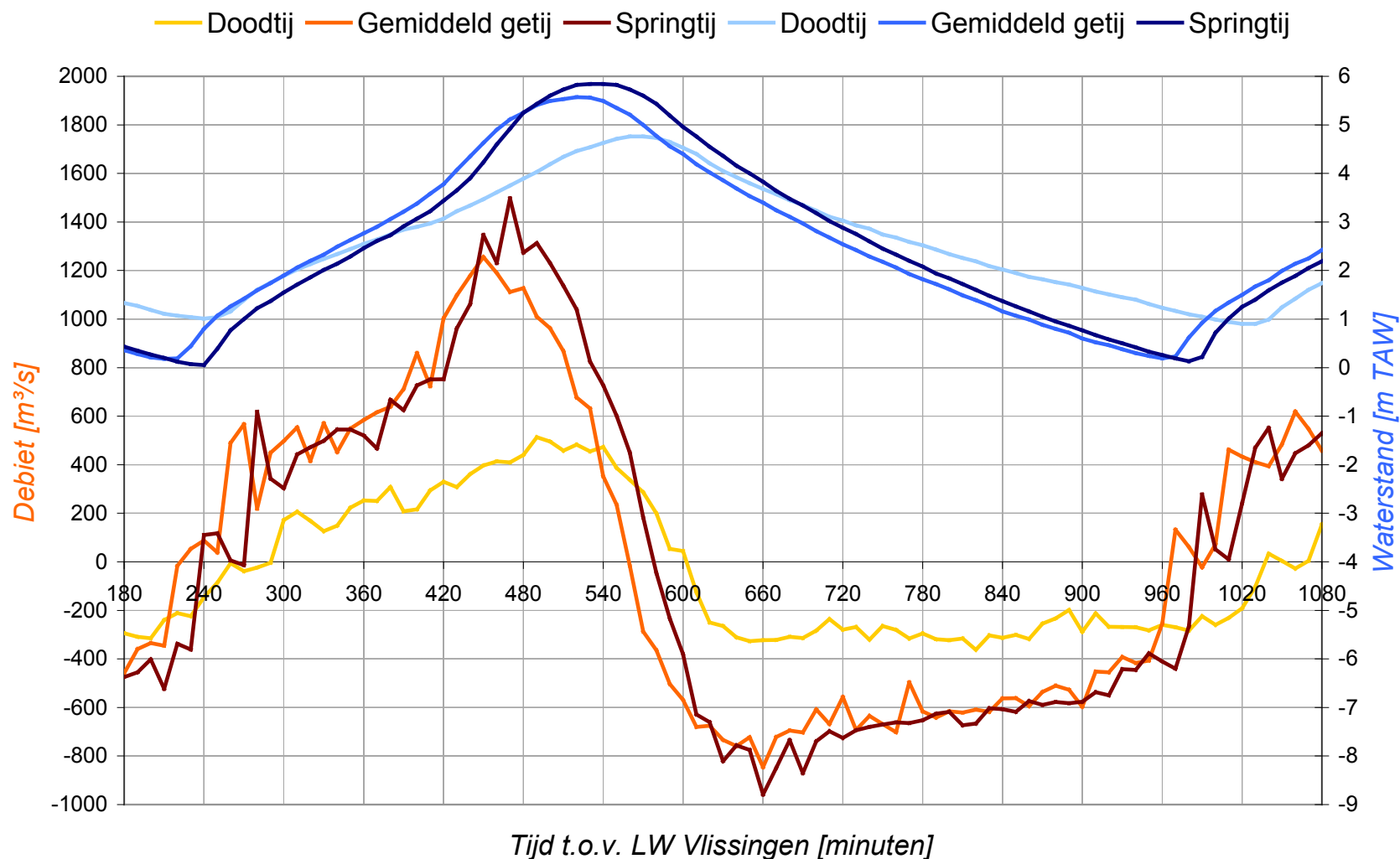
Figuur 112 – Verloop waterstand en debiet te Antwerpen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



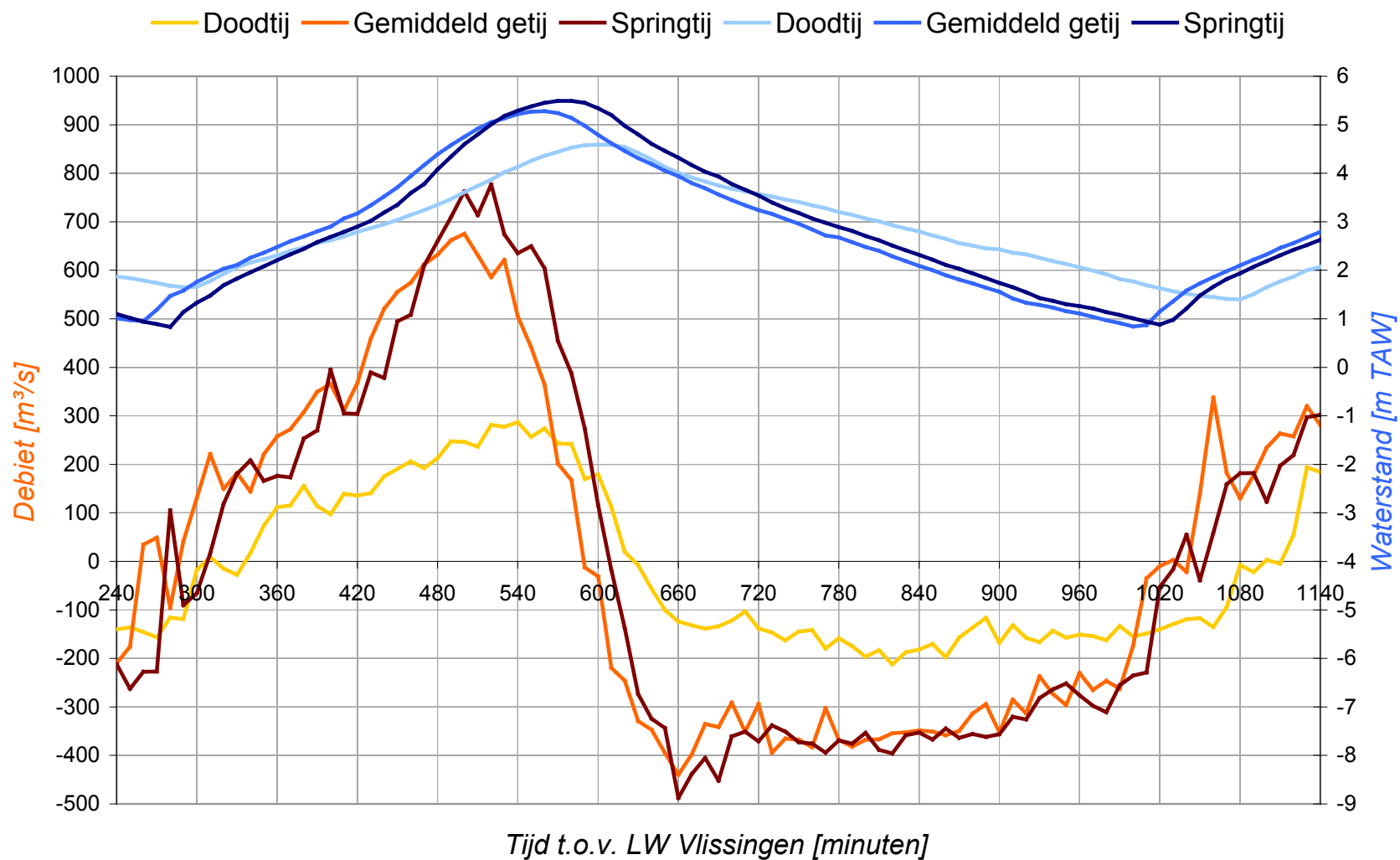
Figuur 113 – Verloop waterstand en debiet te Schelle bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doortij



