



departement
Mobiliteit en
Openbare Werken

MONEOS - jaarboek monitoring WL 2009

OVERZICHT MONITORING HYDRODYNAMIEK EN FYSISCHES PARAMETERS
ZOALS DOOR WL IN 2009 IN HET ZEESCHELDEBEKKEN GEMETEN



833_07

WL Rapporten



MONEOS - jaarboek monitoring WL 2009

Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals
door WL in 2009 in het Zeescheldebekken gemeten

ir. Eric Taverniers, ir. Hans Vereecken en dr. Frank Mostaert

November 2010

WL2010R833_07_2rev4_0

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Taverniers, ir. E.; Vereecken, ir. H.; Mostaert, dr. F. (2010).

MONEOS - jaarboek monitoring WL 2009: Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2009 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4_0. WL Rapporten, Projectnr 833_07. 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.watlab.be

D/2010/3241/504

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaandelijk schriftelijke toestemming van de uitgever.



Documentidentificatie

Titel:	MONEOS - jaarboek monitoring WL 2009: Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2009 in het Zeescheldebekken gemeten		
Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2010R833_07_2rev4_0
Keywords (3-5):	Zeescheldebekken Moneos monitoring jaarboek 2009		
Tekst (p.):	155	Tabellen (p.):	25
Bijlagen (p.):	/	Figuren (p.):	110
Vertrouwelijk:	☐ Ja	Uitzondering:	☐ Opdrachtgever
			☐ Intern
			☐ Vlaamse overheid
	Vrijgegeven vanaf		
	☒ Nee		☒ Online beschikbaar

Goedkeuring

Auteur & Projectleider	Revisor	Afdelingshoofd
ir. Eric Taverniers	ir. Hans Vereecken	dr. Frank Mostaert

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur
1_0	mei 2010	conceptversie 1	ir. Eric Taverniers
2_0	juni 2010	conceptversie 2	ir. Eric Taverniers
3_0	augustus 2010	revisie	ir. Hans Vereecken
4_0	november 2010	definitieve versie	ir. Eric Taverniers

Abstract

Dit is het tweede gelijknamige zgde Moneos-rapport dat het Waterbouwkundig Laboratorium uitgeeft, met name over de monitoring van het jaar 2009.

In het kader van de Ontwikkelingsschets 2010 van het Schelde-estuarium (OS-2010) wordt een uitgebreide monitoring in de Westerschelde en in het Zeescheldebekken gedaan. Het handelt grotendeels over een continue systeem-monitoring, en waarvan het merendeel al decennia lang wordt bemeaten. Zo voert het Waterbouwkundig Laboratorium in het Zeescheldebekken vele continue metingen uit over waterstand, debiet, stromingen, chloridegehalte, turbiditeit en andere fysische parameters.

Dit rapport geeft een globaal overzicht van die monitoring zoals het Waterbouwkundig Laboratorium in 2009 in het Zeescheldebekken deed, meerbepaald het deel dat voor Moneos dienstig is. Dit rapport heeft de bedoeling om een jaarbeeld 2009 van getij, bovendebieten en andere parameters zoals stromingen, conductiviteit en turbiditeit te schetsen.

Inhoudstafel

Inhoudstafel	I
Voorwoord.....	III
Lijst van de tabellen	V
Lijst van de figuren	VII
1 Jaaroverzicht 2009 getijwaarnemingen.....	1
1.1 algemeen: het getij in het Zeescheldebekken.....	1
1.2 meetlocaties van het getij in het Zeescheldebekken	2
1.3 het (normale) optreden van het getij in het Zeescheldebekken	6
1.4 Getijwaarnemingen 2009 te Antwerpen-Loodsgebouw	12
1.4.1 globaal overzicht getijwaarnemingen 2009 te Antwerpen-Loodsgebouw.....	12
1.4.2 getijwaarnemingen 2009 Antwerpen-Loodsgebouw in historisch perspectief	24
1.4.3 opgetreden stormvloeden 2009.....	35
1.4.4 opgetreden speciale tijen in 2009.....	41
1.5 Getijwaarnemingen 2009 op overige tijmeetposten.....	50
1.5.1 globaal overzicht getijwaarnemingen 2009	50
1.5.2 getijwaarnemingen 2009 in historisch perspectief.....	53
1.5.3 opgetreden stormvloeden 2009.....	57
1.5.4 opgetreden wasregimes 2009	58
1.5.5 opgetreden speciale tijen 2009	64
2 Jaaroverzicht 2009 bovendebieten Zeescheldebekken.....	65
2.1 overzicht meetlocaties van bovendebieten aan de randen van het tijgebied	65
2.2 overzicht 2009 bovendebieten aan de randen van het tijgebied	68
2.2.1 globaal overzicht 2009	68
2.2.2 wasregimes 2009	73
2.2.3 bovendebieten meetraaien 2009 in historisch perspectief	75
2.3 doorrekening bovendebieten aan de randen van het tijgebied naar afwaarts	78
2.3.1 klassieke (tiendaagse) methode ir. R. Codde (1949)	78
2.3.2 nieuwe (vijfdaagse) methode (2009).....	80
2.3.3 doorrekening bovendebieten 2009 naar "Schelde te Schelle"	82
2.3.4 bovendebieten 2009 "Schelde te Schelle" in historisch perspectief	84
2.3.5 doorrekening bovendebieten 2009 naar "Schelde te Schelle" op vijfdaagse basis ("pentades") en met tijdsvertraging (nieuwe methode)	88

3	Jaaroverzicht 2009 "fysische parameters"	92
3.1	aanduiding "fysische parameters"	92
3.1.1	algemeen	92
3.1.2	meetlocaties "fysische parameters"	93
3.1.3	normale verlopen van "fysische parameters" in functie van het getij	94
3.1.4	normale verlopen van "fysische parameters" in functie van de seizoenen	101
3.2	verloop 2009 stroomsnelheid- en richting meetlocaties Zeeschelde	106
3.2.1	verloop van stroomsnelheid	106
3.2.2	verloop van stroomrichting	109
3.3	verloop 2009 temperatuur continue meetlocaties en langsvaarten	111
3.3.1	verloop van temperatuur op continue meetplaatsen Zeeschelde	111
3.3.2	verloop van temperatuur tijdens langsvaarten	114
3.4	verloop 2009 conductiviteit en chloridegehalte continue meetlocaties en langsvaarten	116
3.4.1	verloop van conductiviteit en chloridegehalte continue meetlocaties	116
3.4.2	verloop van conductiviteit en chloridegehalte tijdens langsvaarten	125
3.5	verloop 2009 turbiditeit en suspensiegehalte meetlocaties Zeeschelde	127
3.5.1	verloop 2009 van turbiditeit continue meetlocaties	127
3.5.2	verloop 2009 van suspensiegehalte continue meetlocaties	135
3.6	verloop 2009 turbiditeit en suspensiegehalte meetlocaties rand van het tijgebied	151
3.6.1	algemeen	151
3.6.2	aanvoer suspensiemateriaal	151
	Colofon	C1

Voorwoord

In het kader van de Ontwikkelingsschets 2010 van het Schelde-estuarium (OS-2010), beantwoordend aan de doelstellingen van de Lange-Termijn-Visie 2030 (LTV-2030), wordt onder de naam MONEOS (**MON**itoring **E**ffecten **ONT**wikkeling-**S**chets) een uitgebreide monitoring uitgevoerd in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium, in de Westerschelde en in het Zeescheldebekken. Daarbij handelt het grotendeels over een continue systeem-monitoring, deels over project- en kleinendeels over studie-monitoring. Veel van de systeem-monitoring is een verderzetting van al decennia bestaande meetnetten en metingen, of uitgebreid naar meer locaties of meer parameters.

Het globale MONEOS-programma omhelst verschillende delen, zowel naar:

- de drie luiken (zijnde T = toegankelijkheid, N = natuurlijkheid, en V = veiligheid);
- als naar de aard van de te meten parameters (hydraulisch, morfologisch, fysico-chemisch, biologisch enz.);
- als naar de plaats (water, slikken en platen, schorren, gebieden aan landzijde van de dijk o.m. overstromingsgebieden, enz.).

In het Zeescheldebekken voert het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout vele continue metingen uit over waterstand, debiet, stromingen, chloridegehalte, turbiditeit en andere fysische parameters, waarvan vele metingen in het globale MONEOS-programma mee opgenomen zijn.

Dit rapport geeft een globaal overzicht van de aldus in 2009 door het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout in eigen regie en uitvoering gedane monitoring in het Zeescheldebekken en dat kadert in MONEOS. Het gaat in dit rapport om basis-parameters van het Zeescheldebekken, parameters die eigen zijn aan het beleidsdomein "mobiliteit en openbare werken" waartoe het Waterbouwkundig Laboratorium behoort, zoals:

- **waterstanden** (het tij in het Zeescheldebekken);
- **bovendebieten** (de afvoer van het hydrografisch bekken opwaarts het tijgebied);
- **temperatuur, conductiviteit en chloridegehalte** van vnl. het water van de Zeeschelde;
- **stromingen** (o.a. stroomsnelheid en -richting op continue meetplaatsen);
- **turbiditeit en suspensiegehalte** (ook op continue meetplaatsen in de Zeeschelde aangevuld met metingen aan de opwaartse rand van het tijbekken).

Het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout heeft zich dan ook ten volle geëngageerd om binnen MONEOS systematisch volgende parameters (meestal continu) te meten:

- waterstanden (tij) in alle aan het tij onderhevige rivieren van het Zeescheldebekken;
- bovendebieten aan alle randen van het tijgebied, en doorrekening naar dienstige plaatsen afwaarts, o.a. te Schelle; plus aan enkele -nieuwe- intermediaire locaties;
- fysische parameters zoals temperatuur, conductiviteit, chloridegehalte, turbiditeit en concentratie aan suspensiemateriaal, op een vijftiental goedgelegen plaatsen in het Zeescheldebekken; daarbij zullen op vele plaatsen ook zuurstofgehalte, redox-potentiaal, pH, chlorofyl-a, blauwalgen e.d. worden gemeten, en op enkele plaatsen enkel temperatuur, conductiviteit en chloridegehalte;

- stromingen (in snelheid en in richting) op verschillende plaatsen, zowel puntsgewijs als over een dwarssectie, en dat over het Zeescheldebekken verspreid; zowel gaande over dertienuursmetingen over een getij, als continu;
- debieten en sedimentfluxen over de dwarssectie van tijrivieren in het Zeescheldebekken, programma dat dit jaar sterk wordt uitgebreid;
- golfmetingen op dienstige locaties vnl. in de Beneden-Zeeschelde;
- waterstanden in de overstromingsgebieden, al dan niet met Gereduceerd Gecontroleerd Getij, en dat over het ganse Zeescheldebekken

Dit rapport beperkt zich uiteraard tot wat in 2009 daadwerkelijk werd gemeten. Er worden nl. nog steeds nieuwe meetlocaties opgezet.

* * *

Dit rapport wil in de eerste plaats een "**jaarbeeld**" geven, een verzameling van tabellen en grafieken die het verloop van de vernoemde parameters duidelijk weergeeft. Dit rapport is het tweede in een reeks, en is niet meer zo uitgebreid en uitleggend als het eerste met het jaarbeeld over 2008.

Omdat het toen de eerste maal was dat een dergelijk "jaarbeeld" werd geschreven, en om tegemoet te komen aan nut en nood van de "jongere" generatie, zegge het binnen een ruimer dan louter vanuit Moneos-standpunt beoogde doelpubliek verspreiden van het rapport, kwam die eerste uitgave tegemoet aan de wens om al de aangehaalde parameters van het fysisch leven van het tijbekken, betekenisvoller aan te voelen, ze beter in hun context in te kunnen passen, en hun onderlinge verbanden dieper te begrijpen.

Dit rapport, ook het deel over "fysische parameters", kan worden gelezen zonder er de eerste uitgave van nabij te hebben. Maar in die eerste uitgave werd wel omstandiger zaken uitgelegd, terwijl er nu vlugger over wordt gegaan, en eerder de jongste meetresultaten worden weergegeven. Niet enkel over het jaar 2009 i.p.v. 2008, maar ook zijn de tabellen en grafieken die een meerjarenevolutie aangaven, met een jaartje aangevuld. Voor desgewenst meer uitleg wordt dus naar het eerste rapport (jaarbeeld 2008) verwezen. Daarom is ook dit rapport in dezelfde strakke systematiek als het eerste jaarbeeld geschreven.

Alle minuut-data (letterlijk: per minuut of per klassieke tienminuten, bvb. àlle waterstanden, àlle locaties) zijn uiteraard ook digitaal beschikbaar, ook deze die zeer frequent worden gemeten en verzameld, en niet enkel deze die bvb. over enkel hoog- of laagwaters gaan maar o.m. deze over het volledige tijverloop, enzovoort. Het Waterbouwkundig Laboratorium gebruikt deze data al jaren voor eigen studies en onderzoeken, en verstrekt op vraag ganse data-reeksen.

Lijst van de tabellen

	<u>blz.</u>
Tabel 1 - lijst van de langs de Zeeschelde opgestelde continue meetposten en met opgave van de per locatie gemeten parameters	4
Tabel 2 - lijst van de langs de overige tijrivers opgestelde continue meetposten en met opgave van de per locatie gemeten parameters	5
Tabel 3 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: hoofdkenmerkende waarden van het tij over het jaar 2009	13
Tabel 4 - hoofdkenmerkende waarden getij Antwerpen-Loodsgebouw in het jaar 2009 en in vergelijking met langjarige waarden sinds 1971	24
Tabel 5 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: algemeen overzicht 2001-2009 van hoofdkenmerkende tijwaarden (enkel HW's & LW's & tijverschillen)	25
Tabel 6 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: algemeen overzicht 2001-2009 van hoofdkenmerkende tijwaarden (HW's & LW's & tijverschillen plus halftij & duurtijden)	26
Tabel 7 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: algemeen overzicht 2001-2009 van hoofdkenmerkende tijwaarden (met name de uiterste hoog- en laagwaterstanden)	27
Tabel 8 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: frequentie-tabel hoogwaters 2001-2009 verdeeld per decimeter TAW	28
Tabel 9 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: frequentie-tabel laagwaters 2001-2009 verdeeld per decimeter TAW	29
Tabel 10 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: frequentie-tabel tijverschillen 2001-2009 verdeeld per decimeter	30
Tabel 11 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: frequentie-tabel hoogwaterstanden bij stormvloed 1971-2009 verdeeld per decimeter	39
Tabel 12 - Zeeschelde: overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden 2009	51
Tabel 13 - Rupel en Beneden-Nete: overzicht per locatie van hoofdkenmerkende tijwaarden 2009	52
Tabel 14 - Zeeschelde: gemiddeld hoogwater 2009 in vergelijking met de tienjarige gemiddelde hoogwaters 1971/1980, 1981/1990 en 1991/2000, en van het hoogste hoogwater ooit (dus ook van stormvloed februari 1953)	54
Tabel 15 - Zeeschelde: gemiddeld laagwater 2009 in vergelijking met de tienjarige gemiddelde laagwaters 1971/1980, 1981/1990 en 1991/2000, alsook van het laagste laagwater ooit (dus ook van vroegere decennia)	55
Tabel 16 - Rupel en Beneden-Nete: gemiddeld hoogwater 2009 in vergelijking met de tienjarige gemiddelde hoogwaters 1971/1980, 1981/1990 en 1991/2000, alsook van het hoogste hoogwater ooit (dus ook van stormvloed februari 1953)	56

Tabel 17 - Rupel en Beneden-Nete: gemiddeld laagwater 2009 in vergelijking met de tienjarige gemiddelde laagwaters 1971/1980, 1981/1990 en 1991/2000, alsook van het laagste laagwater ooit (dus ook van vroegere decennia)	56
Tabel 18 - Zeescheldebekken: overzicht kleinste, grootste en gemiddelde bovendebieten aan de meetraaien gedurende de was-periode van 23 tot 27 januari 2009	59
Tabel 19 - Zeescheldebekken: overzicht kleinste, grootste en gemiddelde bovendebieten aan de meetraaien gedurende de was-periode van 10 tot 15 februari 2009	60
Tabel 20 - Zeescheldebekken: hoofdkenmerkende waarden van de daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien, jaar 2009	71
Tabel 21 - Zeescheldebekken: bovendebieten aan de meetraaien - 2009 tiendaagse en maandelijkse gemiddelde waarden	72
Tabel 22 - Overzicht van de meetplaatsen van de bovenafvoer, met waarde van de multiplicator van doorrekening naar de uitmonding van de betrokken rivier	79
Tabel 23 - overzicht van de (gemiddelde) tijdsvertraging van doorkomen van bovenafvoer aan de meetraaien, bij doorrekening te Schelle	81
Tabel 24 - Zeescheldebekken: algemeen overzicht 2009 van de afvoer van de tijrivieren en de zijbekkens, en aan de Schelde te Schelle	83
Tabel 25 - de bovenafvoer van het Zeescheldebekken: vijfdaagse gemiddelde bovendebieten (pentades) van "de Schelde te Schelle" in 2009	89

Lijst van de figuren

blz.

Figuur 1 - Zeescheldebekken: algemeen liggingsplan met schetsmatige aanduiding van de grootste tij-beïnvloedende componenten	2
Figuur 2 - Zeescheldebekken: algemeen liggingsplan met aanduiding van de tijmeetposten (en debietmeetposten aan de rand van het tijgebied)	3
Figuur 3 - gemiddelde tijkrommen (springtij, middeltij en doottij) in de Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw	6
Figuur 4 - Zeeschelde: uittekening van de gemiddelde (middel-)tijden van (bijna) alle tijmeetlocaties in Westerschelde en Zeeschelde. De tijkrommen zijn alle met hun vertraging t.o.v. het tijdstip van hoogwater te Vlissingen gezet	7
Figuur 5 - Zeescheldebekken: algemeen liggingsplan met aanduiding van gemiddelde tijverschillen en gemiddelde eb-volumes op enkele kenmerkende locaties	8
Figuur 6 - correlaties van hoogwater en laagwater tussen de geburige meetposten Antwerpen-Loodsgebouw en Hemiksem	9
Figuur 7 - correlaties van hoogwater en laagwater tussen de geburige meetposten Wetteren en Melle	11
Figuur 8 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2009	14
Figuur 9 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2009 door aanduiding van de afzonderlijke verlopen van hoogwater en laagwater	15
Figuur 10 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2009 door aanduiding van enkel het verloop van tijverschil	15
Figuur 11 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: maandverloop van (bovenaan) het astronomisch voorspelde tij en (onderaan) het waargenomen tij gedurende de maand januari 2009	17
Figuur 12 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: maandverloop van het waargenomen getij en van het verschil tussen voorspelde en waargenomen extrema (HW's & LW's) maand januari 2009	18
Figuur 13 - Typisch verloop van een springtij en een doottij te Antwerpen-Loodsgebouw met aangeven van het ogenblikkelijk hoogteverschil (bij rijzing en daling) per minuut	21
Figuur 14 - Typisch verloop van springtij en doottij te Antwerpen-Loodsgebouw	22
Figuur 15 - Typisch verloop van springtij en doottij te Antwerpen-Loodsgebouw en waarbij het eerstgetoonde moment hoogwater bij doottij in tijd verschoven is naar het eerstgetoonde moment van hoogwater bij springtij	23

Figuur 16 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: "eeuw"-evolutie jaargemiddelden van hoogwater (1885-2009)	32
Figuur 17 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: "eeuw"-evolutie jaargemiddelden van laagwater (1885-2009)	33
Figuur 18 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: "eeuw"-evolutie jaargemiddelden van tij-verschillen (1885-2009)	34
Figuur 19 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 9 à 11 februari 2009 o.a. stormvloed op peil TAW (+6.87m)	35
Figuur 20 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 9+10+11 februari 2009 alsmede het ogenblikkelijk waterstandsverschil per minuut	36
Figuur 21 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 10 februari 2009	37
Figuur 22 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: evolutie sinds 1885 (resp. 1900) van jaargemiddeld hoogwater middeltij, springtij en doottij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste hoogwaterstanden	40
Figuur 23 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 18+19+20 januari 2009 met dubbel-laagwater op 19.01.2009	42
Figuur 24 - Westerschelde te Vlissingen: tijverloop op 18+19+20 januari 2009 met dubbel-laagwater op 19.01.2009	42
Figuur 25 - Westerschelde te Hansweert: windverloop op 18+19+20 januari 2009 (tien minuut-gegevens)	43
Figuur 26 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 19 januari 2009	44
Figuur 27 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: verloop van tij (druk) en stroom-snelheid en -richting	45
Figuur 28 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 17 juli 2009 met klein "dubbel-laagwater"	46
Figuur 29 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: evolutie sinds 1885 (resp. 1900) van jaargemiddeld laagwater middeltij, springtij en doottij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste laagwaterstanden	47
Figuur 30 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 22+23+24 januari 2009	48
Figuur 31 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 22+23+24 januari 2009 met aanduiding van laag- en hoogwaterstandsverhogingen gedurende een typisch drietrapsgetij	49
Figuur 32 - Zeeschelde: algemeen liggingsplan met aanduiding van de beschouwde tijmeetposten	53
Figuur 33 - Zeeschelde: verloop tij met stormvloed 10 februari 2009 op enkele hoofdlocaties	57

Figuur 34 - Zeescheldebekken: algemeen verloop van de bovendebieten aan de meetraaien gedurende de was-periode van januari 2009	59
Figuur 35 - Zeescheldebekken: algemeen verloop van de bovendebieten aan de meetraaien gedurende de was-periode van februari 2009	61
Figuur 36 - Boven-Zeeschelde te Melle: verloop van tij en bovendebiet gedurende de was-periodes van januari en februari 2009	62
Figuur 37 - Boven-Zeeschelde te Dendermonde en Dender te Appels: verloop van tij resp. bovendebiet gedurende de wasperiodes van januari en februari 2009	63
Figuur 38 - Zeeschelde: verloop van het dubbel-laagwater op 19 januari 2009	64
Figuur 39 - ligging van de meetplaatsen van de bovenafvoer aan de randen van het tijgebied, en aanduiding van de locatie "Schelde te Schelle" tot waar "de globale bovenafvoer" naar de zgde Beneden-Zeeschelde wordt doorgerekend	66
Figuur 40 - Boven-Zeeschelde te Melle: foto van de meetinstallatie van de tijmeetpost en van de akoestische debietsmeter	67
Figuur 41 - Zeescheldebekken: daggemiddeld bovendebiet aan de meetraaien aan de randen van het tijgebied over het ganse jaar 2009	68
Figuur 42 - Zeescheldebekken: sortering naar grootte van de daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien, over het ganse jaar 2009	69
Figuur 43 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien in januari en februari 2009, o.a. met de was-periodes einde januari en medio februari 2009	73
Figuur 44 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien in november en december 2009, o.a. met twee periodes van zeer kleine afvoer voor herfst/wintermaanden	74
Figuur 45 - Zeescheldebekken: verloop van de daggemiddelde bovendebieten in de Zeeschelde te Melle, periode 1970-2009	75
Figuur 46 - Zeescheldebekken: verloop van de daggemiddelde bovendebieten in de Zeeschelde te Melle periode 1970-2009	76
Figuur 47 - Zeescheldebekken: in grootte gerangschikt verloop van de daggemiddelde bovendebieten in de Zeeschelde te Melle over de periode 1970-2009	77
Figuur 48 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949 à 2009 op basis van maandgemiddelde waarden	84
Figuur 49 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949 à 2009 op basis van een lopend 12-maandgemiddelde waarde	85
Figuur 50 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949 à 2009 op basis van jaargemiddelde waarden	86
Figuur 51 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949 à 2009 op basis van jaargemiddelde waarden en gerangschikt naar grootte	86