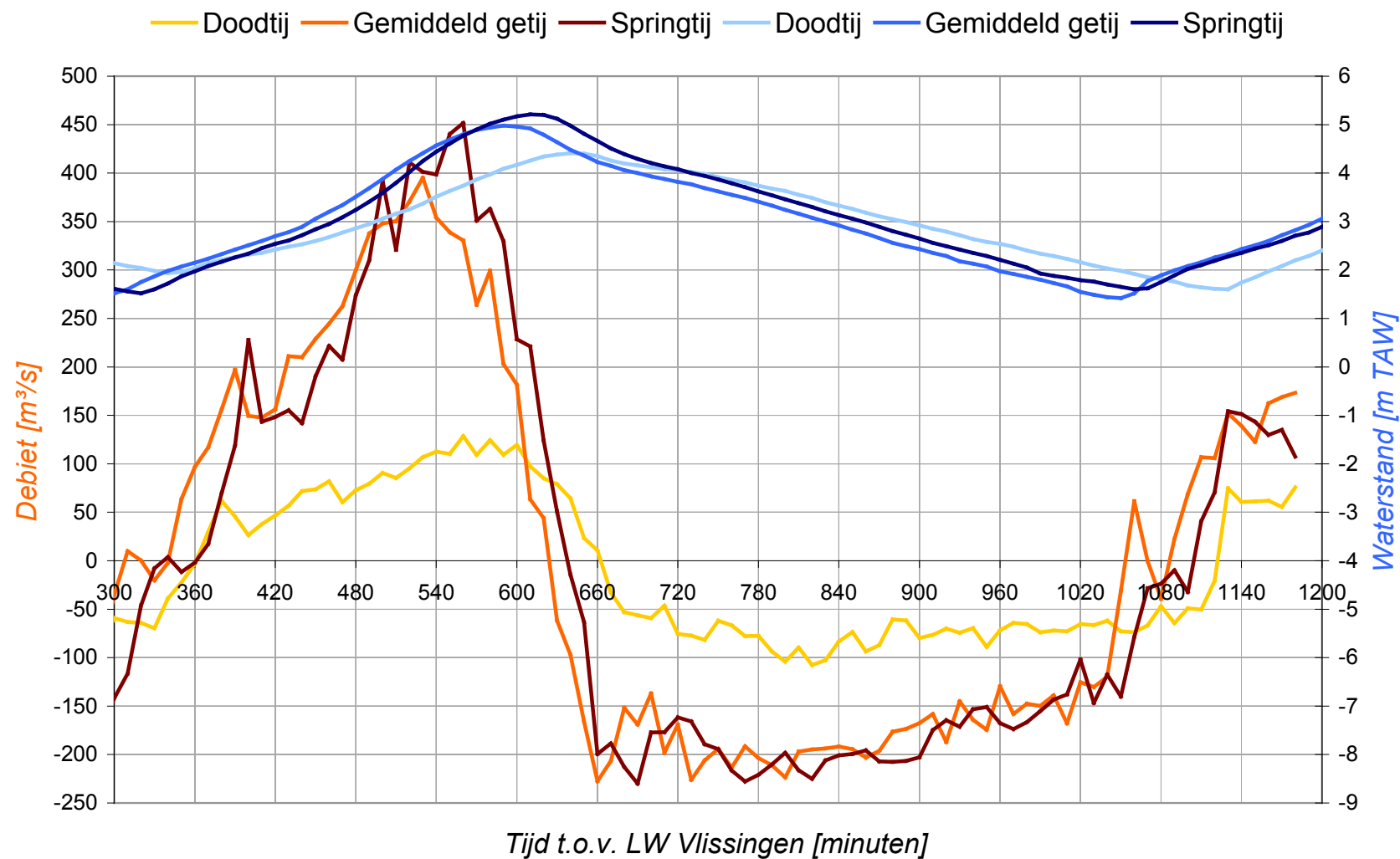
Figuur 114 – Verloop waterstand en debiet te Temse bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