Figuur 52 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949 à 2009 op basis van jaargemiddelde waarde, inclusief trendlijn (tweedegraads polynoom)	87
Figuur 53 - Zeescheldebekken: afvoer volgens tiendaagse en vijfdaagse gemiddelde boven-debieten met name van de "Schelde te Schelle" over het jaar 2009	90
Figuur 54 - Zeescheldebekken: afvoer volgens vijfdaagse gemiddelde bovende-bieten "Schelde te Schelle" over het jaar 2009 (nieuwe methode)	91
Figuur 55 - Zeescheldebekken: algemeen liggingsplan met aanduiding van de meetplaatsen van continue monitoring van zgde "fysische parameters"	93
Figuur 56 - typisch verloop van de tienminuut-meetresultaten van Aanderaa-meettoestellen, over een week (halve springtij/doodtij-cyclus) m.n. temperatuur, conductiviteit, stroomsnelheid, stroomrichting, druk en turbiditeit	95
Figuur 57 - typisch verloop van de tienminuut-meetresultaten van Aanderaa-meettoestellen, m.n. temperatuur, conductiviteit, stroomsnelheid, stroomrichting, druk en turbiditeit, en zulks bij een doortij	98
Figuur 58 - typisch verloop van de tienminuut-meetresultaten van Aanderaa-meettoestellen, m.n. temperatuur, conductiviteit, stroomsnelheid, stroomrichting, druk en turbiditeit, en zulks bij een springtij	99
Figuur 59 - typisch verloop van het tij: verloop van de waterstand, het debiet en de gemiddelde watersnelheid door de dwarssectie, en met gangbare termen i.v.m. het tij	100
Figuur 60 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: foto van de meetdukdalf met de twee kranen voor Aanderaa-RCM9-meettoestel, en de meethut met tij- en meteo-meting	102
Figuur 61 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop 2009 van de watertemperatuur per vijfdaagse periode, met onderscheid naar de temperatuur bij KHW en KLW	103
Figuur 62 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop 2009 van de conductiviteit per vijfdaagse periode, met onderscheid naar de conductiviteit bij KHW en KLW	104
Figuur 63 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop 2008 van de conductiviteit per vijfdaagse periode, met onderscheid naar de conductiviteit bij KHW en KLW	104
Figuur 64 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 : jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb	107
Figuur 65 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel : jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb	107
Figuur 66 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 : jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de maximale stroomsnelheid over vloed en over eb	108
Figuur 67 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel : jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de maximale stroomsnelheid over vloed en over eb	108
Figuur 68 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 : jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de gemiddelde stroomrichting over vloed en over eb	110
Figuur 69 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de gemiddelde stroomrichting over vloed en over eb	110

Figuur 70 - Beneden-Zeeschelde te Prosperpolder: jaarverloop 2009 van de watertemperatuur	112
Figuur 71 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84: jaarverloop 2009 van de watertemperatuur	112
Figuur 72 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop 2009 van de watertemperatuur	113
Figuur 73 - Boven-Zeeschelde te Driegoten: jaarverloop 2009 van de watertemperatuur	113
Figuur 74 - Westerschelde en Zeeschelde tussen Bath en Rupelmonde : langsvaart bij kentering hoogwater op typische winter- en zomer-omstandigheden - verloop van de watertemperatuur	115
Figuur 75 - Zeescheldebekken: afvoer volgens vijfdaagse gemiddelde bovendebielen "Schelde te Schelle" over het jaar 2009 (nieuwe methode)	116
Figuur 76 - jaarverloop 2009 van conductiviteit bij KHW en KLW te Boei 84, en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd	118
Figuur 77 - jaarverloop 2009 van conductiviteit bij KHW en KLW te Oosterweel, en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd	118
Figuur 78 - jaarverloop 2009 van conductiviteit bij KHW en KLW te Driegoten, per pentade beschouwd	119
Figuur 79 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en KLW te Boei 84, per pentade beschouwd	121
Figuur 80 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en KLW te Oosterweel, per pentade beschouwd	121
Figuur 81 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en KLW te Boei 84, en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd	123
Figuur 82 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en KLW te Boei 84, en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd, en met verloop van afvoer Schelle in omgekeerde y-as	123
Figuur 83 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en KLW te Oosterweel, en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd	124
Figuur 84 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en KLW te Oosterweel, en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd, en met verloop van afvoer Schelle in omgekeerde y-as	124
Figuur 85 - Westerschelde en Zeeschelde tussen Bath en Rupelmonde : langsvaart bij kentering hoogwater op typische winter- en zomer-omstandigheden - verloop van de conductiviteit	126
Figuur 86 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit bovenste toestel - bij KHW en KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb	128
Figuur 87 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit onderste toestel - bij KHW en KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb	128

Figuur 88 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit bovenste toestel - bij KHW en KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb	130
Figuur 89 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit onderste toestel - bij KHW en KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb	131
Figuur 90 - Boven-Zeeschelde te Driegoten: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit	133
Figuur 91 - Boven-Zeeschelde te Driegoten: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit, plus een (ongeveer) daggemiddelde trendlijn	134
Figuur 92 - verzameling van calibratiepunten van opgestelde Aanderaa-meettoestellen en hun resp. trendlijnen (toestel per toestel, en seizoen per seizoen genomen)	136
Figuur 93 - verzameling van dezelfde calibratiepunten van opgestelde Aanderaa-meettoestellen doch met één enkele algemene trendlijn over alle toestellen en alle seizoenen heen, plus de 5- en 95-percentielen van de spreiding	136
Figuur 94 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 - jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte bovenste toestel - bij KHW en KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb	139
Figuur 95 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 - jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte onderste toestel - bij KHW en KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb	140
Figuur 96 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel - jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte bovenste toestel - bij KHW en KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb	141
Figuur 97 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel - jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte onderste toestel - bij KHW en KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb	142
Figuur 98 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84: jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte onderste toestel - gemiddeld over vloed en eb - plus vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle"	144
Figuur 99 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84: jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte onderste toestel - gemiddeld over vloed en eb - plus vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle"	144
Figuur 100 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte onderste toestel - gemiddeld over vloed en eb - plus vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle"	145
Figuur 101 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte onderste toestel - gemiddeld over vloed en eb - plus vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle"	145

Figuur 102 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84: jaarverloop 2009 per pentade van suspensiegehalte onderste toestel - gemiddeld over vloed en eb - plus vijfdaagse afvoer Schelde te Schelle - plus vijfdaags totaal aan uitgevoerde baggerwerken in directe omgeving	147
Figuur 103 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 - onderste meettoestel: jaarverloop 2009 per pentade van suspensiegehalte gemiddeld over vloed en eb i.f.v. de in dezelfde pentade uitgevoerde baggerwerken in directe omgeving, mét alle data resp. enkel data tweede halfjaar 2009	148
Figuur 104 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 - onderste meettoestel: verloop van enkel het tweede halfjaar 2009 per pentade van het suspensiegehalte over vloed en eb i.f.v. de ook per pentade uitgevoerde baggerwerken in directe omgeving, één week naar voor verschoven resp. één week naar achter verschoven	150
Figuur 105 - Zenne te Eppegem: jaarverloop 2009 van de dagelijkse flux van suspensiemateriaal	152
Figuur 106 - Dijle te Haacht: jaarverloop 2009 van de dagelijkse flux van suspensiemateriaal	153
Figuur 107 - Grote Nete te Itegem: jaarverloop 2009 van de dagelijkse flux van suspensiemateriaal	153
Figuur 108 - Kleine Nete te Grobbendonk: jaarverloop 2009 van de dagelijkse flux van suspensiemateriaal	154
Figuur 109 - Zenne te Eppegem: correlatie suspensie-flux i.f.v. waterafvoer over het jaar 2009	155
Figuur 110 - Dijle te Haacht: correlatie suspensie-flux i.f.v. waterafvoer over het jaar 2009	155

1 Jaaroverzicht 2009 getijwaarnemingen

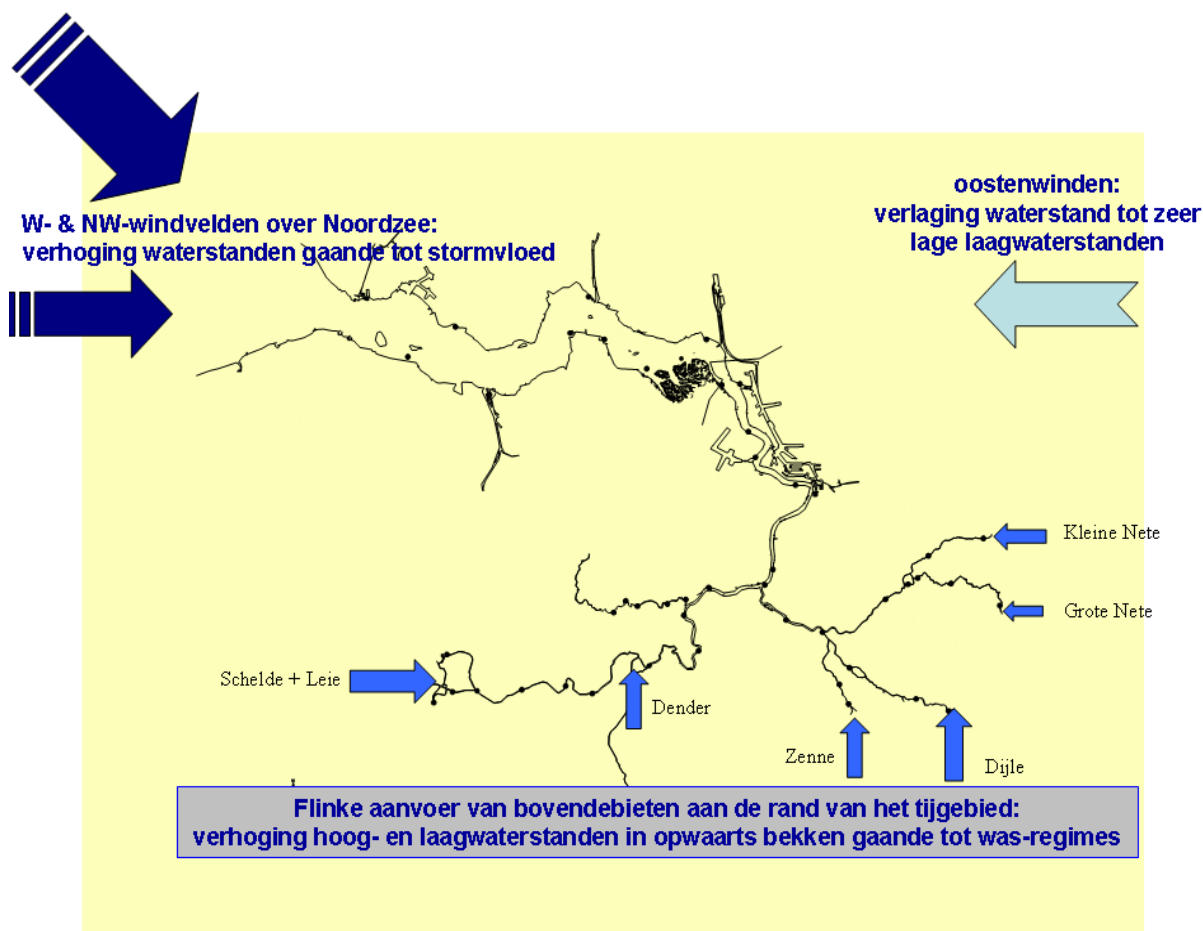
1.1 algemeen: het getij in het Zeescheldebekken

Zoals bekend is het Zeescheldebekken onderworpen aan het halfdaagse getij in de Noordzee. Via de Westerschelde komt bijna vier maal daags een tijgolf het Zeescheldebekken binnen, om en om een laagwater- en een hoogwatergolf. Zoals ook bekend is, variëren deze tijen flink met de maanstand in een doortij/springtij-periode.

Van alle franjes ontdaan, kan het getij in het Zeescheldebekken kortweg omschreven worden als zijnde de som van volgende componenten:

- vanuit de Noord-Atlantische Oceaan komt een quasi **astronomisch getij** de Noordzee binnen, zowel ten zuiden via het Nauw van Kales als ten noorden omheen Schotland;
- bij diepe lagedruk-kernen, met dicht bij elkaar gelegen isobaren aan westzijde, en gewoonlijk van zuidwest naar noordoost gaande over de Noordzee, oefenen meteorologische omstandigheden op dit quasi astronomisch getij grote invloed uit, welke bij langdurige (dagen) en hevige (8 à 12 Bft) windvelden uit west tot vnl. noordwest over de Noordzee, langs de Belgische Kust aanleiding geven tot **flink verhoogde waterstanden** vnl. hoogwaterstand, zodat zich via de Westerschelde in het Zeescheldebekken stormvloed kunnen ontwikkelen. Met een knipoog naar de oorzaak wordt -algemeen- van opwaaiing gesproken;
- vanuit continentaal Europa kunnen langdurige (dagen) en hevige (5 à 7 Bft) oostenwinden vanuit Duitsland over België en Nederland gaan, welke de normaal (astronomisch voorspelde) waterstanden in Westerschelde en Zeescheldebekken **flink kunnen verlagen**, zo hoog- als laagwater. Dit kan zich vooral voordoen bij winterse vorstperiodes als in zomerse warmtedagen. Met een knipoog naar de oorzaak wordt -algemeen- van afwaaiing gesproken.
- bij langdurige (dagen) en hevige (bvb. 10 en meer l/m2.d) neerslag in Noord-Frankrijk en België, neemt de waterafvoer uit de opwaarts gelegen hydrografische bekkens (Bovenschede, Leie, Denderbekken, Boven-Dijle-bekken, Demerbekken, Netebekken enz.) dermate toe dat uiteindelijk **zeer grote bovendebieten** naar het Zeescheldebekken worden afgevoerd, die het getij in de opwaartse gebieden van het tijbekken enerzijds doen verhogen (zo hoog- als eerder en meer laagwater) en anderzijds beperken (het getij doen afremmen en het tijverschil te doen verkleinen). Buiten de vernoemde hevige neerslag kan dit ook gebeuren bij plotse dooi na een sneeuwperiode. De bovendebieten geven aanleiding tot een **was-regime**.

Om deze componenten visueel te schetsen en op het Zeescheldebekken te projecteren, kan navolgende figuur 1 schetsmatig de zaken verduidelijken.



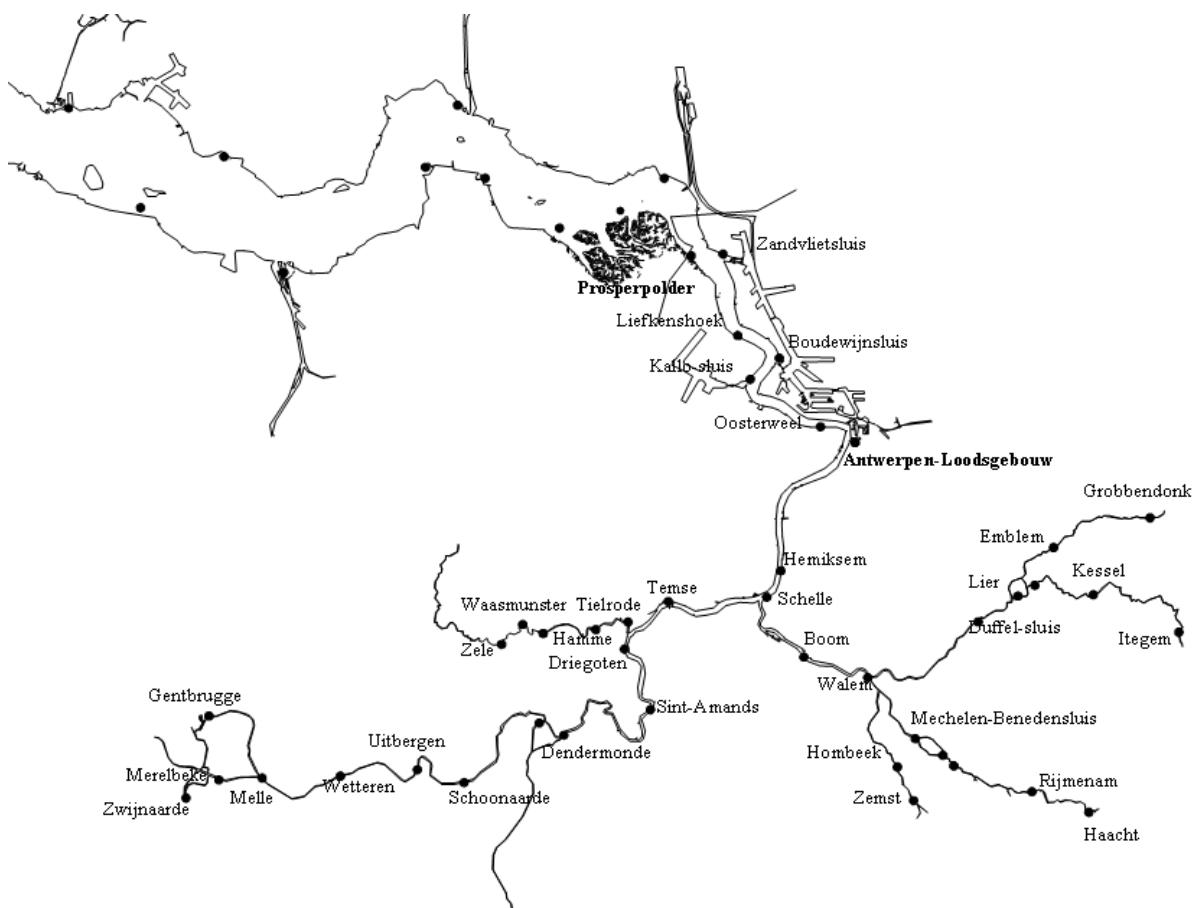
Figuur 1 - Zeescheldebekken:
algemeen liggingplan met schetsmatige aanduiding van de grootste tij-beïnvloedende componenten

1.2 meetlocaties van het getij in het Zeescheldebekken

Van 1885 worden in het Zeescheldebekken systematisch en continu tij-registraties gedaan. Meteen was het meetnet vrij uitgestrekt, en op alle tijrivieren aanwezig, ruimer zelfs dan nu omdat bvb. de Moervaart, de Zuidlede en huidige kanaal-Durme tot jaren 1950 nog aan tij onderhevig waren.

De tij-registraties gebeurden aan de hand van mechanische tijmeettoestellen met papier-registratie, tegen de veel vroegere geplogenheden om enkel overdag aan de peilschalen (ongeveer) de hoog- en de laagwaterstanden te noteren. Hoewel al meer dan dertig jaren online-telemetrie-systemen bestaan die per minuut het getij van de meeste meetlocaties doorgeven, vormen de klassieke mechanische tijmeettoestellen nog steeds de vertrouwde en beste basis om hoog- en laagwaters te meten.

Onderstaande figuur 2 geeft de huidige meetlocaties (met benaming) in het Zeescheldebekken weer. In totaal handelt het om 38 tijmeters en 6 debietmeters (aan de randen van het tijgebied opgesteld). Van deze 44 meetlocaties staan er nu 34 in telemetrie, met online minuutwaarden, en vooral voor operationeel gebruik.



Figuur 2 - Zeescheldebekken: algemeen liggingsplan met aanduiding van de tijmeetposten (en debietmeetposten aan de rand van het tijgebied)

Op navolgende twee bladzijden zijn de meetposten in tabellen hernomen. Per locatie is ook weergegeven of er enkel getij ("Tij") wordt gemeten, of ook andere parameters zoals debiet ("Q") en zgde fysische parameters (zoals temperatuur ("T°"), chloridegehalte ("Cl-"), stroomsnelheid ("v"), turbiditeit ("Turb")).

a) Zeeschelde en Tijarm-Ringvaart

Tabel 1 - lijst van de langs de Zeeschelde opgestelde continue meetposten (inclusief aan de Ringvaart om Gent) en met opgave van de per locatie gemeten parameters

Rivier	Benaming meetlocatie	Meetparameters
Beneden-Zeeschelde	Prosperpolder	Tij + T° + Cl-
Beneden-Zeeschelde	Zandvlietsluis	Tij
Beneden-Zeeschelde	Boei 84	T° + Cl- + v + Turb
Beneden-Zeeschelde	Liefkenshoek	Tij + T° + Cl-
Beneden-Zeeschelde	Boudewijnsdijk	Tij
Beneden-Zeeschelde	Kallosluis	Tij + T° + Cl-
Beneden-Zeeschelde	Oosterweel	Tij + T° + Cl- + v + Turb
Beneden-Zeeschelde	Antwerpen-Loodsgebouw	Tij
Boven-Zeeschelde	Hemiksem	Tij + T° + Cl-
Boven-Zeeschelde	Schelle	Tij
Boven-Zeeschelde	Temse	Tij
Boven-Zeeschelde	Driegoten	Tij
Boven-Zeeschelde	Sint-Amands	Tij
Boven-Zeeschelde	Dendermonde	Tij
Boven-Zeeschelde	Schoonaarde	Tij
Boven-Zeeschelde	Uitbergen	Tij
Boven-Zeeschelde	Wetteren	Tij
Boven-Zeeschelde	Melle	Tij + Q
Boven-Zeeschelde	Gentbrugge	Tij
Tijarm-Ringvaart Zuidervak	Merelbeke	Tij
Tijarm-Ringvaart Zwijnaarde	Zwijnaarde	Tij

Noot: In vetjes zijn de meetlocaties aangeduid welke in dit rapport nader aan bod komen.

b) Rupel, Nete's, Dijle, Zenne, Durme en Dender

Tabel 2 - lijst van de langs de overige tijriviervieren opgestelde continue meetposten (inclusief aan de Dender te Appels) en met opgave van de per locatie gemeten parameters

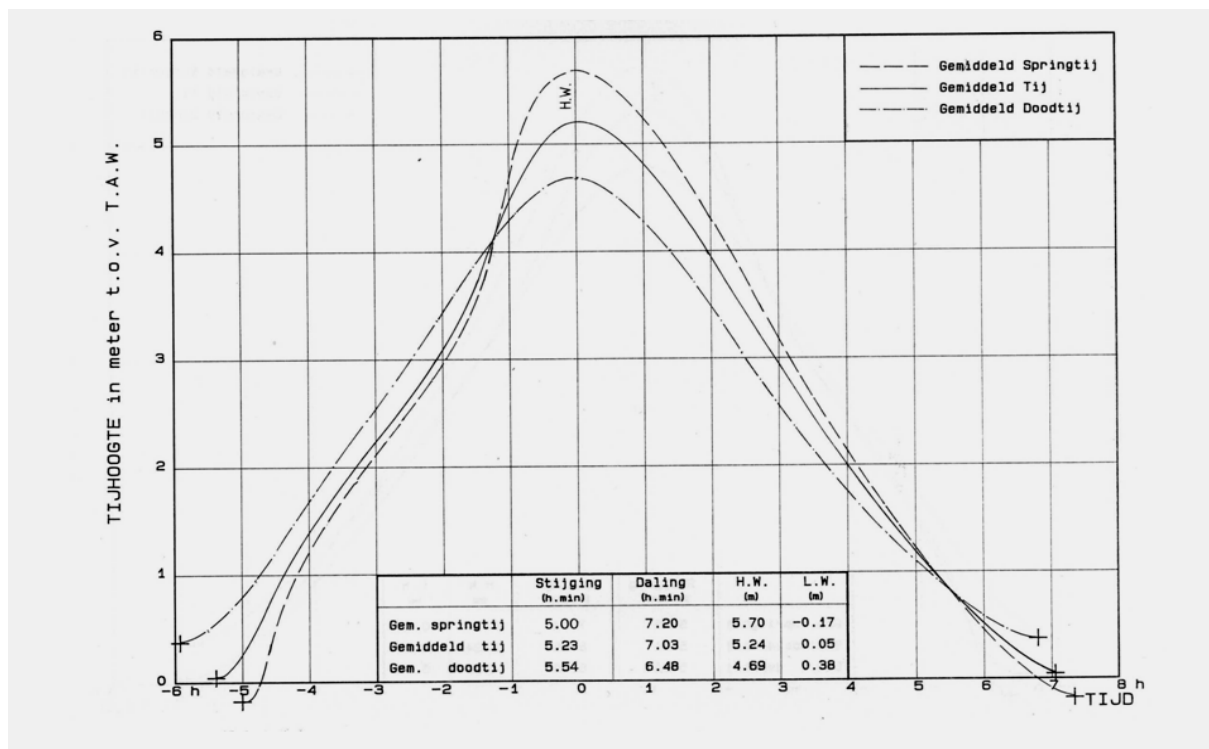
Rivier	Benaming meetlocatie	Meetparameters
Rupel	Boom	Tij
Rupel	Walem	Tij
Beneden-Nete	Duffelsluis	Tij
Beneden-Nete	Lier-Molbrug	Tij
Kleine Nete	Emblem	Tij
Kleine Nete	Grobbendonk-Derde Sas	Q
Grote Nete	Lier-Maasfort	Tij
Grote Nete	Kessel	Tij
Grote Nete	Itegem	Q
Beneden-Dijle	Mechelen-Benedensluis	Tij
Boven-Dijle	Mechelen-stuw afwaarts	Tij
Boven-Dijle	Mechelen-stuw opwaarts	Tij
Boven-Dijle	Rijmenam	Tij
Boven-Dijle	Haacht	Q
Zenne	Hombeek	Tij
Zenne	Zemst	Tij
Durme	Tielrode	Tij
Durme	Waasmunsterbrug	Tij
Durme	Waasmunster-Manta	Tij
Durme	Zelee	Tij
Dender	Appels	Q en H

Gebruikte afkortingen van meetparameters

Tij	tijmeting
Q	debietmeting
H	waterstand (niet-getij)
T°	temperatuur
Cl-	chloridegehalte
v	stroomsnelheid en -richting
Turb	turbiditeit

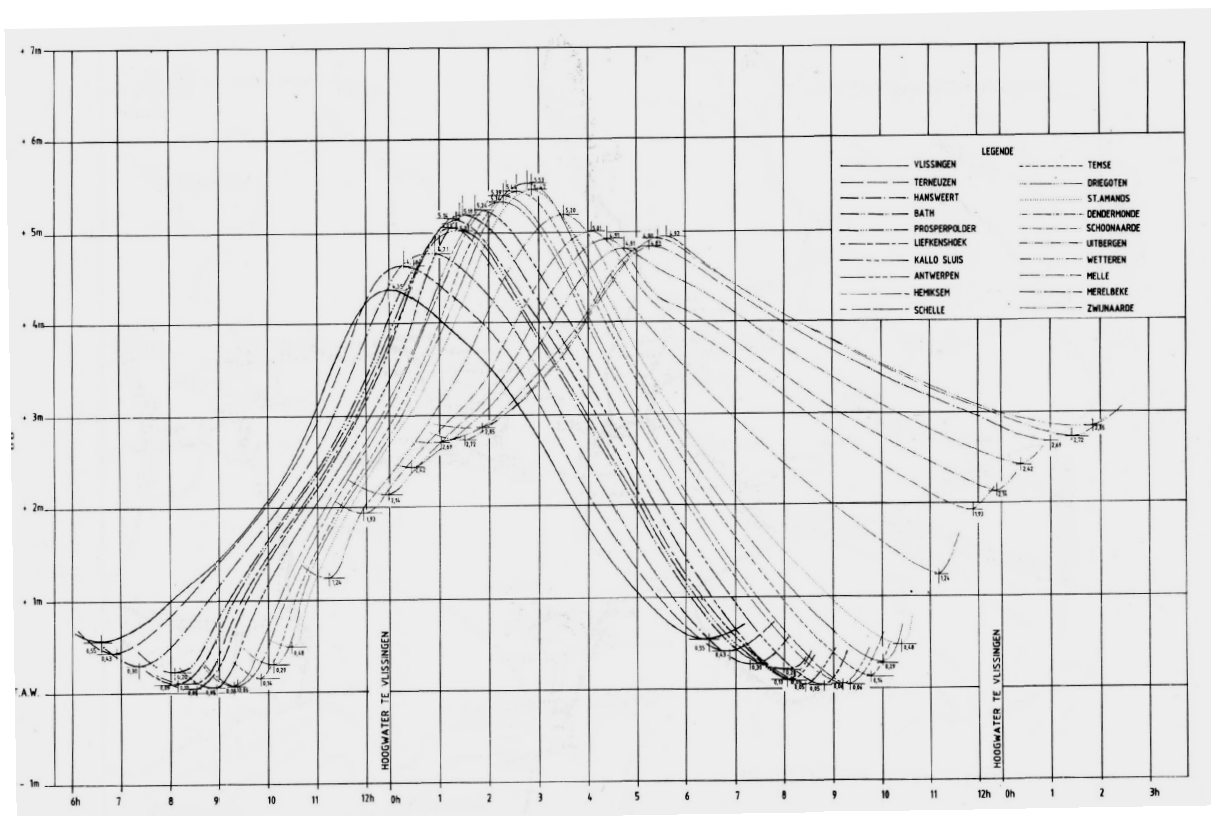
1.3 het (normale) optreden van het getij in het Zeescheldebekken

In volgende figuur wordt een gemiddelde tijkromme voor de locatie Antwerpen-Loodsgebouw getoond, nl. bij gemiddeld springtij, bij gemiddeld doottij, en bij hét gemiddelde van alle tijen zijnde het middeltij.



Figuur 3 - gemiddelde tijkrommen (springtij, middeltij en doottij) in de Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw

Volgende figuur toont het op eenzelfde tijd- en hoogte-achtergrond, uittekenen van de gemiddelde tijkrommen van (bijna) alle tijmeetposten langs de Westerschelde en de Zeeschelde (incl. de aan tij onderhevige Ringvaart). Qua tijd zijn alle tijkrommen met de vertraging (na-ijling) van de tijdstippen van hun hoog- en laagwaters uitgezet t.o.v. het tijdstip van hoogwater te Vlissingen. De tijkromme te Vlissingen is dan ook de meest linkse van alle (en in volle lijn getekend).



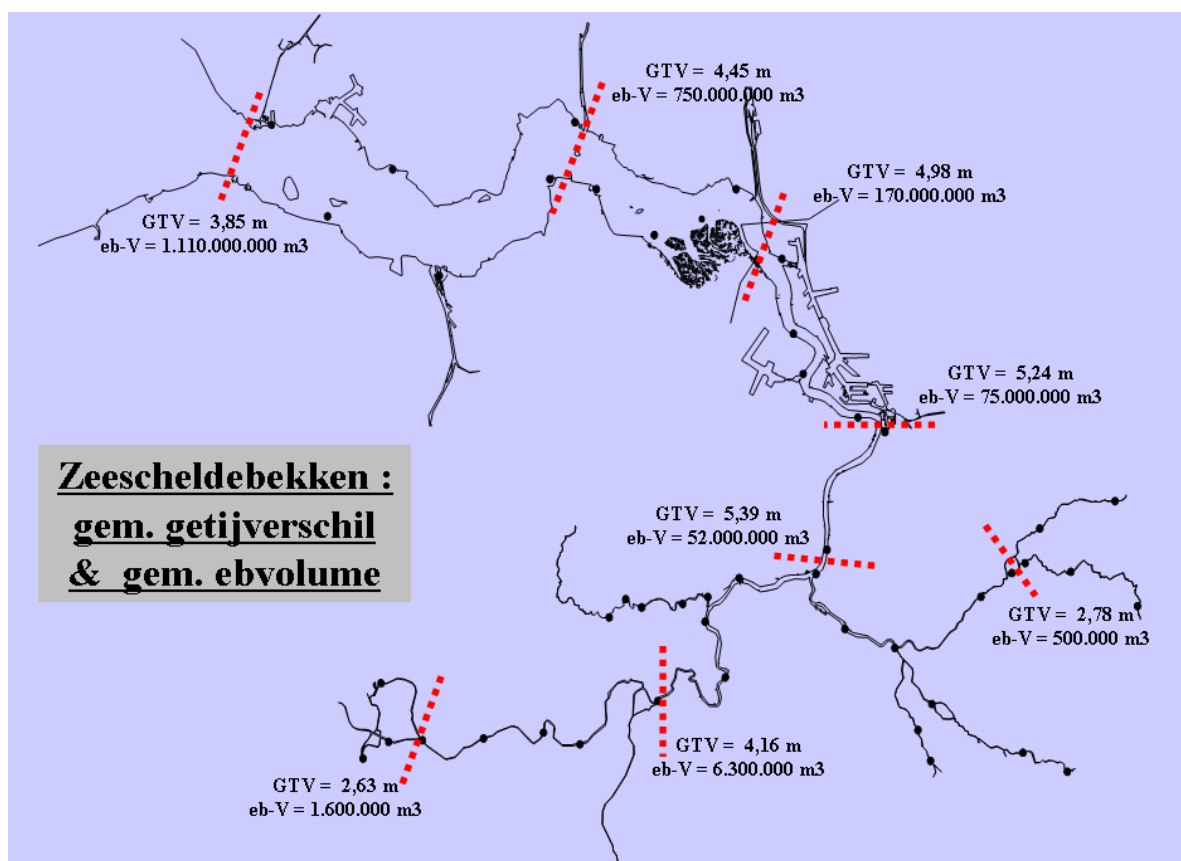
Figuur 4 - Zeescheldebekken: uittekening van de gemiddelde (middel-)tijden van (bijna) alle meetlocaties in Westerschelde en Zeescheldebekken. De tijkrommen zijn alle met hun vertraging t.o.v. het tijdstip van hoogwater te Vlissingen gezet

Duidelijk is af te lezen dat, in gemiddelde omstandigheden:

- de laagwaterstanden worden tussen Vlissingen en de Rupelmonding, lager, met ongeveer een halve meter. Opwaarts Schelle verhogen de laagwaterstanden van eenzelfde laagwatergolf (ook op de bijrivieren) in aanzienlijke mate, met uiteindelijk te Melle ongeveer 2,60 m hoger dan te Antwerpen.
- de hoogwaterstanden worden tussen Vlissingen en Sint-Amands beduidend hoger, met ongeveer 1,15 meter, dus meer dan het dubbele hoger dan dat de laagwaters naar Rupelmonding lager zijn dan aan zee. Na Sint-Amands verlagen de hoogwaterstanden van eenzelfde hoogwatergolf met ongeveer een halve meter lager te Melle dan te Sint-Amands.
- de tijverschillen volgen uit de gang van zaken van laag- en hoogwater: Zij vergroten van (gemiddeld) bijna 4 meter aan zee tot bijna 5,50 meter aan de Rupelmonding, doch verkleinen tot iets meer dan 2 meter te Melle.
- uit de figuur van de plaatselijke (gemiddelde) tijkrommen in Westerschelde en Zeescheldebekken, komt ook vrij duidelijk naar voor dat de duur van de daling van hoog- naar laagwater, vergroot naar opwaarts. Aan zee heerst nog een relatief symmetrisch getij, met een gemiddelde duur van de stijging van het waterpeil van ongeveer 6 uren, en van de daling van bijna 6:30 u. Hun som is de bekende halfdaagse tij-duur van 12u25min doch dat is niet constant: bij springtij is de halfdaagse (en daagse) tij korter dan bij doortij; de duurtijd van 12u25min is een gemiddelde over een volle springtij/doortij-periode. Te Antwerpen-Loodsgebouw duurt -gemiddeld- de stijging ongeveer 5u30min en de daling ongeveer 7u. Naar opwaarts toe groeit de asymmetrie van de tijkromme: te Melle duurt de gemiddelde stijging iets meer dan 4 uur, en de gemiddelde daling iets meer dan 8 uur, dus een verhouding van 1 op 2.

- het moet onderstreept worden dat de tijkrommen op figuur 4 gemiddelden zijn (tienjarige gemiddelden) met een keur aan variaties op het thema. In eerste plaats zullen de tijverschillen vergroten bij springtij (hogere hoogwaterstanden en lagere laagwaterstanden) en verkleinen bij doottij (lagere hoogwaterstanden en hogere laagwaterstanden dan bij gemiddeld middeltij). In tweede plaats verhogen de waterstanden, zo hoog- als laagwater, bij langdurige en hevige westen tot noordwestenwinden over de Noordzee, tot stormvloed toe. In periodes van aanhoudende beduidende oostenwinden verlagen de hoog- en laagwaterstanden, tot zéér lage laagwaterstanden toe. De in figuur 4 getoonde tijkrommen zijn dus meerjaarsgemiddelden !

Het spreekt voor zich dat het tij in het Zeescheldebekken grote verplaatsingen van tijwater genereert. De tijverschillen zijn in verhouding tot andere Europese inlandse tijrivieren groot zelfs zeer groot. Het ganse bereik van hoogwaterstanden, laagwaterstanden, dus ook tijverschillen, alsmede in duur van stijging en daling van het waterpeil op een locatie, resulteert in verhoudingsgewijs grote vloed- en eb-debiten en dus -volumes. Om daar enig -beperkt- idee van te geven zijn op figuur 5 voor enkele hoofdlocaties (Vlissingen, Terneuzen, Prosperpolder, Antwerpen-Loodsgebouw, Schelle, Dendermonde, Melle en Lier-Molbrug) in getallen het gemiddelde tijverschil (GTV) vermeld en daaronder het gemiddelde eb-volume (eb-V). Te bedenken is dat het om algemene gemiddelden handelt, en dat bij verhogingen of verlagingen van het tij vanuit zee, of bij droogte-periodes of wasregimes, zowel het tijverschil als de afvoer flink van deze gemiddelden verschillen.

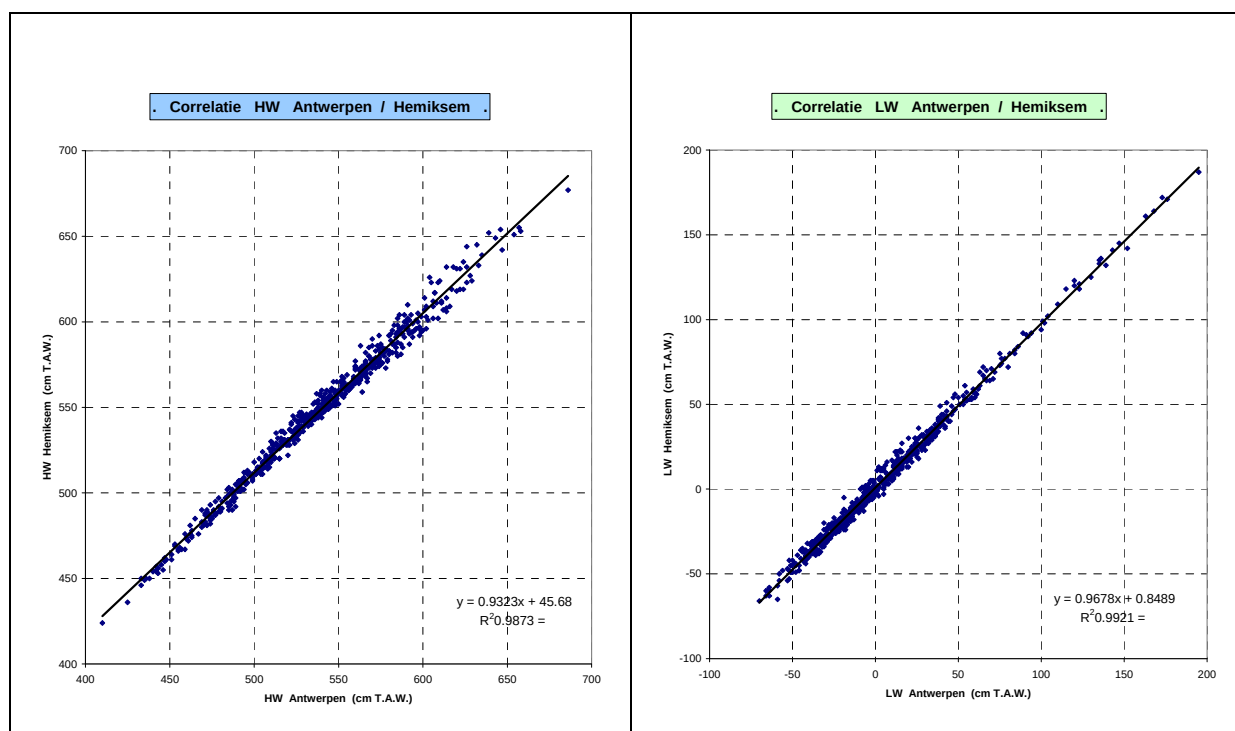


Figuur 5 - Zeescheldebekken: algemeen liggingplan met aanduiding van gemiddelde tijverschillen (GTV) (in m) en gemiddelde eb-volumes (in m³) op enkele kenmerkende locaties

Het tij in het Zeescheldebekken kent dus een grote variatie over de langsas én heeft een grote afhankelijkheid van het heersende getij in de Noordzee of de aanvoer van bovendebiet aan de rand van het tijbekken. Dat is duidelijk aan te tonen door tabellen of figuren van bvb. tijkrommen, bovendebieten, tijverschillen, eb-volumes enz.

In het Zeescheldebekken zijn -zelfs al van bij aanvang der systematische continue metingen in 1885- vele meetposten voor tijmeting geplaatst (zie figuur 2 en de daaropvolgende tabellen 1 en 2 over de meetlocaties). Dit leidt tot de -gelukkige- omstandigheid dat bij uitval van de registratie, op papier of digitaal, op de naburige meetposten kan beroep worden gedaan om de ontbrekende tijen toch te bepalen. Dit kan zeer nauwkeurig, zeker bij tijen die weinig of niet door bovendebieten worden beïnvloed, al kan ook dan nog goed ontbrekende data geïnterpoleerd worden door bijsturing met opgemeten data voor en na de onderbreking.

In het afwaartse gebied zijn de correlaties van hoogwater en laagwater tussen geburige meetposten zeer nauw, zie als voorbeeld figuur 6 m.n. de correlaties van hoog- en laagwater tussen Antwerpen-Loodsgebouw en Hemiksem over een gans kalenderjaar. Tussen beide meetposten (tussenafstand 11,5 km) geldt een normaal verband van de tij-kenmerkende waarden, bvb. hoog- en laagwaterstanden (maar ook -tijdstippen en tijverschillen), verband bepaalt door de tijrivier zelf (bedding, weerstand, ...) doch niet beïnvloed door was-regimes.



Figuur 6 - correlaties van hoogwater (links) en laagwater (rechts) over een kalenderjaar tussen de geburige meetposten Antwerpen-Loodsgebouw en Hemiksem

De spreiding rond de correlatielijn blijft voor de laagwaterstanden vrij goed, van zeer lage tot zeer hoge laagwaterstanden. Dit is minder het geval voor de hoogwaterstanden, waar duidelijk is dat zeker bij de zeer hoge hoogwaterstanden en stormvloed, een grotere spreiding rond de correlatielijn bestaat dan bij lage en gemiddelde hoogwaterstanden.

Bij stormvloeden hangen de opeenvolgende hoogwaterstanden van Westerschelde via Beneden-Zeeschelde naar Melle en de andere (aan tij onderhevige) bijrivieren, inderdaad minder nauw aan elkaar dan bij lage en gemiddelde hoogwaterstanden, hetgeen het maken van prognoses van hoogwaterstanden bij stormvloeden voor bvb. de locatie Antwerpen-stad, niet vergemakkelijkt, zelfs niet enkele uren voor het hoogwater aldaar, laat staan 24 uren vooraf, bvb. als moet beslist worden of de waterkeerpoorten in de Antwerpse waterkering worden gesloten.

Naar opwaarts komt in dit verband van het optreden van het tij tussen naburige meetposten de rol van de bovendebieten sterk naar voor. De correlaties van hoogwater en laagwater tussen naburige meetposten is bij weinig tot gemiddelde bovendebieten, ook nog zeer goed, doch bij aantreden van grote bovendebieten en uiteraard tijdens was-regimes gaan de hoog- en laagwaterstanden minder aan elkaar gecorreleerd zijn.