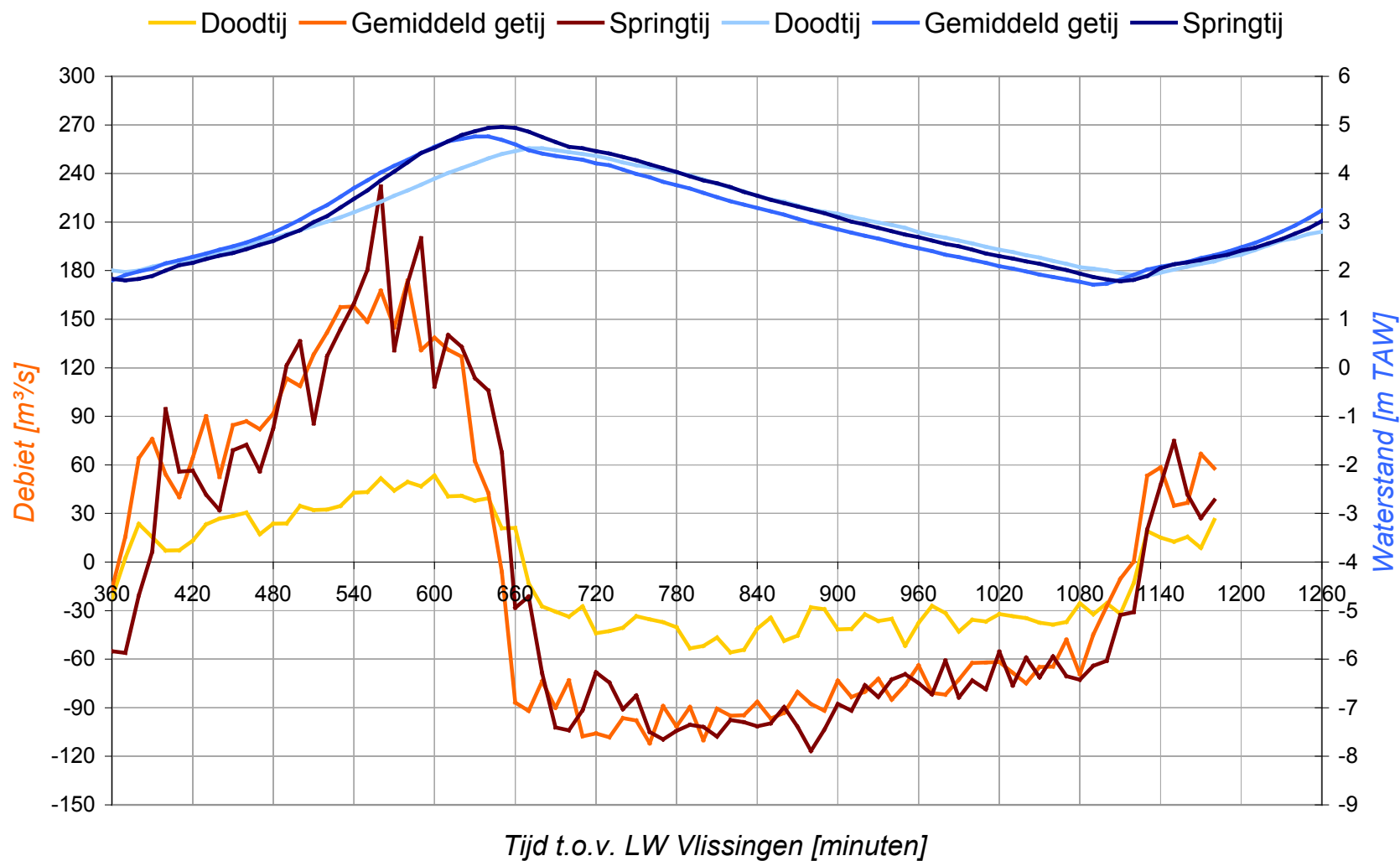
Figuur 115 – Verloop waterstand en debiet te Sint Amands bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



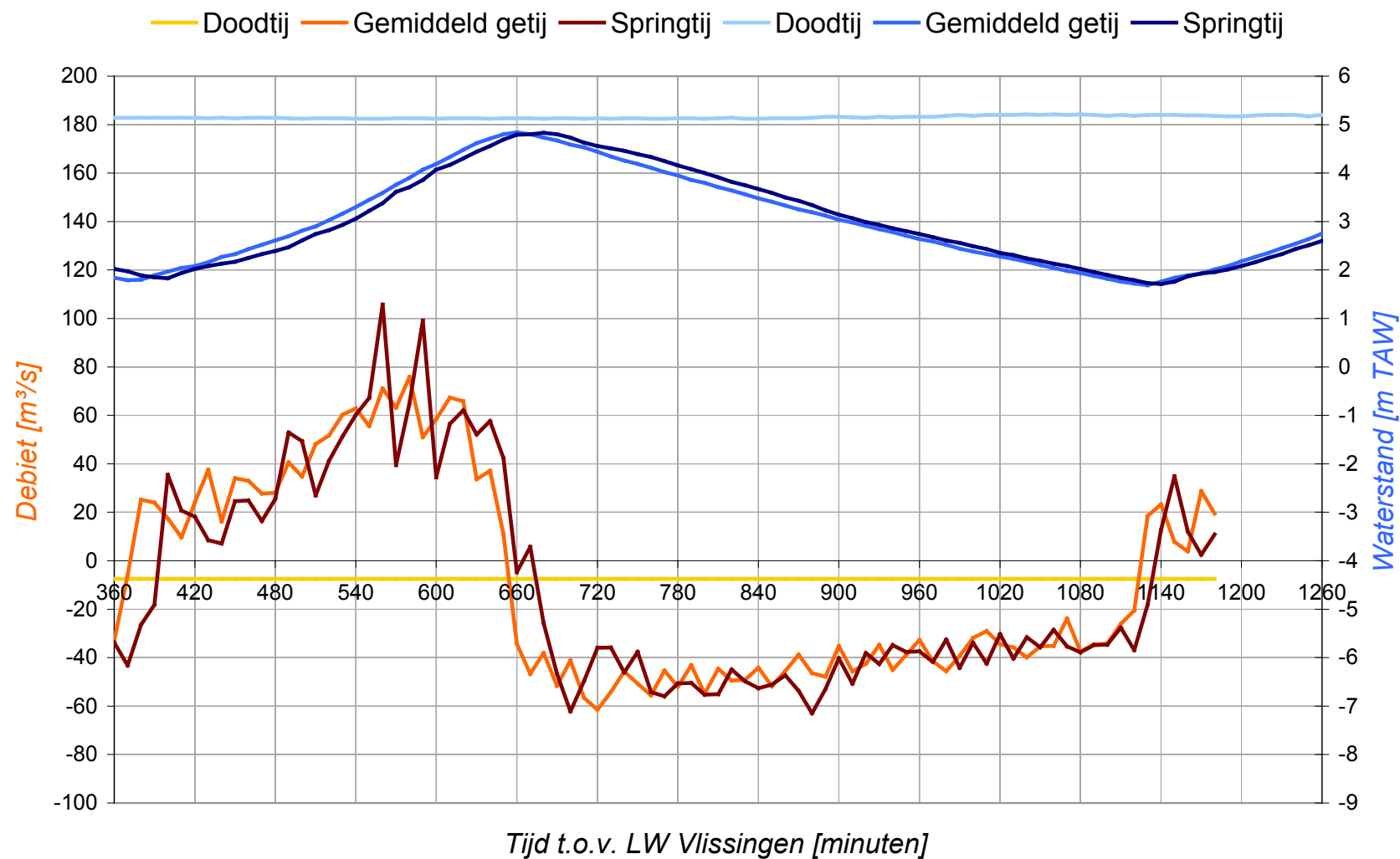
Figuur 116 – Verloop waterstand en debiet te Dendermonde bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