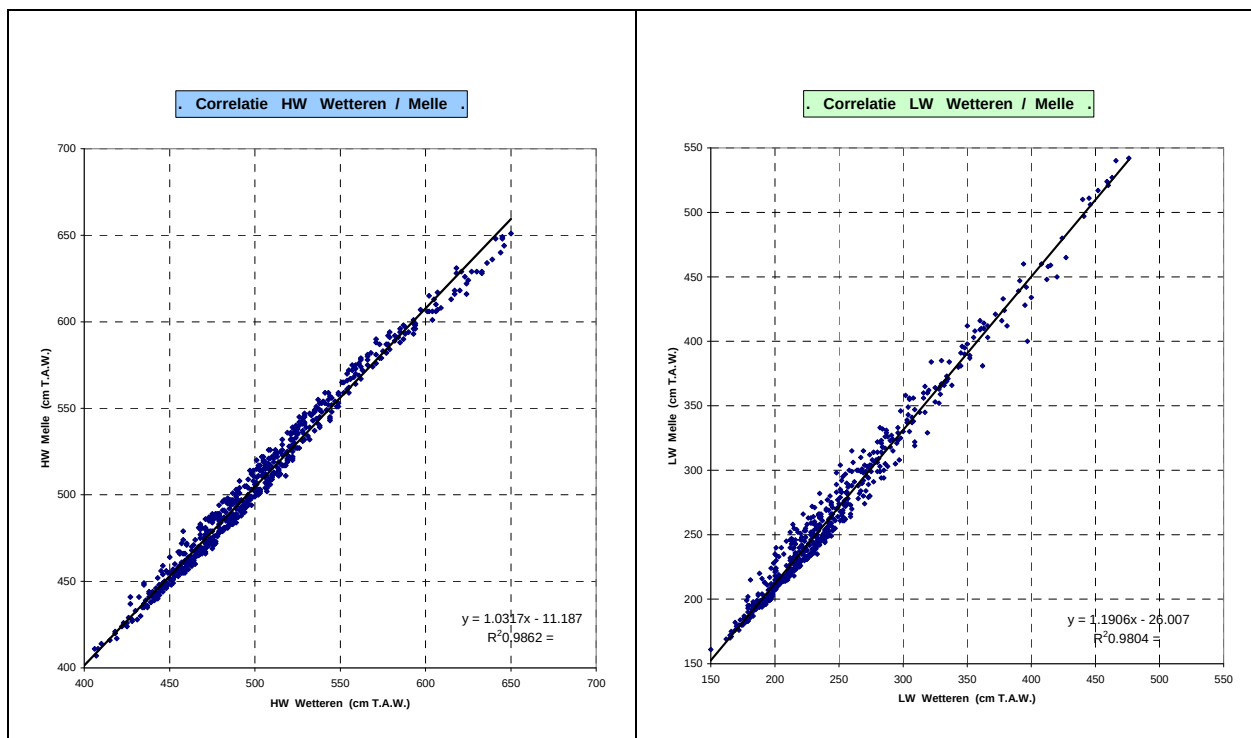
Zowel hoog- als laagwaterstanden zullen verhogen, doch in een mate die verandert al naargelang de duurtijd van het was-regime en uiteraard de grootte van de aanhoudend grote bovendebieten. Dit maakt aan de correlaties een bijkomende waaier van koppels van normaal aan elkaar zeer nauw verwante hoog- en laagwaterstanden, een waaier dat duidelijk naast de normale correlatielijnt ligt en waarvan de breedte beduidend is.

In het "midden-gebied" van de Zeeschelde is deze waaier relatief groot, omdat de bedding-hoogte in dat vak sterk varieert, van "maritiem" aan afwaartse kant tot "fluviatiel" opwaarts. Opwaarts van dat vak is de variatie in langszin van beddinghoogte, en overigens ook van rivierbreedte dus van natte sectie, veel kleiner. De invloed op de laagwaterstanden is dan ook vrij groot: tussen Sint-Amands en Dendermonde verhogen de laagwaterstanden relatief sterk. Het geheel maakt dat de correlaties van hoog- en laagwater tussen de nochtans geburige meetposten Sint-Amands en Dendermonde (tussenafstand 13 km), dat die correlaties zeker voor laagwater iets minder mooi zijn hoewel uiteraard nog sterk aanwezig. Buiten de beide laagwaterstanden zelf zou hier als derde correlerende parameter de grootte van het bovendebiet kunnen gelden.

Nog meer naar opwaarts verbeteren die correlaties opnieuw, doordat de bedding tussen Dendermonde en Melle relatief minder verandert dan tussen Sint-Amands en Dendermonde. Er is invloed van het bovendebiet (van de Dender te Appels en van de Bovenschelde, Leie en Gentse kanalen o.m. de Ringvaart, met meetlocatie te Melle) maar de verbanden tussen de hoog- en laagwaterstanden blijven ook bij was-regime nauw. Figuur 7 toont de correlatie van (links) hoogwaters en (rechts) laagwaters tussen de geburige meetposten Wetteren en Melle.

Bij dat alles moet bedacht worden dat indien hoog- of laagwaterstanden in hoogte wat zouden "afwijken" van de gemiddelde trendlijn, dat zulks steeds zo gebeurt dat een verhoging van HW of LW op één meetpost gepaard gaat met eveneens een verhoging van HW of LW op de geburige meetpost, en dan nog in eenzelfde orde van grootte. Idem bij verlagingen. Het ondersteunt de grote waarde van dergelijke correlaties.

Mede door deze goede correlaties, ook tijdens was-regimes, kon tot twintig jaar terug (dus voor het in dienst komen van de debietmeter te Melle) een meerdaags-gemiddelde bovendebiet "vanuit het Gentse" bepaald worden als door het was-regime de waterstanden buiten het ijk-bereik van de stuwen te Gentbrugge, Merelbeke of Zwijnaarde gingen, of als de stuwen geheel werden geheven. Uit het laagwater te Wetteren kon een bovendebiet "vanuit het Gentse", nu vervangen door "het bovendebiet te Melle", ook tijdens periodes van flink was-regime redelijk goed bepaald worden.



Figuur 7 - correlaties van hoogwater (links) en laagwater (rechts) over een kalenderjaar tussen de geburige meetposten Wettersen en Melle

Ook voor de aan tij onderhevige bijrivieren geldt eenzelfde redenering: van alle tijmeetposten bestaan correlaties tussen geburige meetlocaties, telkens -doch apart- over alle hoog- en over alle laagwaters van een gans jaar, dus alle seizoenen bijeen, en net in een jaar waarin ook enkele periodes van flinke bovendebieten zijn voorgekomen. Kortom: een gans gamma van hoog- en laagwaterstanden.

Hoe dan ook, de correlaties van hoog- en laagwaterstanden tussen telkens geburige tijmeetposten in het Zeescheldebekken, laten vrij nauwkeurig toe om ontbrekende hoog- en laagwaters toch te kunnen bepalen.

De methode bestaat er in om uit de correlaties van hoog- en laagwaters van een post waar meetgegevens van ontbreken, die hoog- en laagwaters te interpoleren uit deze van de afwaartse én de opwaartse gebuur, dus om twee maal dergelijke correlaties te gebruiken.

*In dit rapport is van belang dat aldus voor alle meetposten die aan bod komen, bvb. de maand-overzichten van hoog- en laagwaters per locatie en per maand in de CD-rom in bijlage, dat door interpolatie àlle ontbrekende hoog- en laagwaterstanden (in hoogte) zijn opgevuld geworden, m.n. dat het bij alle in dit rapport beschouwde tijmeetposten, **om volledige meetreeksen handelt**.*

1.4 Getijwaarnemingen 2009 te Antwerpen-Loodsgebouw

1.4.1 globaal overzicht getijwaarnemingen 2009 te Antwerpen-Loodsgebouw

Vanuit belang voor de aangrenzende stad, vanuit standpunt van vestiging van de met het Zeescheldebekken betrokken diensten (van "Openbare Werken" en "Maritieme Zaken"), als baken in het aspect bevaarbaarheid en zeehaven, en gezien sterke historische redenen, was en is de meetlocatie aan de Rede van Antwerpen dé (in die zin enige) basispost in het ganse Zeescheldebekken. Dat was het al voor het tijdperk van systematische en continue metingen van het getij, en dat is het sinds het in voege treden van die metingen (1885) onafgebroken gebleven. De meetpost aan (vroeger de Sint-Michielskaai, later aan de Kattendijkzeesluis, en nu al meer dan driekwart eeuw) het Loodsgebouw te Antwerpen, was en is nog steeds de enige basispost ten aanzien van het aanmerken van stormvloed in het Zeescheldebekken. Zelfs bij wasregimes (langdurige afvoeren van zeer grote bovendebieten aan de randen van het tijgebied) wordt ook steeds het getij te Antwerpen-Loodsgebouw als basisgetij (zonder "was"-invloed) beschouwd. Dat alles maakt dat terecht -zo historisch, bestuurlijk als fysisch- het getij te Antwerpen-Loodsgebouw al meer dan honderdtwintig jaar de toetssteen van het getij in het Zeescheldebekken is.

- Met:
- een **gemiddeld hoogwater over het jaar op peil T.A.W. (+5,28m),**
 - een **jaargemiddeld laagwaterpeil T.A.W. (+0,01m),**
 - dus een **getijverschil van 5,27 meter,**

en met slechts één stormvloed (nl. op peil +6,87m) zonder een buitengewone stormvloed te zijn, **klasseert het getij in het jaar 2009 zich in wezen als zeer rustig binnen de context van de tijen van de voorbije decennia.**

Ook naar frequentieverdeling van optreden van alle hoogwaterstanden, alle laagwaterstanden en meteen ook van alle getijverschillen, klasseert het getij 2009 zich als normaal en zeer rustig.

De navolgende tabel geeft een overzicht van de hoofdkenmerkende tijwaarden voor de tijpost Antwerpen-Loodsgebouw in 2009. De gebruikte termen en afkortingen spreken voor zich.

Uiteraard gaat het hier om jaargemiddelden van (om de gedachten te vestigen) alle 705 hoogwaterstanden en alle 706 laagwaterstanden dus àlle tijen in 2009 opgetreden, tenminste voor de berekeningen van het "middeltij", en voor 24 hoog- en 25 laagwaterstanden voor springtij resp. doottij. Voor de uiterste hoog- en laagwaterstanden zijn vanzelfsprekend ook alle tijen beschouwd, doch handelt het om telkens slechts één enkel tij in het ganse jaar, en dat juist omwille van uitzonderlijke meteorologische omstandigheden zoals flinke opwaaiing door stormachtige noordwestenwinden over de Noordzee of door afwaaiing door aanhoudende continentale oostenwinden is veroorzaakt, dus een tij dat danig van "het gemiddelde" kan afwijken ...

Tabel 3 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw:
hoofdkenmerkende waarden van het tij over het jaar 2009

Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw : hoofdkenmerkende waarden van het getij in 2009		
middeltij	GHW	5.28
	GLW	0.01
	GTV	5.27
springtij	GHW	5.75
	GLW	-0.27
	GTV	6.02
doodtij	GHW	4.70
	GLW	0.36
	GTV	4.34
uiterste waarden	HHW	6.87
	LHW	3.77
	HLW	1.67
	LLW	-0.80

(waterstanden in meter TAW, tijverschillen in meter)

Ter herinnering:

- *middeltij is hét gemiddeld getij over een langdurige periode, in bovenstaande tabel over het kalenderjaar 2009. Bij het aangeven van algemene tijgegevens worden meestal tienjarige periodes gehanteerd, en dan nog per decennium, zoals nu steeds 1991-2000.*

- *een halfdaags getij duurt -gemiddeld- 12u25min, en een daags getij 24u50min. Dit zijn gemiddelden, over ten minste een doottij/springtij-periode genomen. Want in de springtij-periode (enkele dagen rond en om hét hoogwater van springtij) is de dagelijkse verschuiving van bvb. hoogwater niet de gemiddelde waarde van 50 minuten doch korter, soms maar de helft. Omgekeerd is dat in de doottij-periode langer dan het gemiddelde, dikwijls anderhalf uur tot uitzonderlijk meer dan twee uur. In een kalenderjaar van 365 dagen zijn er dus 704 à 706 hoogwatergolven, en idem laagwatergolven. In een schrikkeljaar zijn er 706 à 708 hoog- en laagwatergolven.*

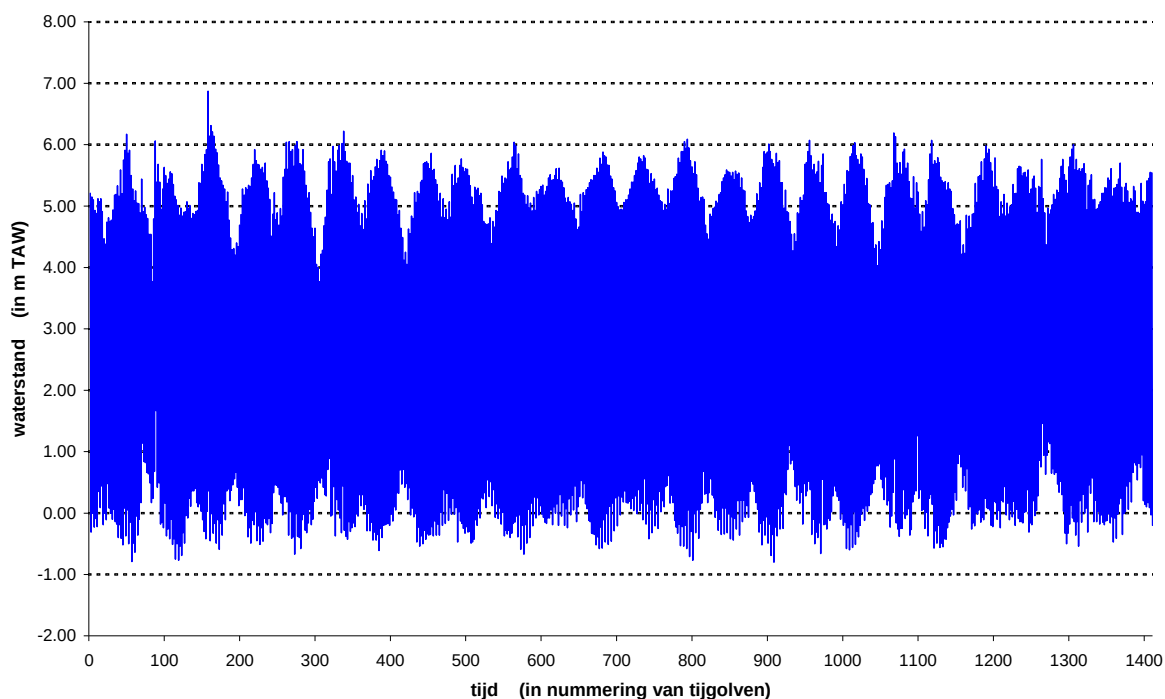
- springtij en doortij zijn karakteristieke tijen doorheen een springtij/doortij-cyclus. Bij springtijden zijn de tijverschillen het grootst, en bij doortijden het kleinst. Reeds vele decennia werden in België en omliggende landen definities bepaald die aangeven welk tij springtij resp. doortij is. Deze definities beginnen stevast bij het hoogwater: met de hoogwatergolf van springtij in het Zeescheldebekken wordt dat hoogwater te Antwerpen-Loodsgebouw bedoeld dat als eerste hoogwater onmiddellijk volgt op de vijfde maandoorgang te Ukkel van nieuwe en volle maan. "Ukkel" is daarbij de sterrenkundige basislocatie voor België en waarvan de meridiaan ongeveer met deze door Antwerpen overeenkomt. Het daaropvolgende laagwater wordt beschouwd als het laagwaterspring. Hoog- en laagwater bij doortij worden op dezelfde wijze bepaald doch dan vanaf het tijdstip van eerste en laatste kwartierstand van de maan.

- dat maakt dat er per kalendermaand twee (uitzonderlijk drie) springtijden en twee (uitzonderlijk drie) doortijden zijn. Per kalenderjaar zijn er dus normaliter een 25-tal springtijden en idem doortijden (maar het aantal kan variëren van 24 tot 27 o.a. meer bij schrikkeljaren).

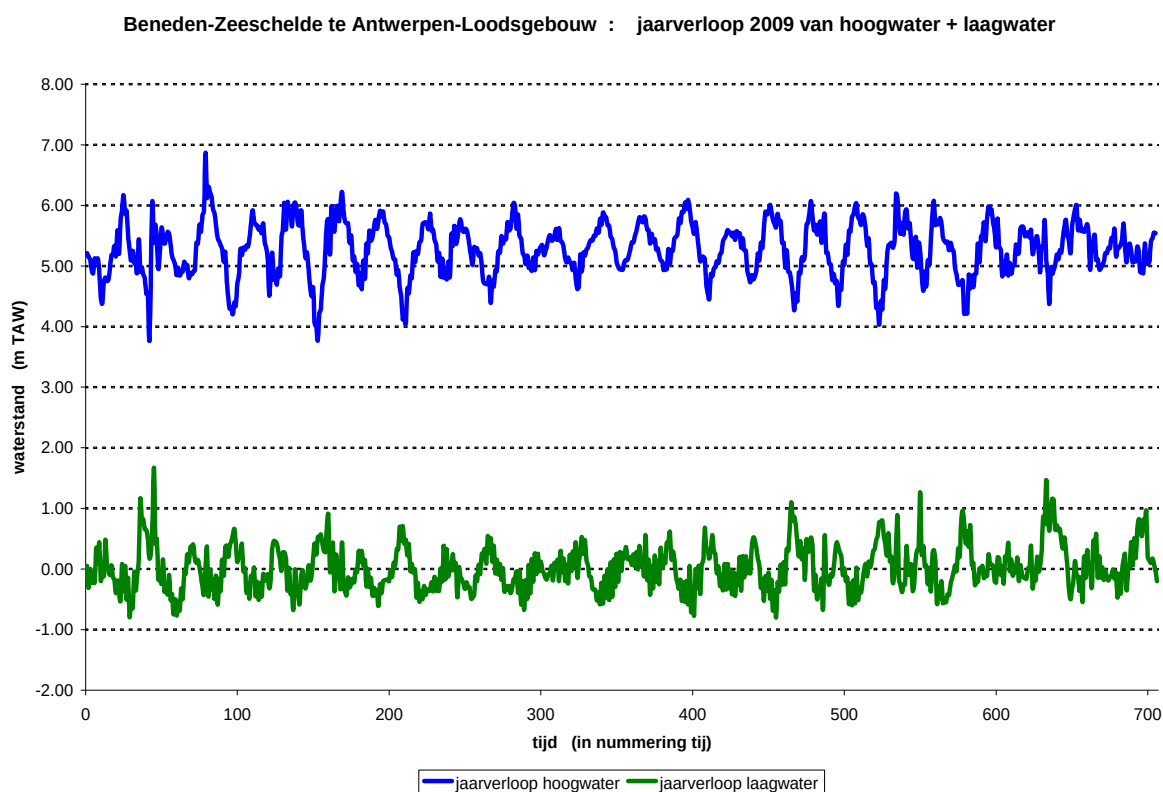
Een tabelmatige voorstelling van gemiddelde en uiterste kenmerkende waarden van het getij op een locatie en gedurende een kalenderjaar, toont de hoofdwaarden maar toont geen jaarverloop. De hiernavolgende drie figuren geven dat wel aan.

De wijze waarop kan verschillen: figuur 8 toont het op- en neergaande verloop van het getij te Antwerpen-Loodsgebouw over het ganse jaar; de blauwe kleur bakent een zone af in dewelke de hoogte van het tijwater zich heeft afgespeeld. Het toont duidelijk de ongeveer veertien/vijftiendaagse periodes van spring- en doortij, met hogere hoogwaterstanden en lagere laagwaterstanden in de springtij-periodes, en omgekeerd lagere hoogwaterstanden en hogere laagwaterstanden in de doortij-periodes. Het toont m.a.w. duidelijk de springtij/doortij-variatie in het tijverschil.

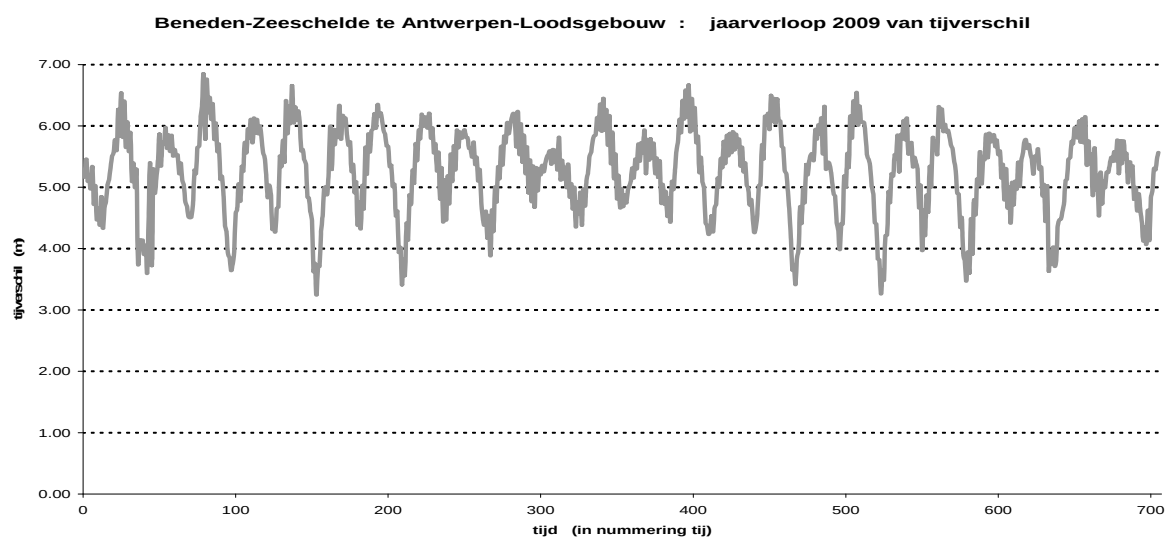
Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw : getijverloop gans jaar 2009



Figuur 8 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2009



Figuur 9 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2009 door aanduiding van de afzonderlijke verlopen van hoogwater en laagwater



Figuur 10 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: jaarverloop van het tij gedurende het jaar 2009 door aanduiding van enkel het verloop van tijverschil

Eenzelfde beeld kan benaderd worden door de op vorige bladzijde getoonde verlopen van hoogwaters, laagwaters en tijverschillen, nl. deze als afzonderlijke lijnen in een grafiek te bundelen. Figuur 9 toont deze verlopen voor hoogwaters (in blauwe lijn) en laagwaters (in groene lijn). De zeer hoge en zeer lage hoog- en laagwaterstanden komen hier duidelijk naar voor. Figuur 10 geeft het jaarverloop van het tijverschil weer.

Waar in al deze figuren duidelijk een springtij/doodtij-variatie te zien is, moet benadrukt worden dat deze toch in beduidende mate kan afwijken van het astronomisch verloop, nl. sterk kan beïnvloed worden door meteorologische omstandigheden, vooral opwaaiing en afwaaiing in het afwaartse deel van het tijbekken, en in het opwaartse deel sterk beïnvloed door de variatie van kleine, gemiddelde, grote en zeer grote bovendebieten uit de opwaarts het tijbekken gelegen hydrografische gebieden. Voor elk spelen ook hun respectievelijke duurtijden een belangrijke rol.