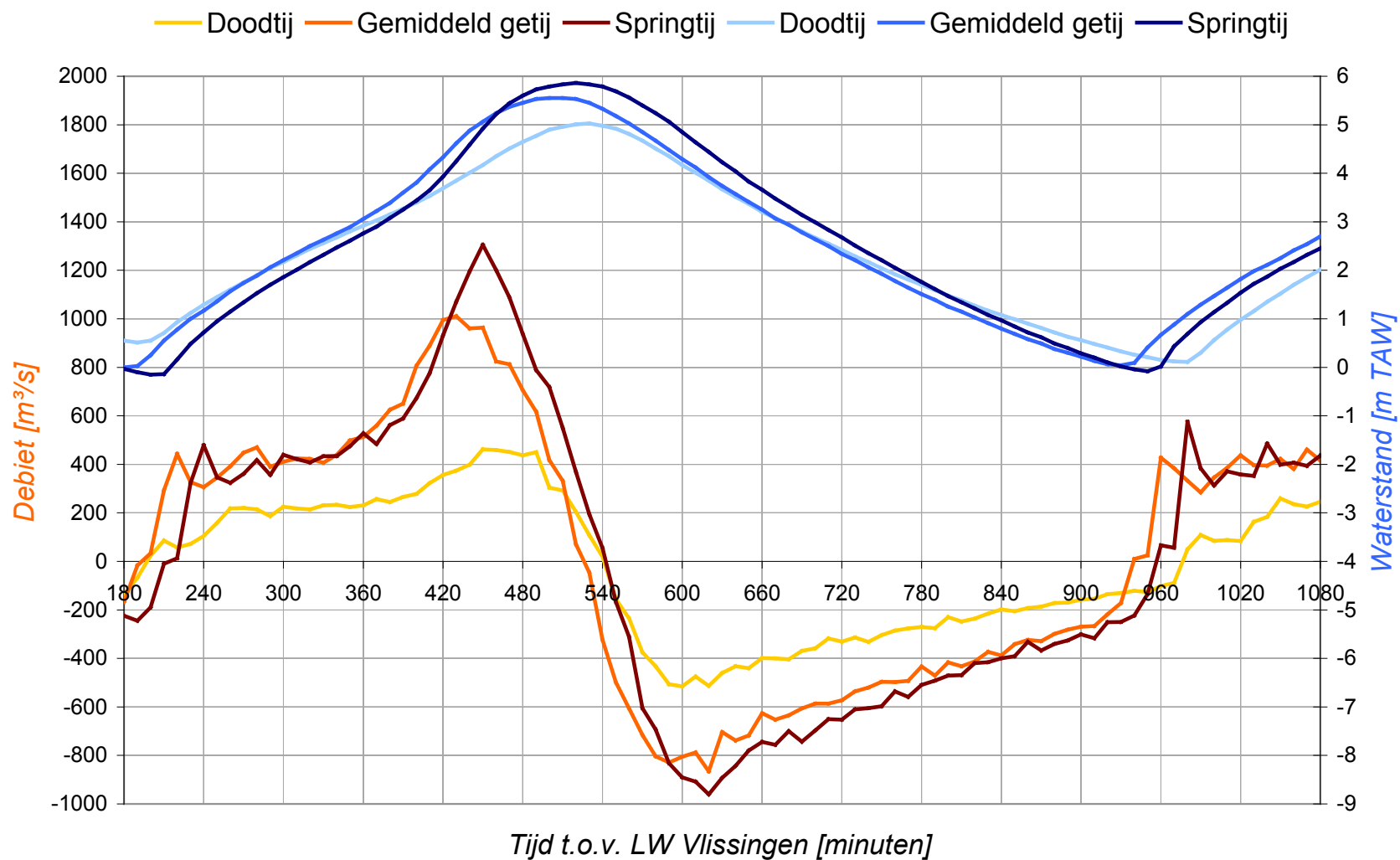
Figuur 117 – Verloop waterstand en debiet te Schoonarde bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



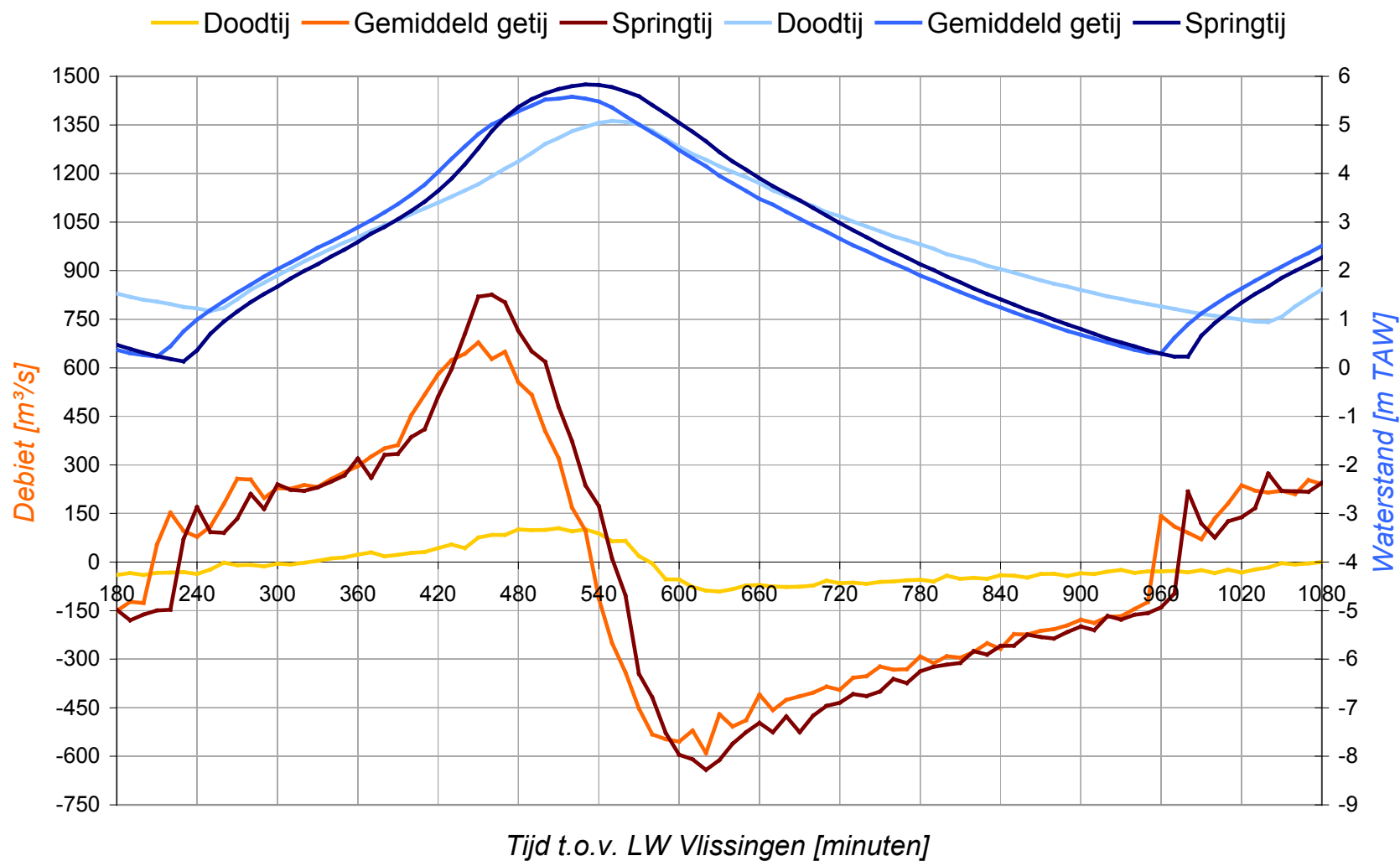
Figuur 118 – Verloop waterstand en debiet te Wetteren bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



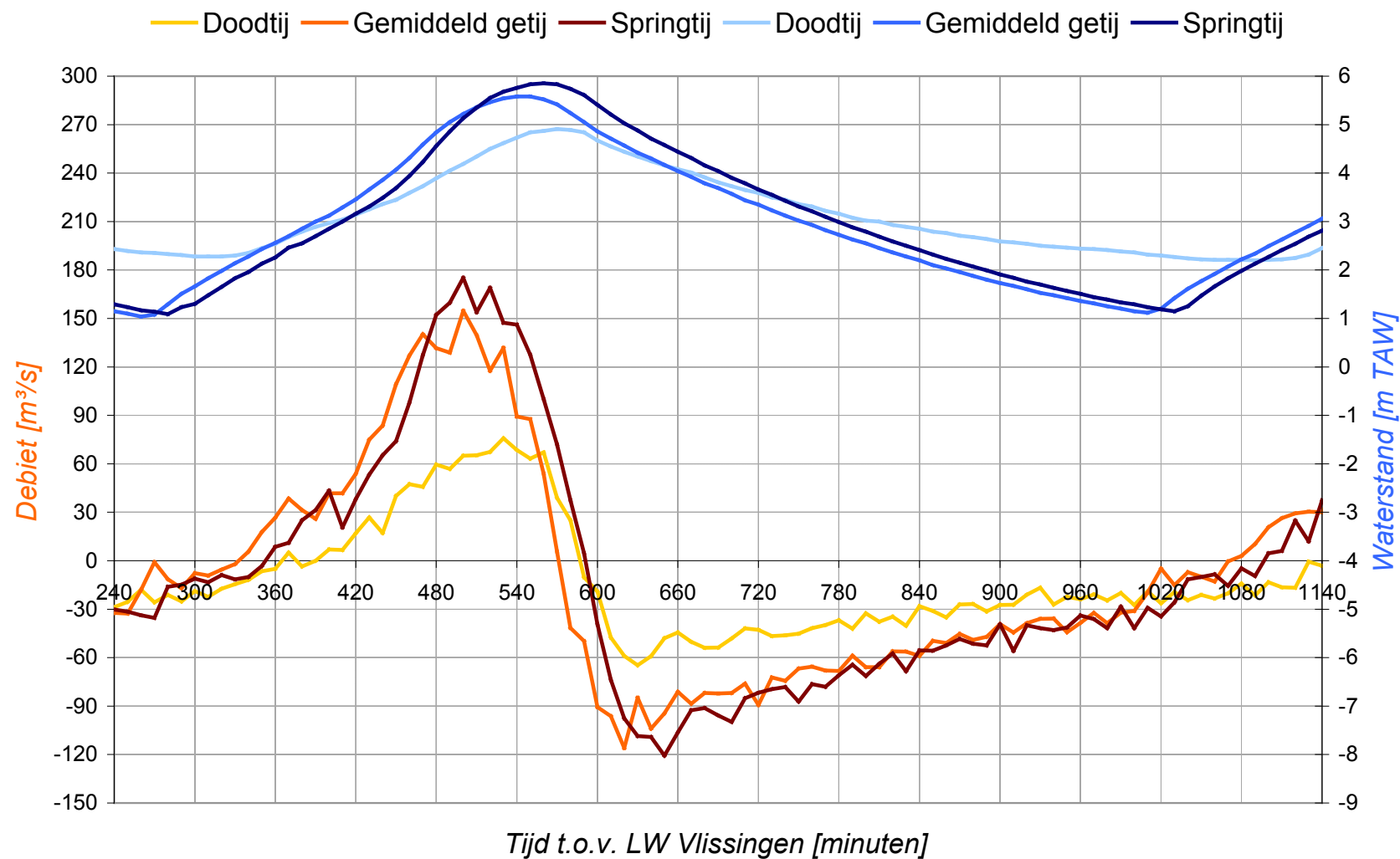
Figuur 119 – Verloop waterstand en debiet te Melle bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