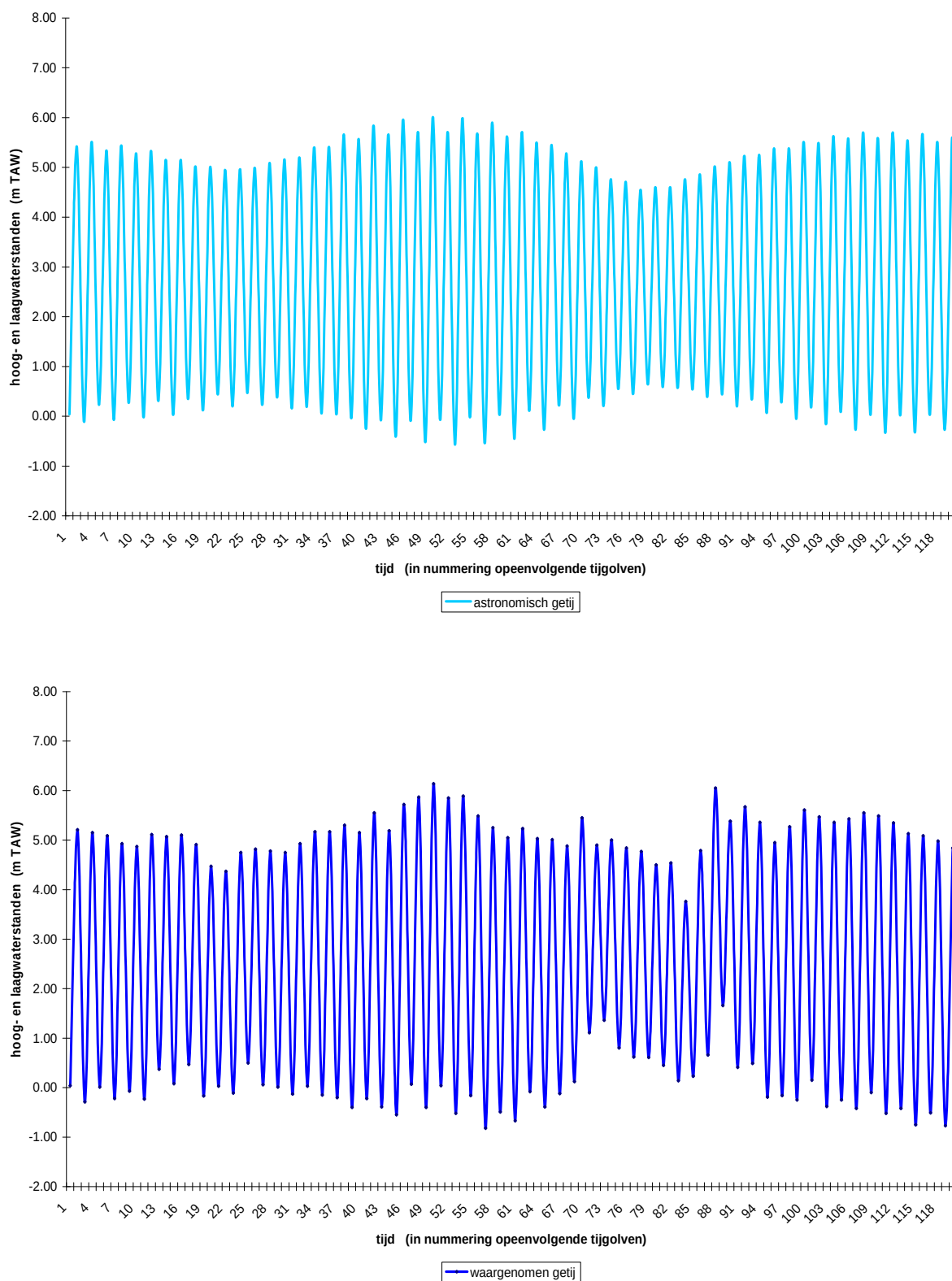
Hoe ook: de slechts kleine beïnvloeding van de tijstanden te Antwerpen-Loodsgebouw door de grootte van de bovendebieten, komt -indien het geval- hoofdzakelijk voor in de wintermaanden (bij "onze" overzichten van tijwaarnemingen klassiekerwijze uitgebreid tot de periode van 1 november tot einde april). De grote meteorologische invloeden van langdurige en sterke westen- à noordwestenwinden over de Noordzee, of van afwaaiing door flinke langdurige continentale oostenwinden, situeren zich voornamelijk ook in diezelfde "winter"-periode. Het is dus vanzelfsprekend dat de jaarverlopen van hoogwater, laagwater en tijverschil meer van een mooi springtij/doodtij-beeld afwijken in die "winter"-periode. Figuur 9 gaf duidelijk de veel kleinere variatie te zien van de verlopen van hoog- en laagwater in de "zomer"-periode (te verstaan als periode van 1 mei tot einde oktober). Ook in de grafiek van figuur 10, over het jaarverloop van tijverschillen, is dat duidelijk te zien.

Daar waar het flink hoger zijn van hoogwaterstanden t.o.v. dagen ervoor en dagen nadien, over dagen lang kan gaan, vooral in de winterperiode, duren de verhogingen en verlagingen van laagwaterstanden korter: hun periodes zijn duidelijker afgebakend, en hun duurtijd beperkt zich meestal tot enkele tijen, zie fig. 9.

Om nog eens duidelijk de meteorologische invloeden op het astronomische getij te laten zien, volgen drie grafieken, nl. twee op de navolgende bladzijde met (bovenste grafiek, in lichtblauwe lijn) de astronomisch voorspelde waarden van de opeenvolgende hoog- en laagwaterstanden te Antwerpen-Loodsgebouw voor de maand januari 2009, en met (onderste grafiek, in donkerblauwe lijn) de reël waargenomen waarden.

Op de bovenste grafiek is mooi het tijverloop in functie van de springtij/doodtij-cyclus te zien. Ook de dagelijkse ongelijkheid komt -uiteraard- mooi in beeld. Dat houdt in dat om en om de extrema van het tijverloop, er een dagelijkse schommeling is, veroorzaakt door het feit dat de draaiingsas van onze aarde niet loodrecht op de verbindinglijnen aarde-zon en aarde-maan staat, doch een hoek maakt van (gemiddeld) 66,5 graden. De ellipsoïde van de aan het tij onderhevige watermassa (bij idealisatie van overal een waterschil op aarde) richt zich naar de maan, zodat op eenzelfde locatie ergens op aarde gedurende een volledige omwenteling van de aarde (een etmaal) twee hoog- en twee laagwaters zullen bestaan, doch die -per etmaal bekeken- ongelijk van hoogte zijn. Dat verschil tussen twee hoogwaterstanden in eenzelfde etmaal, en idem tussen twee laagwaterstanden in eenzelfde etmaal, wordt de dagelijkse ongelijkheid genoemd.

onderstaande grafieken gaan over de maand januari 2009

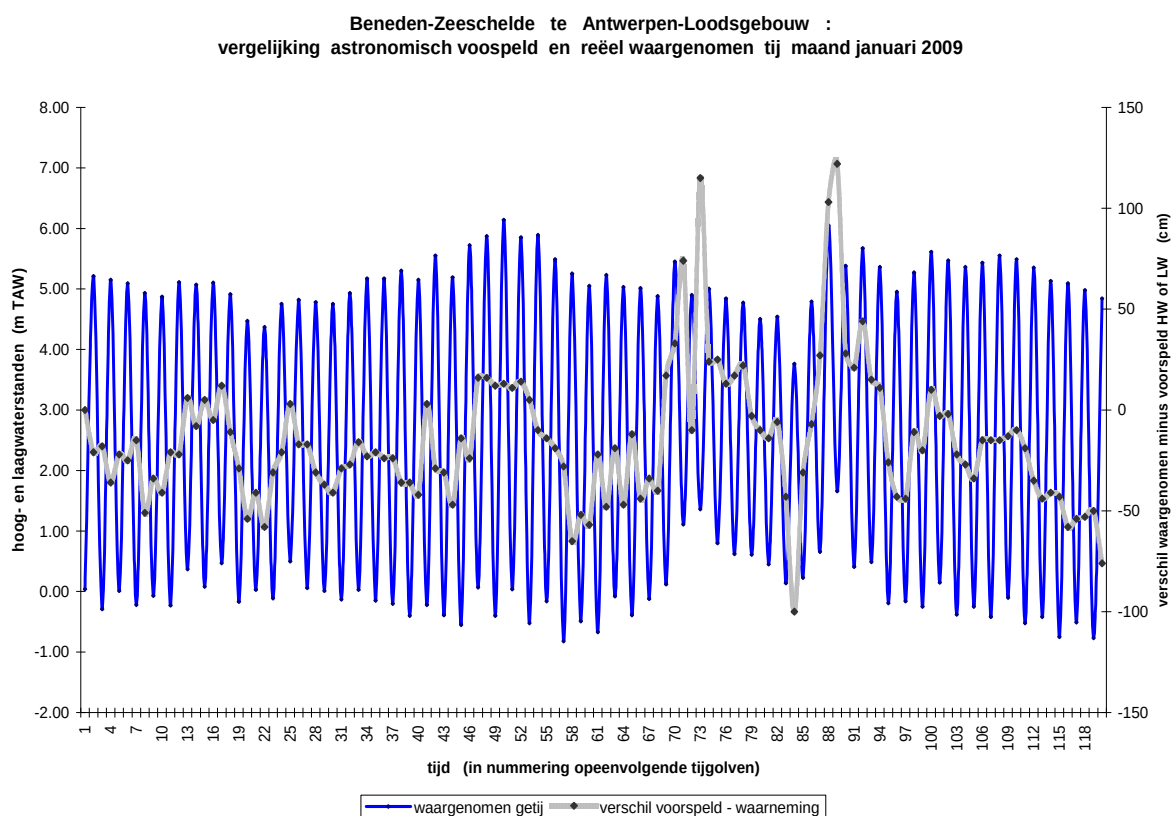


Figuur 11 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: maandverloop van (bovenaan) het astronomisch voorspelde tij en (onderaan) het waargenomen tij gedurende de maand januari 2009

Bij de hoogwaterstanden is er *-in Westerschelde en Zeescheldebekken, want elders ter wereld kan dat flink verschillen tot niet optreden-* enkel een beduidende dagelijkse ongelijkheid rond en om de springtijden, die kan oplopen tot een dertigtal centimeter, doch indien het geval, gewoonlijk 20 à 25 cm bedraagt.

Bij de laagwaterstanden is er bijna altijd een dagelijkse ongelijkheid, al kan die bij doortijden enkele dagen zeer klein zijn. Bij springtijden daarentegen is de dagelijkse ongelijkheid groot te noemen, gemakkelijk 30 cm en oplopend tot zelfs een zestigtal centimeter. De dagelijkse ongelijkheid is hier dus bijna altijd bij de opeenvolgende laagwatergolven aanwezig, en is bij springtijden ruim het dubbele van de dagelijkse ongelijkheid bij hoogwaters, waar dat fenomeen enkel bij springtijden bestaat.

Maar het huidige verhaal gaat over de invloed van meteorologische omstandigheden, vnl. windvelden over Noordzee of vanuit continentaal Midden-Europa, want op het getij in het echt maritieme deel van het Scheldebekken, zegge Westerschelde en Zeeschelde afwaarts Sint-Amands.



Figuur 12 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: maandverloop van het waargenomen getij en van het verschil tussen astronomisch voorspeld en waargenomen extrema (HW's & LW's)

Figuur 12 toont dat gewoon door sterke opwaaiing door flinke westen- en noordwestenwinden de hoogwaterstanden fel kunnen verhogen, hetgeen in de beschouwde maandperiode januari 2009 met weinig dergelijke windvelden maar enkele malen beduidend is gebeurd, vooral bij laagwater en met grote verschillen: van 74 cm, 115 cm en 122 cm, op zich geen uitzonderlijke waarden, doch wel alle drie bij laagwater. Bij hoogwater was er maar één grote opwaaiing, nl. met 103 cm. Gezien overwegend oostelijke winden (koudegolf, vorstperiode ...) waren er gedurende die maand ook vele verlagingen van zowel hoog- als laagwater, gaande tot 1 meter, net bij een doottij-hoogwater. Verschillende keren verlaagden hoog- en laagwaterstanden met veertig/vijftig/zestig centimeter zelfs tot juist 1 meter t.o.v. de astronomische voorspellingen.

Te bedenken is dat astronomische voorspellingen steunen op een honderdtal harmonische componenten (als een uiteenraffing van uurlijkse waterstanden in een reeks van iets meer dan honderd cosinusidale golven) gebaseerd op tijwaarnemingen van een gans kalenderjaar, dus waarbij grote meteorologische invloeden zeer beperkt worden want het jaargemiddelde windveld over Zuidelijke Noordzee, Westerschelde en Zeescheldebekken komt op niet meer dan 3 à 4 Bft, resp. te land en over zee, wind waarbij geen grote invloeden op het tij veroorzaakt worden te meer daar het dan -gemiddeld- om zuidwestelijke winden gaat.

Zoals bekend, kunnen langdurige en stormachtige windvelden over de Noordzee het tij in Westerschelde en Zeescheldebekken tot stormvloed verhogen. De hoogste tot heden waargenomen stormvloed-hoogte te Antwerpen-Loodsgebouw dateert van 1 februari 1953 a.m. met een peil T.A.W. (+ 7.77 m). Het astronomisch voorspelde hoogwater was toen T.A.W. (+ 4.98 m) zodat de "schuine" opzet 2.79 meter bedroeg. "Schuin" wil in dit geval zeggen het gewone hoogteverschil tussen waargenomen en voorspeld hoogwater, op een verschillend tijdstip opgetreden resp. voorspeld (het zou al flink zijn mocht elk hoogwater zich exact voordoen op het moment zoals astronomisch voorspeld; en gewoonlijk vervroegen de hoogwaters zich bij een stormvloed, althans in het Zeescheldebekken). Er bestaat ook het begrip "verticale opzet" hetgeen het ogenblikkelijke verschil is tussen de heersende waterstand en deze volgens astronomische voorspelling, en kan bepaald worden over het ganse getij, los van laag- of hoogwaters.

Gemiddeld zijn de verhogingen van het astronomisch hoogwater bij de meeste stormvloeden, te Antwerpen-Loodsgebouw 1.40 à 1.80 meter. Er zijn stormvloeden opgetreden met kleinere en grotere opzetten, doch 1.40 à 1.80 m is een frequent opgetreden (schuine) opzet.

De opwaaiingen in de betrokken maand januari 2009 (zie figuur 12) zijn dus geenszins uitzonderlijk. Maar het verhaal over het verloop van enerzijds astronomisch tij en anderzijds reëel tij helpt om een duidelijker en veelzijdiger inzicht in het tijverloop 2009 in de Beneden-Zeeschelde te geven.

Er blijken nut en nood aan iets meer uitleg over spring- en doottijen. Het lijkt velen verbazingwekkend dat het toch zo klokvast kan zijn dat -veelal- springtijden alleen maar hun hoogwater te Antwerpen-Loodsgebouw hebben ofwel 's ochtends zeer vroeg, ofwel in de namiddag à vooravond. Minder bekend is dat doottijen hun hoogwater te Antwerpen-Loodsgebouw hebben in de late avond tot middernacht, en in de voormiddag à middag.

De beide grafieken op navolgende bladzijde, tonen het typische verloop van een gemiddeld springtij resp. gemiddeld doottij. In doorgaande lijn zijn beide tijverlopen over een etmaal (24u00min) getekend. Op die beide figuren is tevens (zie rechterschaal) het waterstandsverschil per minuut aangegeven, m.n. de lichtblauwe verticale hoogtestreepjes.

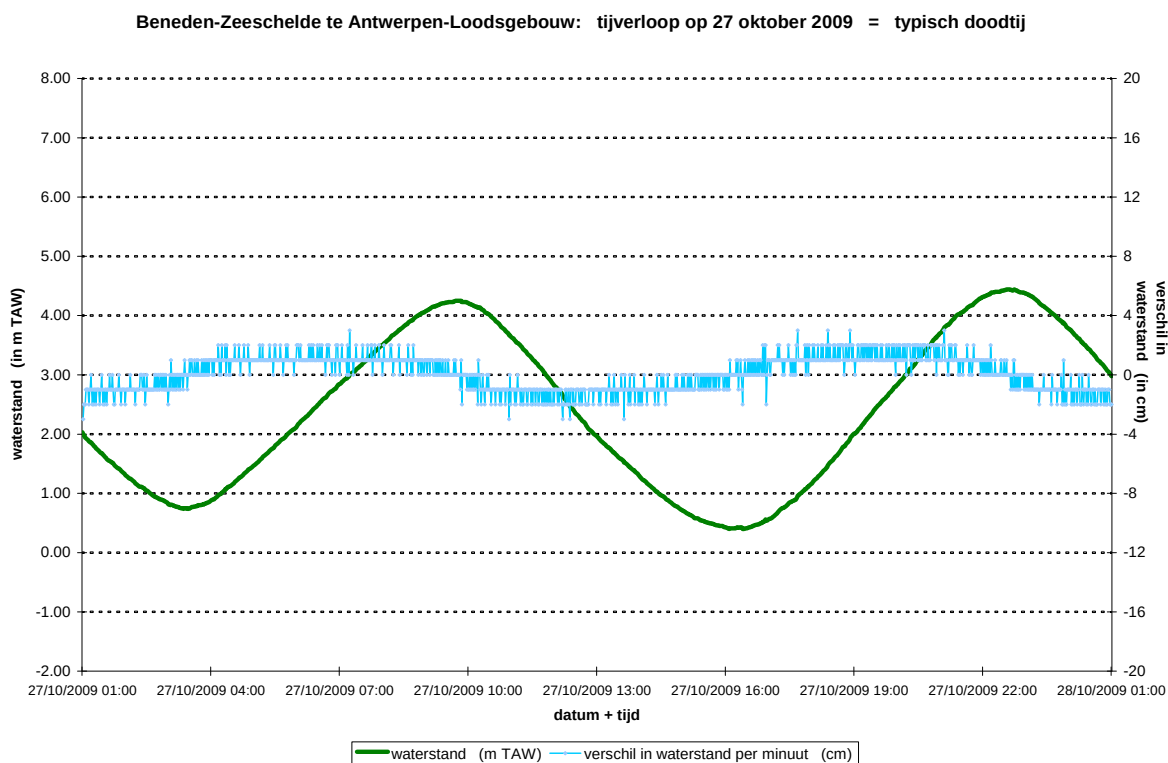
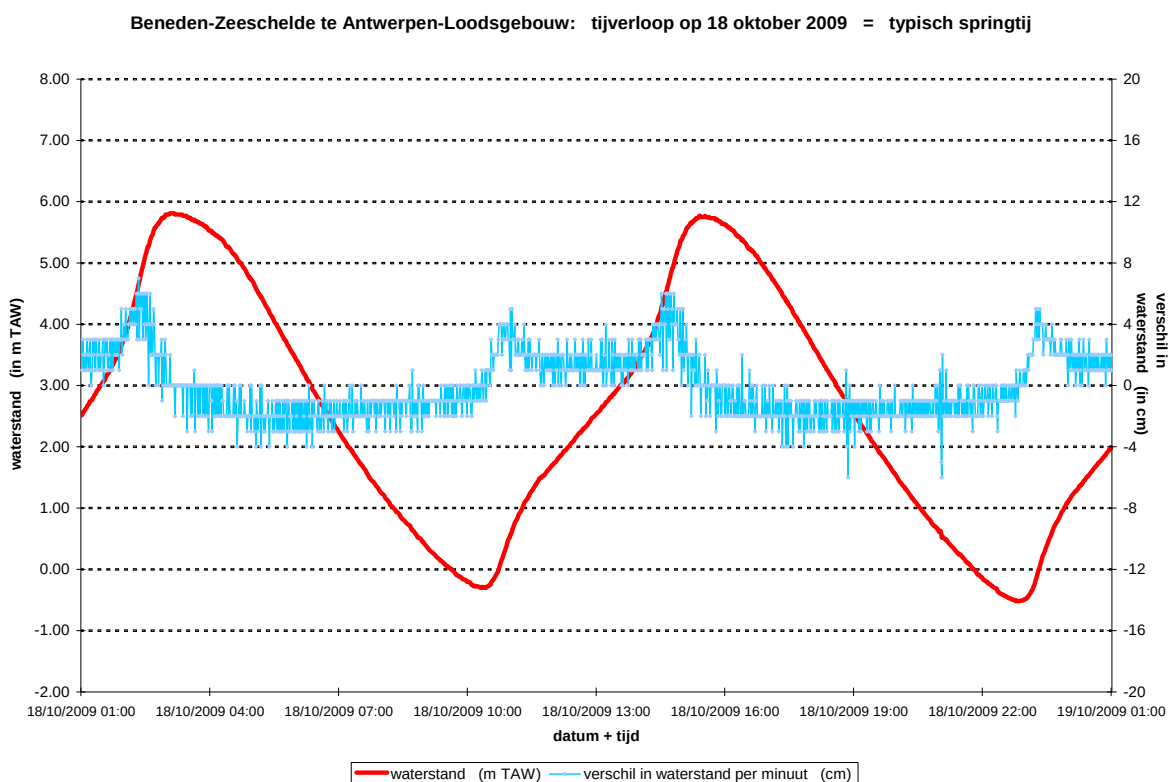
Verschillende zaken vallen op, en zijn inderdaad zeer typisch voor springtijden:

- op navolgend voorbeeld is het hoogwater om (afgerond) 3 h en 15:30 h (M.E.T.) wat eerder vroeg is; normaliter treden ze te Antwerpen-Loodsgebouw iets later op;
- de daling van het getij (HW naar LW) verloopt met een vrij gelijke hoogtevermindering per tijdseenheid, het lijkt in de grafiek enkele uren lang bijna een rechte lijn. Per minuut handelt het om een daling van "slechts" één à twee centimeter per minuut, waarop enkele "uitschieters" van nul à vier centimeter, zeer uitzonderlijk nog iets meer;
- de stijging van het tij is evenwel niet met constante stijgsnelheid. Bij inzetten van vloed, iets na kentering van laagwater, is er een grotere stijging van het water per tijdseenheid dan uren nadien; bij "maximum vloed" (een term dat slaat op het alsdan veel sneller stromen van de vloed) komen ook grote stijgingen per minuut voor: vier à zes centimeter per minuut, weliswaar af en toe enkele kleinere waarden.
- bij stormvloed zijn de stijgsnelheden per tijdseenheid uiteraard nog groter, zeker als het voorafgaande laagwater niet zo sterk verhoogd is t.o.v. het astronomische getij als het komende stormhoogwater wél hoger is dan voorspeld. Want zoals kan begrepen worden, hangt de stijgsnelheid per tijdseenheid in wezen vnl. af van het tijverschil.