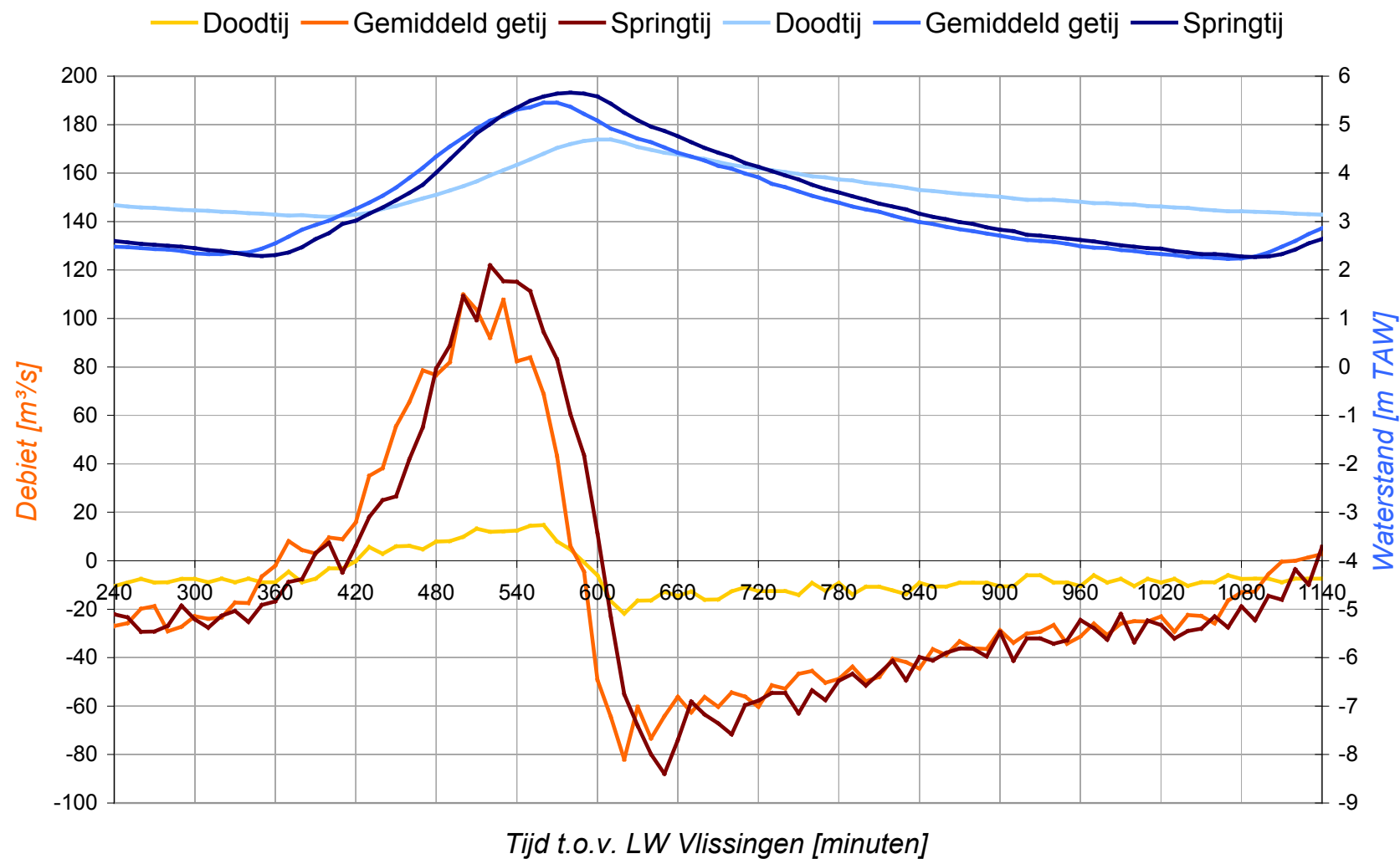
Figuur 120 – Verloop waterstand en debiet te Boom bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



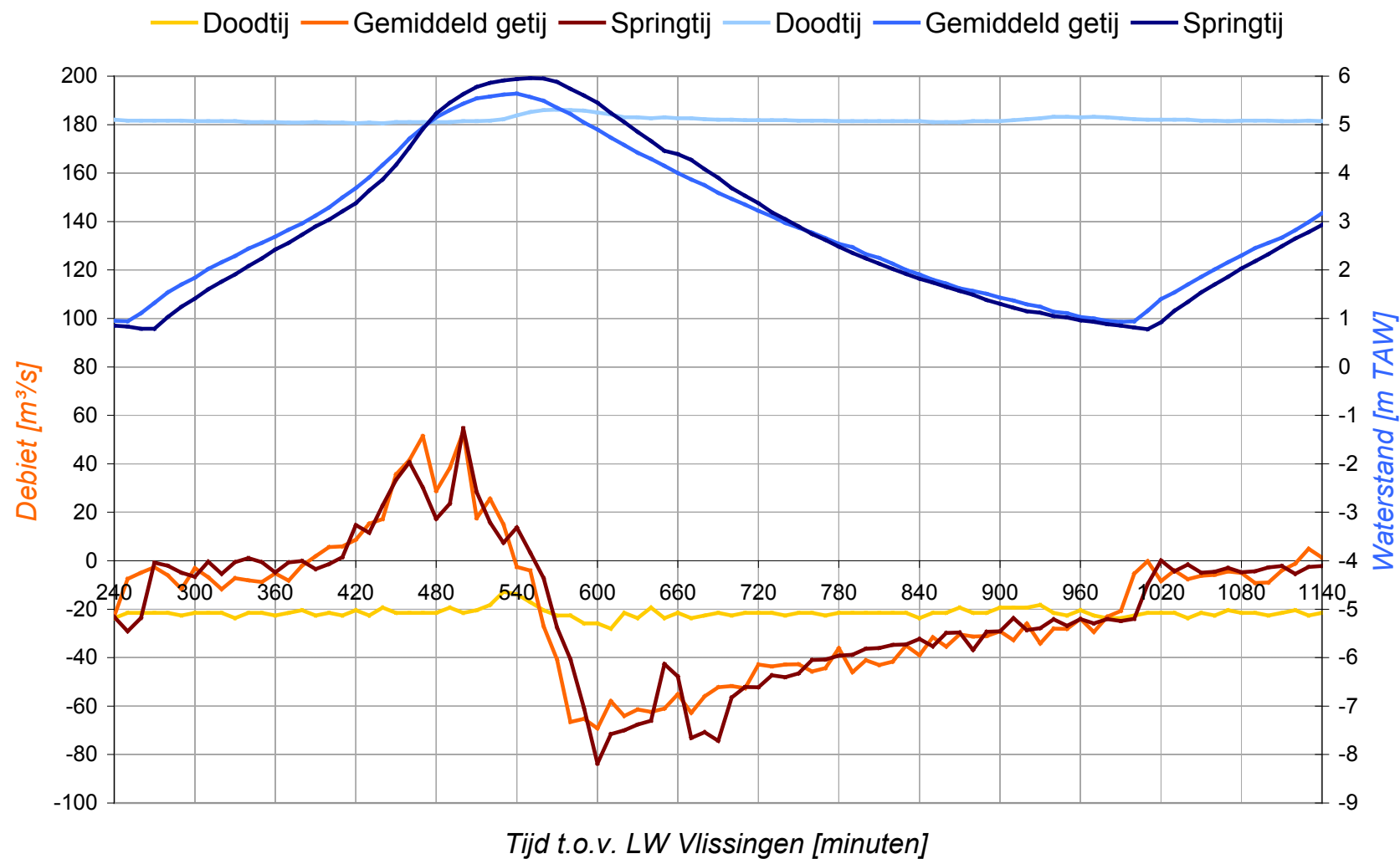
Figuur 121 – Verloop waterstand en debiet te Walem bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



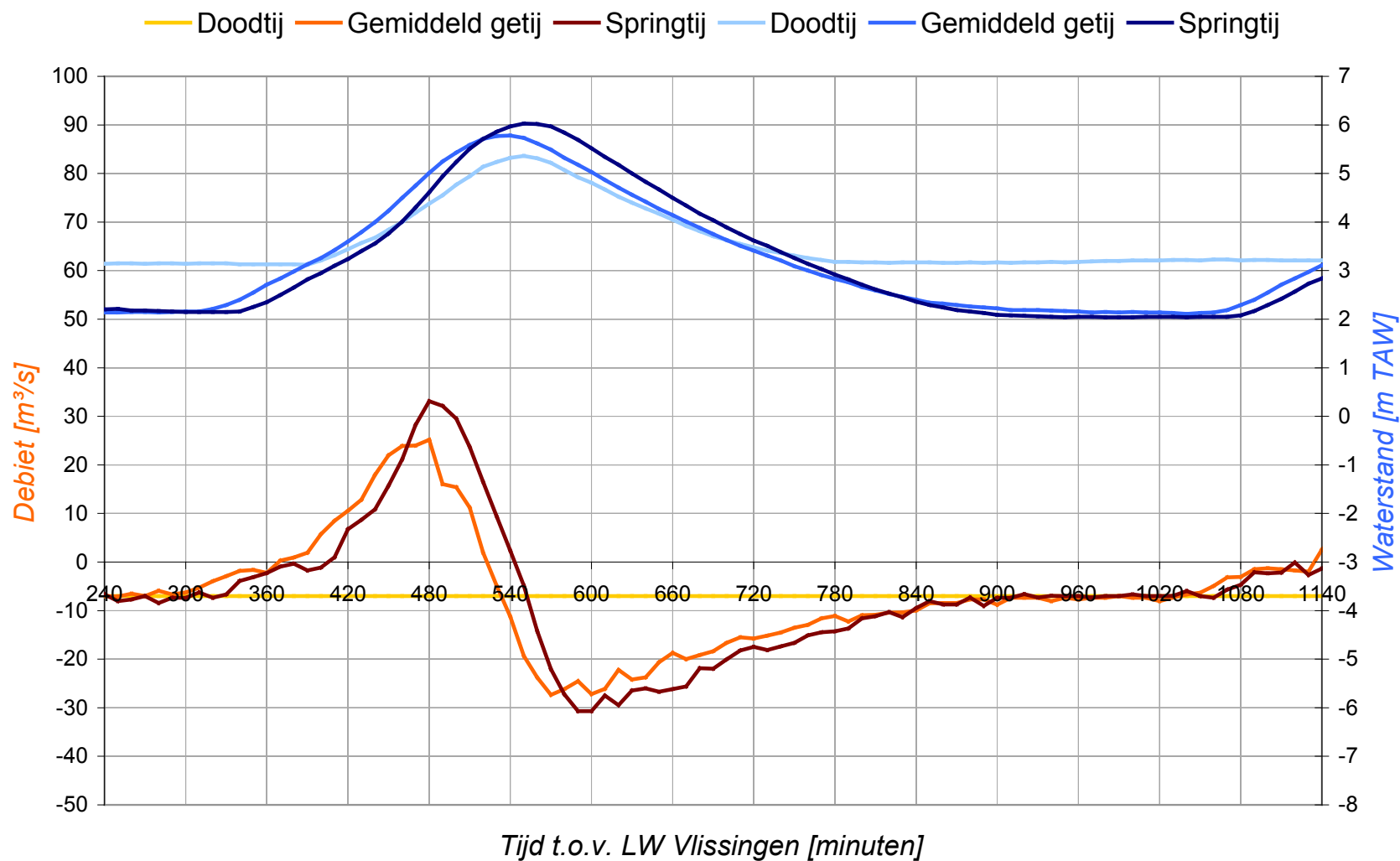
Figuur 122 – Verloop waterstand en debiet te Duffel bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