Op eenzelfde manier kan gevolgd worden dat zeer typische kenmerken van doottijden op volgende bladzijde (onderste grafiek) kunnen afgelezen worden:

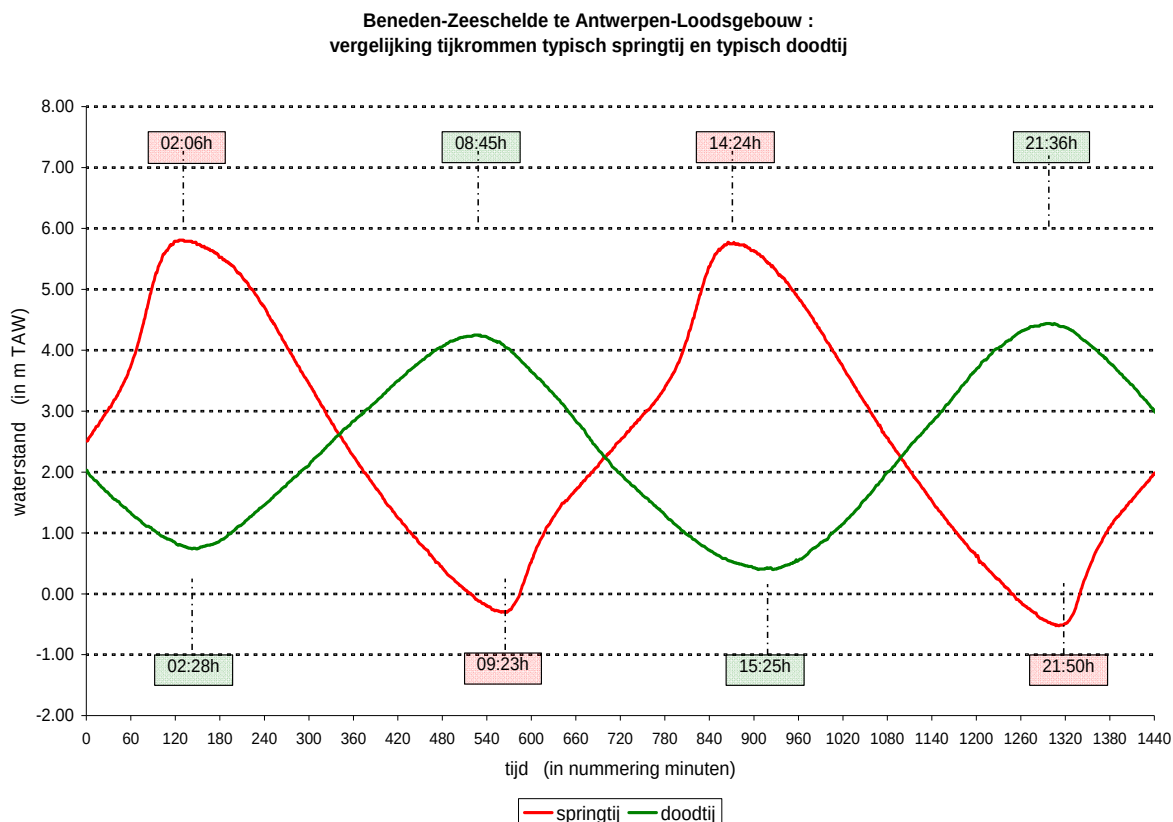
- op het voorbeeld is het hoogwater om (afgerond) 10 h en 22:30 h (M.E.T.) wat eerder vroeg is; normaliter treden ze te Antwerpen-Loodsgebouw later op;
- zowel de stijging als de daling van het getij verlopen met een vrij gelijke hoogtevermindering per tijdseenheid, het lijkt in de grafiek urenlang bijna een rechte lijn; enkel rond en om hoog- en laagwater is er -uiteraard- kromming in het verloop. Per minuut handelt het om een stijging en een daling van "slechts" één à twee centimeter per minuut, waarop slechts enkele "uitschieters" van drie centimeter;
- het voor een springtij typisch flink inzetten van de vloed dus stijging van de waterstand per tijdseenheid, en het flink stijgen bij maximum-vloed, zijn bij doottij niet aanwezig.

Bij stormvloed zijn de hoogwaters op zich dikwijls langgerekt, zegge gedurende minuten tot een half uur op vrijwel eenzelfde hoogtepeil met een enkele uitschieter (bvb. één of twee minuten één à vijf centimeter hoger dan omringend), of: geschiedt de eerste daling van de waterstanden zeer traag. De daling van de waterstand kan dan nadien wel gedurende beperkte tijd groter zijn dan bij het getoonde voorbeeld van typisch springtij.



figuur 13 - typisch verloop van een springtij en een doottij te Antwerpen-Loodsgebouw met aangeven van het ogenblikkelijk hoogteverschil (bij rijzing en daling) per minuut

De navolgende figuur geeft beide tijverlopen op éénzelfde grafiek. De verschillen in tijverschil, in tijdstippen van hoog- en laagwater, de stijg- en daalsnelheden per tijdseenheid (nl. het al dan niet en in welke mate gekromd zijn van de tijverlopen, of een vrij rechtlijnig verloop gedurende uren van bvb. daling bij springtij en daling én rijzing bij doottij) vallen op.

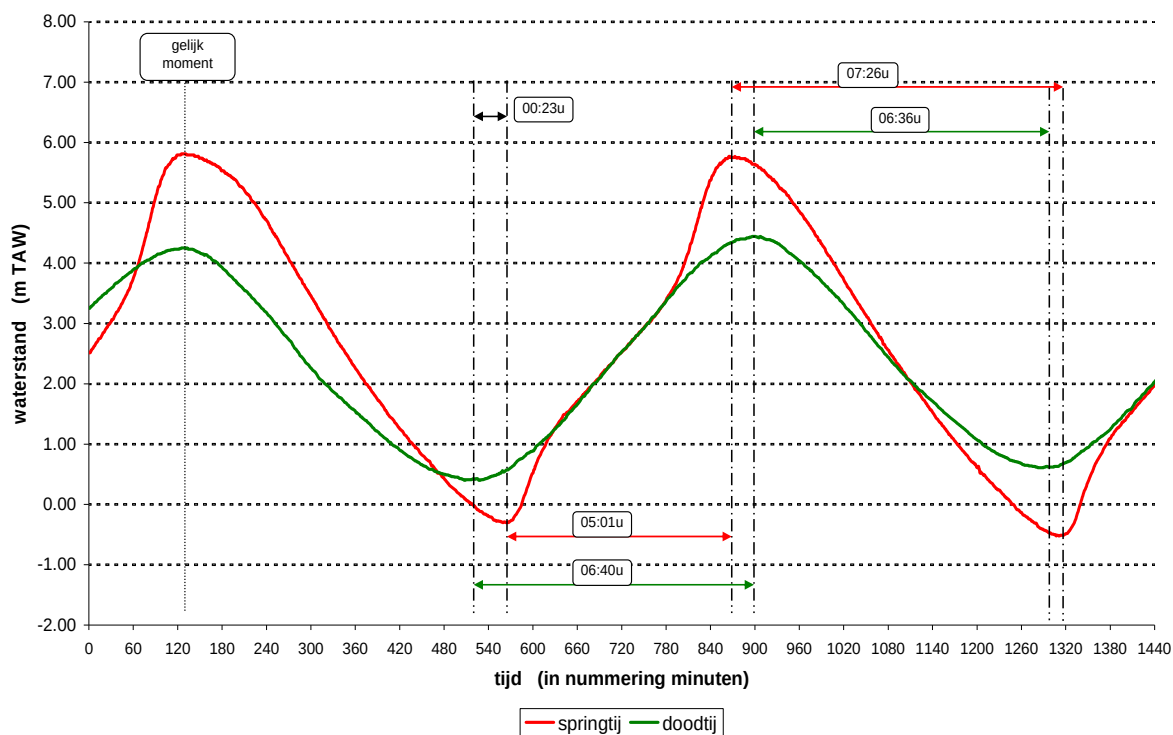


figuur 14 - typisch verloop van springtij en doottij te Antwerpen-Loodsgebouw

Nog een andere voorstelling om de typische verschillen tussen spring- en doottijen aan te geven, uit zich op volgende grafiek. Daar is het tijdstip van het eerste hoogwater bij doottij, in tijd verschoven naar het tijdstip van het eerste hoogwater bij springtij: beide hoogwaters op eenzelfde (zegge fictief) moment, om enkele karakteristieken duidelijk te stellen.

De daling bij springtij duurt langer dan bij doottij, met een verschil dat op dit voorbeeld bijna een half uur is; de duur van de stijging is bij springtij evenwel kleiner dan bij doottij. De totale tijdsduur van een enkelvoudig getij (van bvb. HW over LW naar navolgend HW) is gemiddeld wel 12u25min, en een daags getij 24u50min. Maar: dit zijn gemiddelden, over ten minste een doottij/springtij-periode genomen. Want in de springtij-periode (enkele dagen rond en om hét hoogwater van springtij) is de dagelijkse verschuiving van bvb. hoogwater niet de gemiddelde waarde van 50 minuten doch korter, soms maar de helft. Omgekeerd is dat in de doottij-periode langer dan het gemiddelde, dikwijls anderhalf uur tot uitzonderlijk meer dan twee uur.

Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw :
vergelijking typisch springtij & typisch doottij



figuur 15 - typisch verloop van springtij en doottij te Antwerpen-Loodsgebouw
doch waarbij het eerstgetoonde hoogwater bij doottij in tijd verschoven is
naar het eerstgetoonde moment van hoogwater bij springtij

Karakteristiek is ook dat de duur van de stijging van de waterstand bij springtij veel kleiner is dan bij doottij (in dit voorbeeld toch een verschil van liefst 100 minuten !), en de duur van de daling bij springtij bijna een uur langer duurt dan bij doottij. Nogmaals: deze karakteristieken zijn algemeen geldig voor alle spring- en doottijden, doch handelen in bovenstaande figuur maar om één typisch voorbeeld.

1.4.2 getijwaarnemingen 2009 Antwerpen-Loodsgebouw in historisch perspectief

In volgende tabel worden de hoofdkenmerkende waarden van het getij in de Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw over het jaar 2009, vergeleken met de langjarige (m.n. tienjarige) gemiddelden en uiterste waarden sinds 1971.

Tabel 4 - hoofdkenmerkende waarden getij Antwerpen-Loodsgebouw in het jaar 2009 en in vergelijking met langjarige waarden sinds 1971

Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw : hoofdkenmerkende waarden van het getij in 2009 en in historisch perspectief						
		1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2008	2009
middeltij	GHW	5.15	5.24	5.29	5.31	5.28
	GLW	0.01	0.05	0.00	0.07	0.01
	GTV	5.14	5.19	5.29	5.25	5.27
springtij	GHW	5.55	5.70	5.72	5.75	5.75
	GLW	-0.20	-0.17	-0.23	-0.19	-0.27
	GTV	5.75	5.87	5.95	5.94	6.02
doodtij	GHW	4.64	4.69	4.77	4.74	4.70
	GLW	0.29	0.38	0.34	0.42	0.36
	GTV	4.35	4.31	4.43	4.32	4.34
uiterste waarden	HHW	7.31	7.52	7.53	7.06	6.87
	LHW	3.35	3.01	3.53	3.63	3.77
	HLW	2.38	2.67	2.21	3.05	1.67
	LLW	-1.20	-1.36	-1.20	-1.26	-0.80

(waterstanden in meter TAW, tijverschillen in meter)

Het handelt hier om waarden voor de locatie Antwerpen-Loodsgebouw, basispost voor het Zeescheldebekken. Maar gezien de zeer nauwe correlaties op hoog- en laagwater, zelfs op volledige tijkrommen, tussen de naburige tijmeetposten van Belgisch/Nederlandse grens à Rupelmonding, staat de algemene trend van die waarden te Antwerpen-Loodsgebouw meteen ook voor gans die regio.

In de Tienjarige Overzichten van Tij-waarnemingen in het Zeescheldebekken worden geijkte tabellen en grafieken gebruikt. Die voorstellingswijze en indeling wordt aldus ook in navolgende bladzijde gevolgd om de kenmerkende tij-waarden van Antwerpen-Loodsgebouw te tonen.

Hierna volgen zes tabellen over gemiddelde, uiterste en frequentie-waarden van kenmerkende hoogwaters, laagwaters en tijverschillen te Antwerpen-Loodsgebouw. De eerste drie figuren tonen deze volgens het klassieke stramien. De laatste drie tabellen zijn frequentieverdelingen, getabelleerd per decimeter T.A.W. voor HW's en LW's en per decimeter voor tijverschillen. Telkens zijn de tijwaarden over het jaar 2009 geplaatst naast de jaarlijkse van 2001 tot en met 2008, en de gemiddelde (of uiterste) over de periode 2001-2009.

Tabel 5 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: algemeen overzicht 2001-2009 van hoofdkenmerkende tijwaarden (HW's & LW's & tijverschillen)

Antwerpen-Loodsgebouw - overzicht hoofdkenmerken tijen 2001-2009												
	jaar	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2001-2009
gemiddeld tij	HW	5.40	5.37	5.30	5.29	5.23	5.24	5.33	5.31	5.28		5.31
	LW	0.08	0.05	0.04	0.08	0.06	0.05	0.11	0.07	0.01		0.06
	tijverschil	5.32	5.32	5.26	5.21	5.17	5.19	5.22	5.24	5.27		5.25
zomer- maanden (mei t/m okt.)	HW	5.39	5.33	5.29	5.30	5.22	5.26	5.32	5.33	5.28		5.30
	LW	0.07	0.03	0.02	0.04	0.05	0.05	0.08	0.01	0.00		0.04
	tijverschil	5.32	5.30	5.27	5.26	5.17	5.21	5.24	5.32	5.28		5.26
winter- maanden (nov. t/m april)	HW	5.40	5.42	5.30	5.27	5.24	5.22	5.33	5.28	5.28		5.30
	LW	0.10	0.08	0.06	0.11	0.08	0.05	0.14	0.12	0.03		0.09
	tijverschil	5.30	5.34	5.24	5.16	5.16	5.17	5.19	5.16	5.25		5.21
springtij	HW	5.80	5.84	5.72	5.76	5.70	5.67	5.74	5.73	5.75		5.75
	LW	-0.19	-0.17	-0.22	-0.13	-0.17	-0.18	-0.17	-0.26	-0.27		-0.20
	tijverschil	5.99	6.01	5.94	5.89	5.87	5.85	5.91	5.99	6.02		5.95
doodtij	HW	4.84	4.85	4.72	4.72	4.62	4.70	4.73	4.73	4.70		4.73
	LW	0.43	0.42	0.42	0.42	0.32	0.42	0.44	0.45	0.36		0.41
	tijverschil	4.41	4.43	4.30	4.30	4.30	4.28	4.29	4.28	4.34		4.32
uiterste standen	HHW	6.47	6.68	6.64	7.05	6.86	6.59	7.06	6.97	6.87		7.06
	LHW	4.25	3.83	3.78	3.63	3.81	3.95	4.06	3.80	3.77		3.63
	HLW	2.20	2.23	1.69	1.71	3.05	2.12	2.52	2.42	1.67		3.05
	LLW	-0.96	-0.91	-0.78	-0.79	-0.88	-0.82	-0.68	-1.26	-0.80		-1.26

Tabel 6 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw:
algemeen overzicht 2001-2009 van hoofdkenmerkende tijwaarden
(HW's & LW's in m TAW, tijverschillen in m, plus halftij & duurtijden stijging en daling van het getij in uu:mm)

Antwerpen-Loodsgebouw : overzicht kenmerkende tijwaarden periode 2001-2009 gemiddelde tijwaarden per jaar en over 2001-2009													
	GEMIDDELD TIJ												
	HOOGTE t.o.v. T.A.W.						Tij- verschil	Halftij- hoogte	TIJD				
	HOOGWATER			LAAGWATER					Duur van de				
	Jaartal	Jaar	Zomer	Winter	Jaar	Zomer			Winter	Stijging			Daling
	2001	5.40	5.39	5.40	0.08	0.07	0.10	5.32	2.74	5:28	6:57		
	2002	5.37	5.33	5.42	0.05	0.03	0.08	5.32	2.71	5:29	6:57		
	2003	5.30	5.29	5.30	0.04	0.02	0.06	5.26	2.67	5:32	6:53		
	2004	5.29	5.30	5.27	0.08	0.04	0.11	5.21	2.69	5:33	6:53		
	2005	5.23	5.22	5.24	0.06	0.05	0.08	5.17	2.65	5:34	6:51		
	2006	5.24	5.26	5.22	0.05	0.05	0.05	5.19	2.65	5:34	6:51		
	2007	5.33	5.32	5.33	0.11	0.08	0.14	5.22	2.72	5:35	6:51		
	2008	5.31	5.33	5.28	0.07	0.01	0.12	5.24	2.69	5:33	6:52		
	2009	5.28	5.28	5.28	0.01	0.00	0.03	5.27	2.65	5:31	6:55		
	2001-2009	5.31	5.30	5.30	0.06	0.04	0.09	5.25	2.69	5:32	6:53		
	SPRINGTIJ						DOODTIJ						
	HOOGTE		TIJD				HOOGTE		TIJD				
	t.o.v. T.A.W.		Duur van de				t.o.v. T.A.W.		Duur van de				
	Jaartal	H.W.	L.W.	Stijging	Daling			H.W.	L.W.	Stijging	Daling		
		2001	5.80	-0.19	5:04	7:16			4.84	0.43	6:00	6:39	
	2002	5.84	-0.17	5:06	7:15			4.85	0.42	5:59	6:43		
	2003	5.72	-0.22	5:08	7:11			4.72	0.42	6:10	6:37		
	2004	5.76	-0.13	5:12	7:08			4.72	0.42	6:06	6:37		
	2005	5.70	-0.17	5:12	7:10			4.62	0.32	6:03	6:40		
	2006	5.67	-0.18	5:12	7:06			4.70	0.42	6:10	6:39		
	2007	5.74	-0.17	5:10	7:09			4.73	0.44	6:08	6:36		
	2008	5.73	-0.26	5:13	7:12			4.73	0.45	6:11	6:37		
	2009	5.75	-0.27	5:07	7:14			4.70	0.36	6:01	6:39		
	2001-2009	5.75	-0.20	5:10	7:11			4.73	0.41	6:06	6:39		

Tabel 7 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw:
algemeen overzicht 2001-2009 van hoofdkenmerkende tijwaarden
(met name de uiterste hoog- en laagwaterstanden)

Antwerpen-Loodsgebouw : overzicht kenmerkende tijwaarden periode 2001-2009 met name de uiterste hoog- en laagwaterstanden per jaar en over 2001-2009								
Jaartal	UITERSTE WATERSTANDEN (T.A.W.)							
	HOOGWATER				LAAGWATER			
	Hoogste		Laagste		Hoogste		Laagste	
	Hoogte	Datum	Hoogte	Datum	Hoogte	Datum	Hoogte	Datum
2001	6.47	19 - sep	4.25	1 - jan	2.20	9 - nov	-0.96	11 - feb
2002	6.68	7 - nov	3.83	6 - apr	2.23	28 - okt	-0.91	9 - okt
2003	6.64	21 - dec	3.78	13 - mrt	1.69	7 - okt	-0.78	19 - feb
2004	7.05	8 - feb	3.63	1 - jan	1.71	1 - feb	-0.79	20 - feb
2005	6.86	13 - feb	3.81	19 - mrt	3.05	25 - nov	-0.88	12 - jan
2006	6.59	28 - feb	3.95	25 - feb	2.12	1 - nov	-0.82	14 - mrt
2007	7.06	9 - nov	4.06	14 - mrt	2.52	9 - nov	-0.68	4 - feb
2008	6.97	21 - mrt	3.80	9 - okt	2.42	1 - mrt	-1.26	13 - dec
2009	6.87	10 - feb	3.77	22 - jan	1.67	23 - jan	-0.80	24 - aug
2001-2009	7.06	nov-2007	3.63	jan-2004	3.05	nov-2005	-1.26	dec-2008

De drie navolgende tabellen zijn frequentie-tabellen over de periode 2001-2009, waarin zowel per jaar als over de negen betrokken jaren tezamen, per decimeter een verdeling is gemaakt van het aantal hoogwaters (tabel 8), laagwaters (tabel 9) en tijverschillen (tabel 10). Per jaar is telkens de klasse van de mediaan gekleurd (lichtblauw bij HW, lichtgroen bij LW, en lichtgrijs bij het tijverschil).

Het valt meteen op dat de totale spreiding van de laagwaterstanden over de periode 2001-2009 beduidend groter is dan deze van de hoogwaterstanden, nl. over 44 klassen dus over 4,40 meter verdeeld tegen 35 klassen dus over 3,50 meter. Maar dat geeft een wat vertekend beeld: 90% van alle hoogwaterstanden vallen toch in een groter bereik dan 90% van alle laagwaterstanden. M.a.w.: het gros van de hoogwaterstanden ligt in een iets groter bereik dan het gros van de laagwaterstanden, maar bij deze laatste zijn er enkele uitschieters zowel naar hoog als naar laag, die het totale bereik omgekeerd groter maken dan bij hoogwaters.