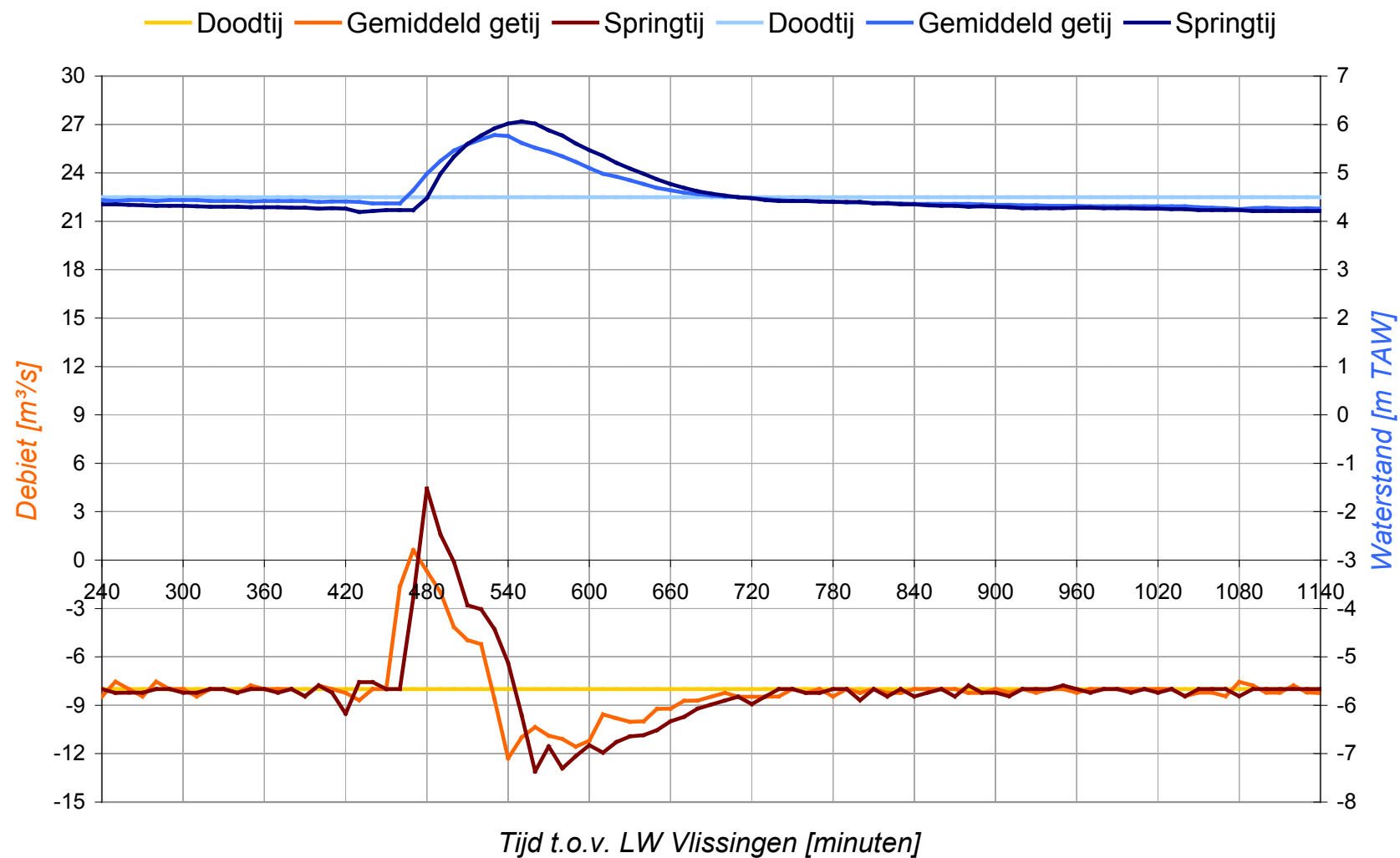
Figuur 123 – Verloop waterstand en debiet te Lier-Molbrug bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



Figuur 124 – Verloop waterstand en debiet te Mechelen bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



Figuur 125 – Verloop waterstand en debiet te Hombeek bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



Figuur 126 – Verloop waterstand en debiet te Waasmunster-Manta bij gemiddeld getij, gemiddeld springtij en gemiddeld doottij



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be