Tabel 8 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw:
frequentie-tabel hoogwaters 2001-2009 verdeeld per decimeter TAW

Frequentie van hoogwaters te Antwerpen-Loodsgebouw periode 2001-2009													
Aantal HOOGWATERS begrepen tussen de aangegeven hoogte en deze hoogte + 9 cm.													
T.A.W.	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	in vak	n >	%>
800											0	0	0.0
790											0	0	0.0
780											0	0	0.0
770											0	0	0.0
760											0	0	0.0
750											0	0	0.0
740											0	0	0.0
730											0	0	0.0
720											0	0	0.0
710											0	0	0.0
700				1			1				2	2	0.0
690								1			1	3	0.0
680					1				1		2	5	0.1
670					1		2				3	8	0.1
660		2	1	1	2		2				8	16	0.3
650		3	1		2	1	1	1			9	25	0.4
640	2	6	1	4	4	4	1	2			24	49	0.8
630	9	7	4	3	1	2	6	5	1		38	87	1.4
620	8	7	7	3	5	4	5	4	2		45	132	2.1
610	7	12	6	9	5	8	14	10	5		76	208	3.3
600	27	17	14	10	10	14	18	13	13		136	344	5.4
590	28	18	23	22	11	19	20	20	22		183	527	8.3
580	39	40	46	36	16	22	37	40	33		309	836	13.2
570	56	41	47	50	41	36	32	46	46		395	1231	19.4
560	70	65	55	56	33	48	61	58	56		502	1733	27.3
550	63	70	54	58	67	41	61	51	58		523	2256	35.5
540	76	82	59	65	60	57	71	66	57		593	2849	44.9
530	40	58	45	70	57	72	61	59	63		525	3374	53.1
520	60	60	58	44	70	62	61	68	64		547	3921	61.7
510	41	35	49	45	66	60	47	50	51		444	4365	68.7
500	36	42	40	46	49	51	39	49	53		405	4770	75.1
490	47	31	42	45	40	42	40	37	48		372	5142	81.0
480	32	27	45	33	40	38	30	32	45		322	5464	86.0
470	26	25	34	25	28	32	24	24	26		244	5708	89.9
460	15	21	28	22	38	34	21	20	20		219	5927	93.3
450	11	10	18	11	18	25	20	11	9		133	6060	95.4
440	5	7	14	15	8	8	7	12	7		83	6143	96.7
430	4	10	2	9	14	10	10	12	9		80	6223	98.0
420	3	6	6	5	10	9	8	6	9		62	6285	99.0
410		2	3	9	4	2	5	5	1		31	6316	99.4
400			1	3	2	3	1	3	4		17	6333	99.7
390			1	1	1	1		1			5	6338	99.8
380		1	1	2	1			1			6	6344	99.9
370			1	3					2		6	6350	100.0
360				1							1	6351	100.0
350											0	6351	100.0
340											0	6351	100.0
330											0	6351	100.0
320											0	6351	100.0
310											0	6351	100.0
300											0	6351	100.0
Aantal	705	705	706	707	705	705	706	707	705	0	6351	6351	6351
Niet gereg.											0		0.0%
Totaal	705	705	706	707	705	705	706	707	705	0	6351		

Tabel 9 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw:
frequentie-tabel laagwaters 2001-2009 verdeeld per decimeter TAW

Frequentie van laagwaters te Antwerpen-Loodsgebouw periode 2001-2009													
Aantal LAAGWATERS begrepen tussen de aangegeven hoogte en deze hoogte + 9 cm.													
T.A.W.	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	in vak	n >	%>
350											0	0	0.0
340											0	0	0.0
330											0	0	0.0
320											0	0	0.0
310											0	0	0.0
300					1						1	1	0.0
290											0	1	0.0
280											0	1	0.0
270											0	1	0.0
260											0	1	0.0
250							1				1	2	0.0
240								1			1	3	0.0
230											0	3	0.0
220	1	1									2	5	0.1
210						1	1	1			3	8	0.1
200							1				1	9	0.1
190		1									1	10	0.2
180					1						1	11	0.2
170	1	1		1	1	1		1			6	17	0.3
160			1	1	1		2		1		6	23	0.4
150	3	2			1	2		2			10	33	0.5
140		3	1		1	1		1	1		8	41	0.6
130	2		1	1	1	3	2				10	51	0.8
120	1		4	2	1	1	1	2	1		13	64	1.0
110	4	3	4	4	2	2	5	4	4		32	96	1.5
100	4	4	4	4	5	3	8	4			36	132	2.1
90	9	5	6	9	6	5	7	4	4		55	187	2.9
80	14	9	9	9	9	8	11	12	11		92	279	4.4
70	9	18	12	14	10	13	14	14	13		117	396	6.2
60	14	12	21	21	14	18	33	26	12		171	567	8.9
50	29	18	12	42	34	22	25	21	18		221	788	12.4
40	28	36	42	41	34	35	41	43	37		337	1125	17.7
30	46	33	38	43	54	52	57	41	48		412	1537	24.2
20	66	79	54	42	54	47	54	54	52		502	2039	32.1
10	93	63	67	54	68	79	66	65	59		614	2653	41.8
0	68	69	72	78	73	70	69	74	76		649	3302	52.0
-10	71	94	90	87	78	84	75	79	75		733	4035	63.5
-20	76	77	70	87	79	69	71	81	99		709	4744	74.7
-30	67	58	66	67	63	67	60	57	54		559	5303	83.5
-40	41	49	62	44	46	49	45	45	64		445	5748	90.5
-50	38	34	32	29	38	41	31	39	40		322	6070	95.6
-60	14	17	22	20	15	11	14	21	24		158	6228	98.0
-70	3	13	11	6	11	12	11	12	7		86	6314	99.4
-80	2	5	4	1	3	5			6		26	6340	99.8
-90	1				2	4					7	6347	99.9
-100	1	1						1			3	6350	100.0
-110								1			1	6351	100.0
-120											0	6351	100.0
-130								1			1	6352	100.0
-140											0	6352	100.0
-150											0	6352	100.0
Aantal	706	705	705	707	706	705	705	707	706	0	6352	6352	6352
Niet gereg.											0		0.0%
Totaal	706	705	705	707	706	705	705	707	706	0	6352		

Tabel 10 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw:
frequentie-tabel tijverschillen 2001-2009 verdeeld per decimeter

Frequentie van tijverschillen te Antwerpen-Loodsgebouw periode 2001-2009													
Aantal GETIJVERSCHILLEN begrepen tussen de aangegeven hoogte en deze hoogte + 9 cm.													
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	in vak	n >	%>
800											0	0	0.0
790											0	0	0.0
780											0	0	0.0
770											0	0	0.0
760											0	0	0.0
750											0	0	0.0
740											0	0	0.0
730											0	0	0.0
720											0	0	0.0
710											0	0	0.0
700	1	1			1						3	3	0.0
690		3		1							4	7	0.1
680	1		1		1		1		1		5	12	0.2
670	3	4	2			2	6		1		18	30	0.5
660	5	5	4		3	5	6	1	2		31	61	1.0
650	5	6	2	1	4	8	1	2	4		33	94	1.5
640	8	14	8	10	7	7	4	8	9		75	169	2.7
630	11	6	14	8	4	6	11	17	11		88	257	4.0
620	10	20	12	21	5	9	13	12	11		113	370	5.8
610	29	18	27	14	15	15	17	25	25		185	555	8.7
600	26	25	29	26	20	15	20	26	26		213	768	12.1
590	44	37	30	38	27	25	32	30	31		294	1062	16.7
580	44	43	38	41	31	38	32	39	41		347	1409	22.2
570	32	44	32	42	50	43	38	39	47		367	1776	28.0
560	51	36	56	34	44	44	46	42	36		389	2165	34.1
550	47	54	40	34	47	43	41	51	44		401	2566	40.4
540	31	50	35	40	45	40	54	39	47		381	2947	46.4
530	44	35	43	44	35	48	30	42	47		368	3315	52.2
520	35	32	23	31	44	41	43	41	39		329	3644	57.4
510	32	29	42	37	38	29	32	27	30		296	3940	62.0
500	28	19	34	35	35	31	34	34	37		287	4227	66.6
490	25	35	25	38	25	28	40	26	26		268	4495	70.8
480	31	27	33	21	23	37	20	26	22		240	4735	74.6
470	21	22	30	22	30	25	30	25	24		229	4964	78.2
460	35	34	27	30	23	26	26	21	27		249	5213	82.1
450	22	13	17	27	22	20	18	35	17		191	5404	85.1
440	20	18	14	21	20	23	20	16	20		172	5576	87.8
430	15	18	14	15	22	19	13	11	15		142	5718	90.0
420	14	14	18	12	15	13	9	14	11		120	5838	91.9
410	8	11	17	14	13	12	16	10	7		108	5946	93.6
400	8	13	9	12	11	10	10	8	5		86	6032	95.0
390	2	4	6	8	10	17	9	9	10		75	6107	96.2
380	6	3	4	2	3	8	12	5	9		52	6159	97.0
370	2	3	5	3	10	5	4	8	9		49	6208	97.8
360	4	3	5	9	6	5	6	8	7		53	6261	98.6
350	1	3	3	2	3	2	5	2	1		22	6283	98.9
340	1		4	8	5	2	2	2	4		28	6311	99.4
330	1	2			2	1	1	1			8	6319	99.5
320		1	1	2	1	2	2	1	2		12	6331	99.7
310				2	2	1					5	6336	99.8
300				1			2	1			4	6340	99.8
290	1		2	1	2			1			7	6347	100.0
280											0	6347	100.0
270											0	6347	100.0
260											0	6347	100.0
250	1										1	6348	100.0
240											0	6348	100.0
230								1			1	6349	100.0
220											0	6349	100.0
210					1						1	6350	100.0
200											0	6350	100.0
Aantal	705	705	706	707	705	705	706	706	705	0	6350	6350	6350
Niet gereg.											0		0.0%
Totaal	705	705	706	707	705	705	706	706	705	0	6350		

Het totale bereik waarover in de periode 2001-2009 de tijverschillen zijn gegaan, is groot, nl. over 50 klassen zegge over 5 meter. Vooral het drietal zeer kleine tijverschillen (van 2,10 m à 2,50 m) maken dat bereik zo groot. Het is kenschetsend voor de tijverschillen in het Zeescheldebekken dat rond en om de gemiddelden, de grotere tijverschillen meer bij het gemiddelde aanleunen, en dat de kleinere tijverschillen meer verspreid zijn, tot zeer kleine tijverschillen toe. De tabel 10 handelt wel over de gegevens te Antwerpen-Loodsgebouw, maar de trend geldt voor alle locaties, en voor bvb. de opwaartse vakken van het tijbekken kan dit ook makkelijk begrepen worden omdat bij grote boven-debieten en was-regimes, zowel hoog- als laagwaters sterk verhogen, de laagwaters nog (soms veel) meer dan de hoogwaters, tot hun tijverschil beduidend kleiner is dan normaal.

Zoals al hoger gesteld, was het tij over het jaar 2009 in de Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw, maar dus tevens over de Zeeschelde afwaarts Sint-Amands, en in de Rupel, een vrij rustig jaar in de context van de tijen van de voorbije decennia (zie tabel 4). De jaargemiddelden van hoogwater, laagwater en tijverschil, alsmede de uiterste standen van hoog- en laagwater over het jaar, zijn noch uitschieters noch geven een versnelling van enige trend aan, tenzij het nu al zeven jaren "beduidend" lager zijn van de jaargemiddelde hoogwaterstanden dan bvb. vijf jaren ervoor. Er trad in 2009 slechts één (gewone) stormvloed op, en geen enkele buitengewone stormvloed.

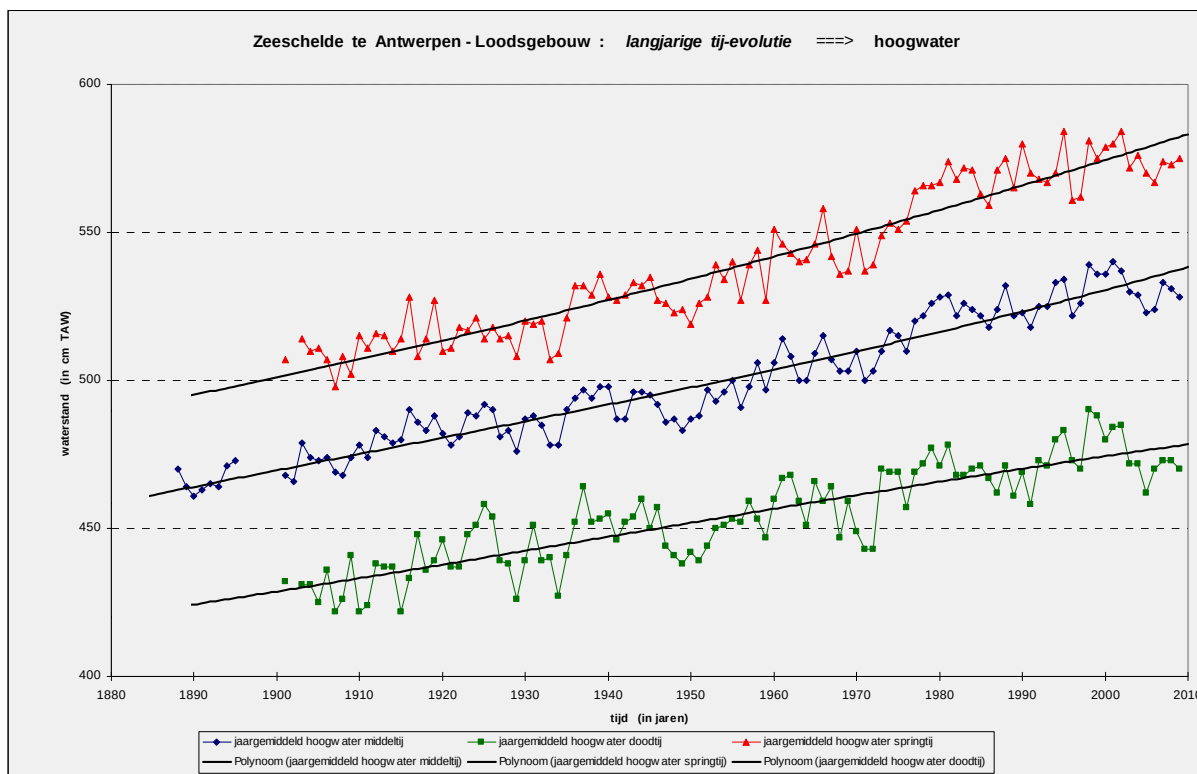
Zonder dat in dit rapport een ganse evolutie van het tij in het Zeescheldebekken wordt gegeven, waaromtrent andere rapporten handelen, mag het tij van de jongste jaren even in het historisch perspectief sinds begin der systematische, continue tijwaarnemingen worden geduid, dus sinds 1885. De volgende drie grafieken schetsen dit historisch beeld. Antwerpen-Loodsgebouw geldt ook in deze als dé basis-post van het ganse Zeescheldebekken.

Figuur 16 toont de jaarlijkse gemiddelde hoogwaterstanden, zowel bij middeltij als van spring- en doottij. In elk verloop van jaargemiddelden is een dienstige trendlijn getrokken. Uiteraard zijn alle tijwaarden van eerdere vergelijkingsvlakken (K.D. en N.K.D.) naar de huidige T.A.W. omgezet.

De evolutie van hoogwater kan omschreven worden:

- 1955 valt in het tekenen van trendlijnen op als een duidelijke trendbreuk.
- tot ongeveer 1955 stegen de hoogwaterstanden van middeltij, springtij en doottij volgens een quasi lineaire trend. De mate waarin is verschillend: bij middeltij steeg het hoogwater met ongeveer 40 cm over 70 jaren, zijnde bijna 6 cm per tien jaar; bij springtij was het ongeveer 35 cm over 55 jaren zijnde bijna 7 cm per tien jaar, en bij doottij ongeveer 25 cm over eenzelfde periode zijnde bijna 5 cm per tien jaar.
- in de periode (ongeveer) 1955-1970 waren de gemiddelde jaarlijkse stijgingen groter: bvb. middeltij steeg met ongeveer een tiental cm over slechts 15 jaar dus een snellere stijging dan tot 1955: à rato van bijna 7 cm per tien jaar. Bij springtij was de versnelling in stijging groter à 8 cm per tien jaar, en bij doottijden iets minder groot, nl. à 4 cm per tien jaar.
- de periode (ongeveer) 1970-2000 kenmerkt zich door iets grotere stijgingen van het gemiddeld hoogwater, maar dat gebeurde met grote schommelingen. Middeltijden verhoogden à 7 cm per tien jaar, springtijden à ongeveer 8 cm per tien jaar, en doottijden à bijna 5 cm per tien jaar.
- in de laatste zeven jaren is er een duidelijke afvlakking zelfs verlaging van al die stijgende trends te zien. Over deze zeven laatste jaren is de trendlijn in wezen iets te fel stijgend tegenover de waarheid.
- bij al deze beschouwingen dient onderlijnd te worden dat het handelt om jaargemiddelde waarden. De uiterste standen (zo hoog als laag) van hoogwater volgen evenwel eenzelfde trend.

- bij alle grafieklijnen is vrij goed de nodale maansperiode (18,6-jarige periode) te zien, die door de trendlijnen wordt uitgemiddeld. Deze nodale periode komt overeen met het over die duur traag maar gestaag "schommelen" rond het gemiddelde, van de schuimte van de maanbaan om de aarde enerzijds met anderzijds de Noord-Zuid-as van de aarde. Deze invloed is op langjarige hoog- en laagwater-waarden te zien, en vooral op deze van het tijverschil.



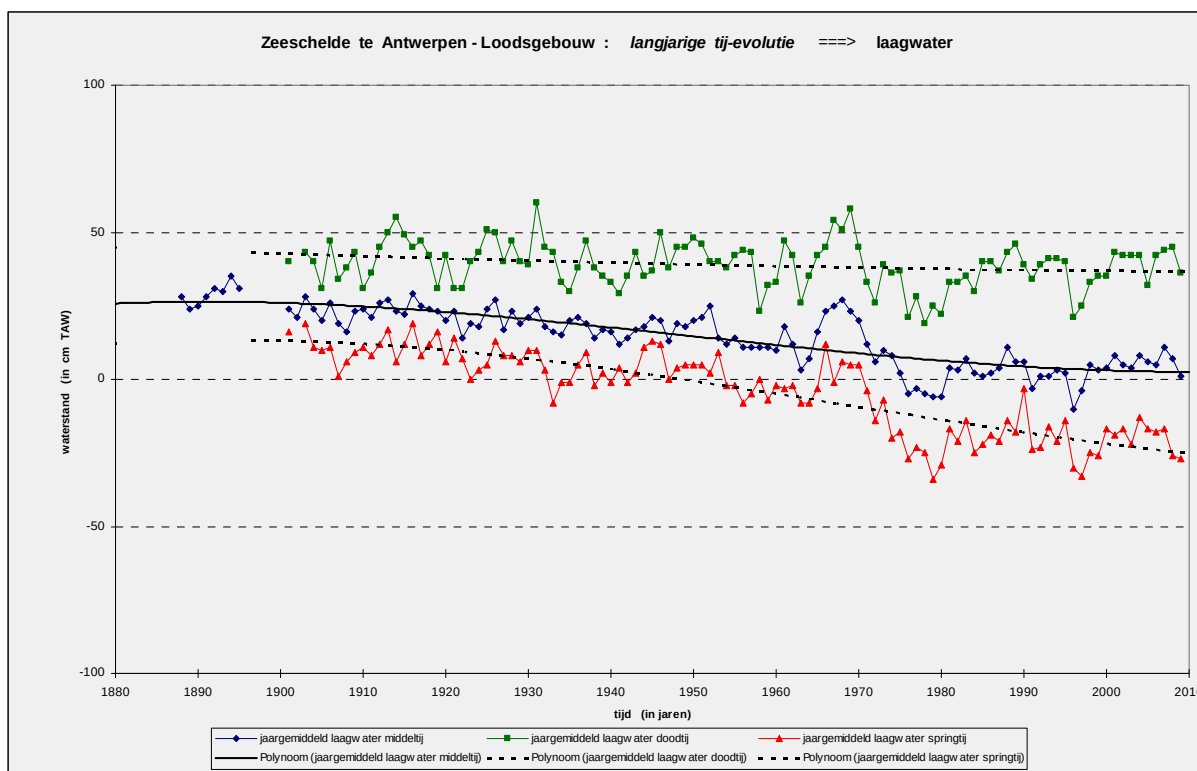
Figuur 16 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw:
"eeuw"-evolutie jaargemiddelden van hoogwater (1885-2009)

De trend van verhogende hoogwaterstanden bestaat dus al vanaf 1885. Tot ongeveer 1955 is de stijging quasi lineair, nadien sterker, zegge volgens een polynoom van de tweede graad. Zoals al eerder doch nog te sporadisch, zowel uit Nederlandse als uit Belgische hoek werd beschouwd, kan deze trendbreuk worden gerelateerd aan de bathymetrische ontwikkeling van het Schelde-estuarium, waarbij vooral moet gedacht worden aan de ontwikkeling van het Gat van Ossensisse en van de Overloop van Hansweert in de vijftiger en zestiger jaren van vorige eeuw: twee in plaats van één enkele hoofdgeul, en een vermindering van globale beddingweerstand. Die zorgden voor een extra toename van de tij-kracht, chronologisch resulterend in eerstens een verhoging der hoogwaterstanden opwaarts, en tweedes in een verlaging der laagwaterstanden opwaarts, dus in een flinke toename van de getijslag.

Gans de ontwikkeling met omslagpunt rond ongeveer 1955 kan worden gerelateerd aan de zeer buitengewone stormvloed van 1 februari 1953. Wat toen door een niet goed voor te stellen reuze-sterke vloedstroom over de ganse sectie van de Westerschelde aan Terneuzen, gebeurde aan opwaartse zijde daarvan, en met name het definitief doen verruimen en uiteindelijk aan opwaartse kant kortsluiten van de vloedschaar van wat nu als vaargeul "Overloop van Hansweert" bekend is, kan als doorslaande versterking van een morfologisch autonoom proces gelden.

Figuur 17 toont analoge grafieken en trendlijnen, maar dan voor de evolutie van laagwater. Ook hier geldt 1955 als kanteljaar. Dan valt op dat voor 1955 er inderdaad en overigens geheel normaal, schommelingen zijn in het verloop van jaargemiddelde laagwaters, zo middeltij, springtij als doottij, doch dat die schommelingen na 1955 beduidend groter zijn.

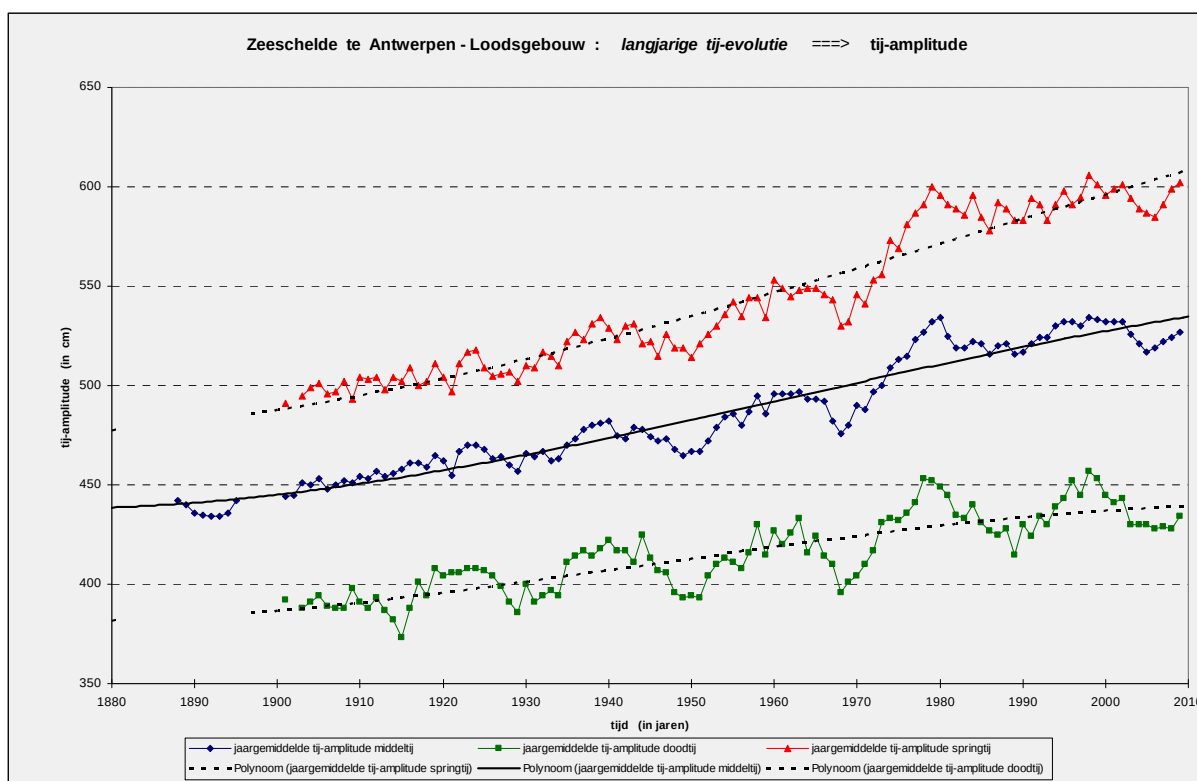
In de eerste periode, voor 1955, is er een gestage daling van de gemiddelde laagwaterstanden bij middeltij en springtij, met voor middeltij ongeveer 15 cm over 70 jaar (dus een ietsje meer dan 2 cm per tien jaar) en voor springtij 7 cm over 55 jaar dus ietsje meer dan 1 cm per tien jaar. De daling van laagwaters bij doottij is kleiner m.n. slechts enkele cm over 55 jaar, zegge ietsje meer dan 0,5 cm per tien jaar. Dat vormt een duidelijk verschil tussen de evolutie van enerzijds middeltijen en springtijten tegen anderzijds doottijen.



Figuur 17 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw:
"eeuw"-evolutie jaargemiddelden van laagwater (1885-2009)

Ook na 1955 is de daling bij doortij relatief klein en zelfs in dezelfde orde van grootte, zegge iets meer dan 0,5 cm per tien jaar. De daling van middeltij is uitgesprokener, nl. iets meer dan tiental cm over 55 jaren zegge bijna 2 cm per tien jaar, en bij springtij nog groter nl. ongeveer 22 cm over 55 jaar zegge à 4 cm per tien jaar.

Uit de evolutie van hoger wordende hoogwaterstanden en lager wordende laagwaterstanden volgt een flinke toename van de tijverschillen, zoals onderstaande figuur 18 aangeeft. Het zal niet verbazen dat ook hier 1955 het kanteljaar blijft. Voor dat jaar vergrootten de tijverschillen zich volgens een lineaire trend, en zijn hun schommelingen rond de trendlijn ook kleiner dan na 1955. In de periode 1955 à 2000 neemt het groter worden van de tijverschillen toe met een polynoom van tweede graad, tenminste voor middeltij en springtij, want bij de doortijen blijft de lineaire trend regel, beïnvloed door de zonet geschetste evolutie van laagwater bij doortij.



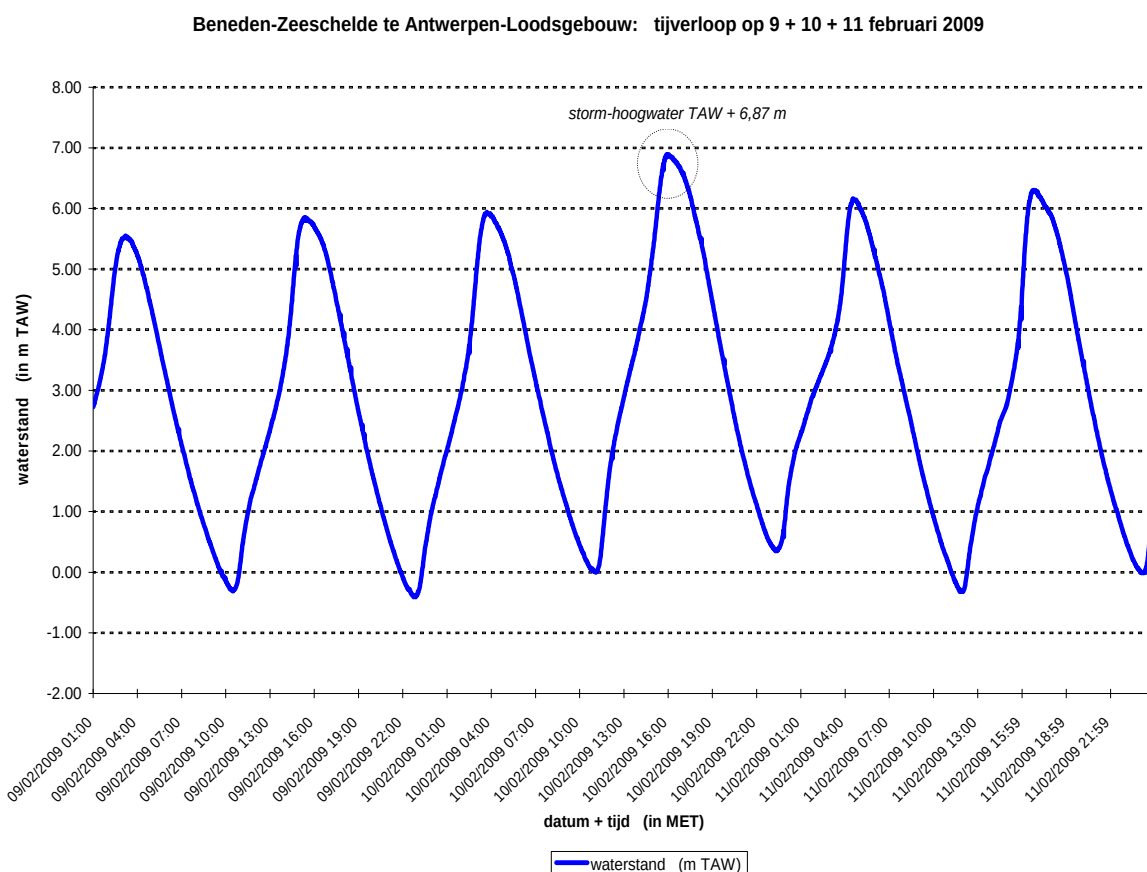
Figuur 18 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw:
"eeuw"-evolutie jaargemiddelden van tij-verschillen (1885-2008)

Ook bij de evolutie van het tijverschil valt op dat over vele laatste jaren genomen, er een afvlakking te zien is, geheel in overeenstemming -uiteraard- zoals zo sterk opviel bij de hoogwaterstanden maar toch ook bij de laagwaters.

1.4.3 opgetreden stormvloed 2009

Met de term "stormvloed" wordt in het Zeescheldebekken bedoeld een hoogwatergolf die in Westerschelde en Zeescheldebekken binnendringt en zich voortplant, met een hoogwaterstand te Antwerpen-Loodsgebouw hoger dan T.A.W. (+6,60m). In officiële terminologie wordt van een "stormtij" gesproken bij een hoogwater te Antwerpen-Loodsgebouw hoger dan T.A.W. (+6,60m) tot T.A.W. (+7,00m) deze laatste waarde niet inbegrepen; indien het hoogwater gelijk of hoger komt dan het peil T.A.W. (+7,00m) handelt het om een "gevaarlijk stormtij". In het jargon wordt de term "stormtij" vaak door "stormvloed", en de term "gevaarlijk stormtij" door "buitengewone stormvloed" vervangen.

In 2009 trad aldus slechts één maal een (gewone) stormvloed op, nl. op dinsdag 10 februari, met een hoogwater te Antwerpen-Loodsgebouw om 15:58 h M.E.T. en peil T.A.W. (+ 6,87 m).



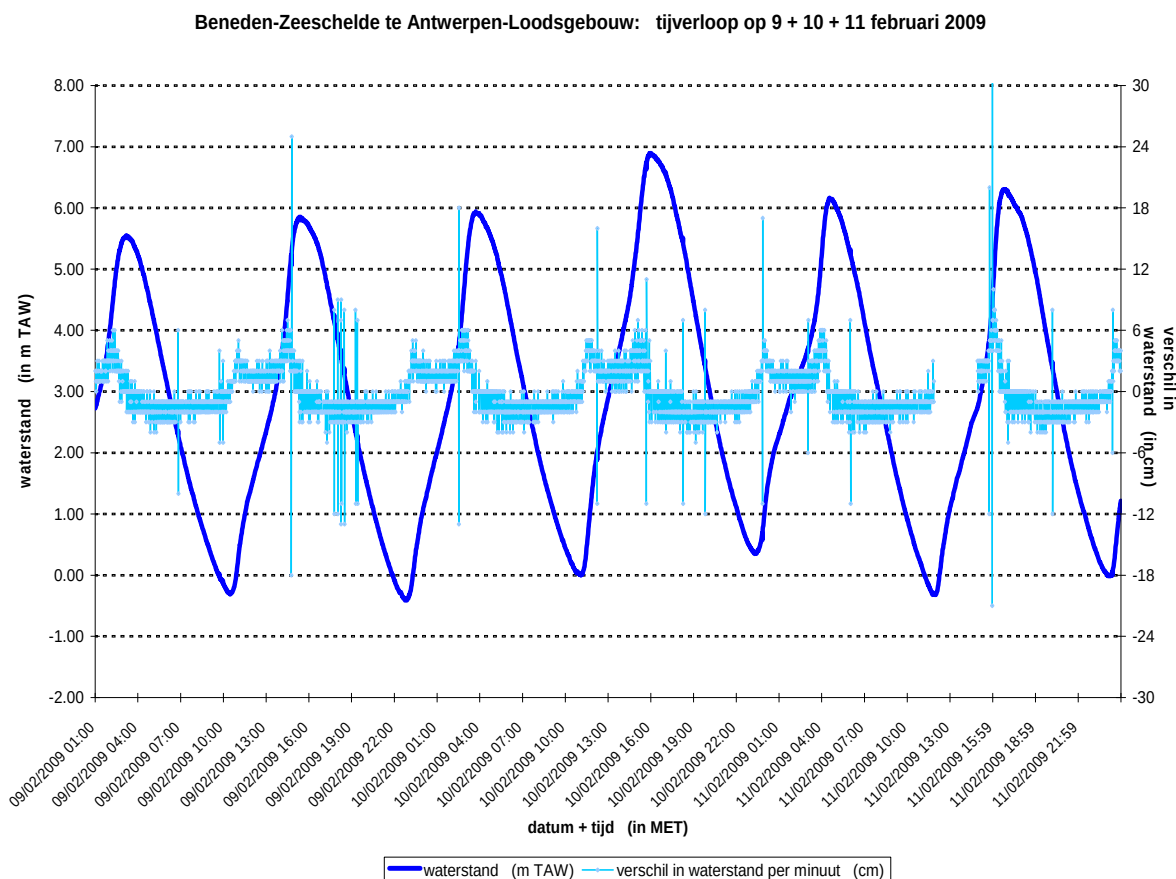
Figuur 19 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw:
tijverloop op 9 à 11 februari 2009 o.a. stormvloed op peil TAW (+6.87m) op 10.01.2009 pm

De klassieke manier van optreden van een stormvloed is dat een flink lagedrukgebied over de Noordelijke Noordzee, van IJsland naar Scandinavië gaat, met aan westzijde ervan een noordwestelijk stormwindveld langs o.m. de oostkust van Engeland. Aldus wordt de opzet van de tijwaterstanden (inclusief bij zowel laag- als hoogwaters) langs de Belgische en Nederlandse kusten fel vergroot. Deze verhoogde tijgolven trekken het Schelde-estuarium binnen, waar de stormtijgolf door een flink westelijk windveld over de Westerschelde nog extra wordt hoger gestuwd.

De stormvloed van dinsdag 10 februari 2009 was van een ander type, dat doorgaans niet meteen aanleiding geeft tot "super"-stormen (categorie stormhoogwater te Antwerpen bvb. minstens TAW +7.50 m, genre 1 februari 1953 en erger). Op 9 en 10 februari 2009 ging een zeer actief lagedrukgebied vanuit de Azoren (toch meer bekend om zijn stabiele hogedrukgebieden ...) via het Kanaal over het westen van België en Nederland, met kern mooi boven de kustlijn. Die kern werd meteen gevolgd door een zeer zwaar stormveld. De zuidelijke Noordzee ondervond daarbij een stormachtige noordwesterwind (8 Bft) hetgeen tot verhoging van het namiddag-hoogwater aanleiding gaf. 's Avonds nam dat windveld snel af.

De combinatie met springtij gaf uiteindelijk een hoogwaterstand te Antwerpen-Loodsgebouw van TAW +6.87 m. Uit bovenstaande figuur is te zien dat het windveld inderdaad snel afnam, want de waterstand na hoogwater ging snel aan het dalen.

Het was dus een korte, gewone stormvloed. Aldus kan bespaard worden op uitleg omtrent meteorologische omstandigheden en het zich in het Zeescheldebekken doorzetten van de stormtijgolf. Aldus kan even ingezoomd worden op het tijverloop te Antwerpen-Loodsgebouw zelf. De navolgende figuur geeft het tijverloop van de drie dagen rond en om de stormdag. Buiten het eigenlijke tijverloop (donkerblauwe lijn) is ook het ogenblikkelijke waterstandsverschil van rijzing en daling van het tij per minuut geschetst (lichtblauwe verticale streepjes, zie rechteras).

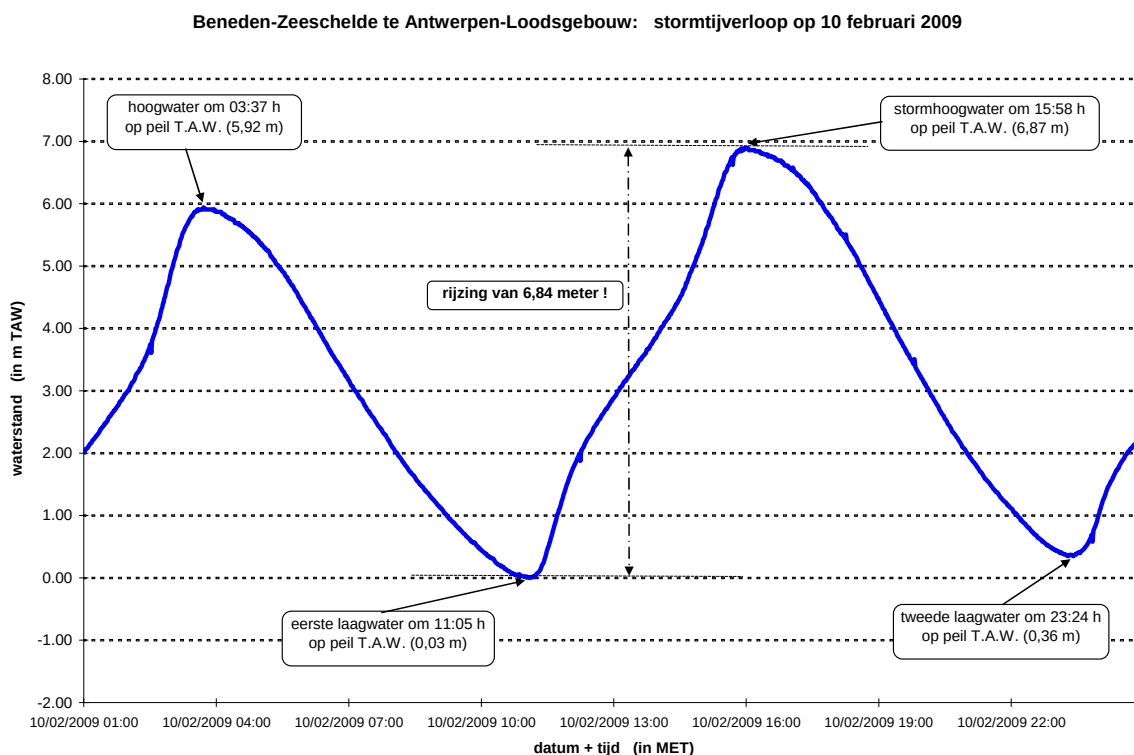


Figuur 20 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 9+10+11 februari 2009 alsmede het ogenblikkelijk waterstandsverschil per minuut

Zoals kan verwacht worden, reeds bij een springtij en zeker bij een stormtij, zijn er waterstands-rijzingen bij het inzetten van de vloed en bij maximum-vloed van 4 à 6 centimeter. Dat duurt dan wel één tot een vijftal minuten, waarna het waterpeil even minder snel rijst. De figuur duidt ook enkele uitschieters aan met minuutverschillen van 12 zelfs een enkele keer 30 cm (en daarbij is één keer = één keer op de 4.320 keren een minuut gedurende drie dagen). Daarbij kan gedacht worden aan een combinatie van inderdaad een grote rijzing van het water maar ook aan de invloed van scheeps- en windgolven en van deining en bui-oscillaties. Op zich zijn dergelijke minuutrijzingen van meer dan bvb. 6 cm uitzonderlijk en zijn zij wel gedurende bewuste drie dagen voorgekomen, doch dat is geenszins het geval gedurende 95% van de tijen per jaar. Men behoeft zich voor het veralgemenen van het uitzonderlijke.

Tijdens daling van het getij verlopen de ogenblikkelijke waterstandsverschillen per minuut veel gelijkmatiger en in beduidend mindere grootte. Behoudens enkele uitzonderingen die de algemene regel bevestigen, variëren deze waterstands-dalingen per minuut tussen 0 en 4 cm.

De volgende figuur toont het verloop van het tij op de stormdag zelf, met aangeven van tijdstip en hoogte van alle hoog- en laagwaters. Daar kunnen enkele kanttekeningen bij geplaatst worden, overigens vrij typische bij stormtijden, zoals de korte duur van de stijging, het grote tijverschil, de grote duur van de navolgende daling, en het hoger zijn van het navolgend laagwater dan het voorafgaandelijk laagwater (althoewel zulks in dit geval maar mager uitvalt).



Figuur 21 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 10 februari 2009

In eerste plaats (en wat op de figuur is aangegeven) valt het grote tijverschil op: 6,84 meter. Dat is zeer groot zonder recordmatig te zijn. Zeer uitzonderlijk komt een tijverschil voor een stormhoogwater voor van net meer dan zeven meter. Vooral de stormtij-types van zogenaamd type II (met een lagedrukkern die de Belgische en Nederlandse kustlijn van zuidwest naar noordoost afloopt) geven nog geen verhoging van het voorafgaandelijk laagwater, maar een snelle en felle verhoging bij de stijging van het waterpeil naar stormtijhoogwater. De klassieke stormtij-types van type I (met een lagedrukkern die boven noord van de Noordzee van IJsland naar Scandinavië trekt, en gewoonlijk vrij lang hevige noordwesterwinden over de ganse Noordzee genereren) doen het tijverloop al voor het eigenlijke stormtij flink verhogen.

Wat ook in bovenstaande figuur opvalt, is de korte stijging van het tij bij een stormtij: tussen voorafgaand laagwater en stormhoogwater duurt het maar 4u53min dus geen vijf uren. Dat betekent een gemiddelde ogenblikkelijke stijging van het tij met 2,3 cm per minuut.

De duur van de daling van het tij is relatief lang: 7u26min. Met een daling van 6,51 m geeft dit een gemiddelde ogenblikkelijke daling van 1,5 cm per minuut.

Bij beide gemiddelden moet rekening worden gehouden met de duurtijd van laag- en hoogwater zelf, nl. dat het waterpeil gedurende vele minuten (wat een kwartuur kan zijn) bijna niet wijzigt tenzij met één à drie centimeter op en neer gaat; wat die gemiddelden uiteraard meteen doet verkleinen.

Maar alles bijeen genomen, is deze stormvloed geenszins uitzonderlijk. In deze (weliswaar prille) eeuw trad het Scheldewater slechts twee maal en dan nog slechts amper boven de zgde "blauwe steen", nl. in 2004 op (+7.05m) en in 2007 op (+7.06m). In de jaren '90 was dat veel meer het geval; navolgende tabel geeft het overzicht van alle hoogwaterstanden te Antwerpen-Loodsgebouw sinds 1971 hoger dan T.A.W. (+6.50m) en dat verdeeld in klassen van 10 cm.

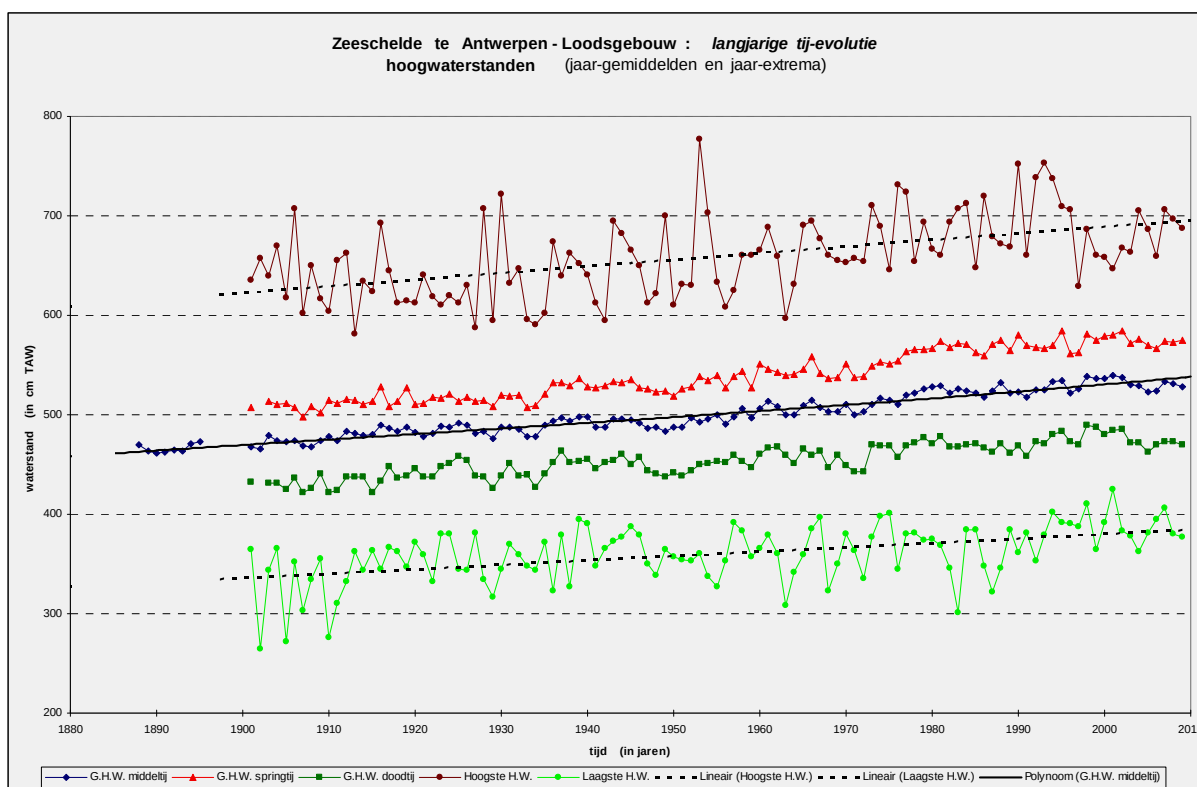
De tabel toont een duidelijke concentratie van stormvloeden, zowel in aantal per jaar als in hoogte per stormvloed, bvb. van 1990 (met de befaamde "Crocus-stormen" van einde februari 1990, met vier buitengewone stormvloeden en drie gewone stormvloeden in één enkele werkweek ... !) t/m 1996, o.a. nog flinke buitengewone stormvloeden in 1992, 1993 en 1994.

Sindsdien is het opmerkelijk rustiger op het stormvloedenfront, met bvb. enkele jaren zelfs zonder enige stormvloed, en met slechts twee ("buitengewone") stormvloeden net boven de zgde "blauwe steen" (2004 en 2007).

Tabel 11 - Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: frequentie-tabel hoogwaterstanden bij zeer hoge hoogwaters en stormtijden 1971-2010 verdeeld per decimeter

[illegible]

Ook in figuur 22, met buiten de jaargemiddelden van middeltij, springtij en doottij sinds 1885, die op grotere hoogteschaal reeds eerder zijn getoond, ook de jaarlijks hoogste en jaarlijks laagste hoogwaterstanden, blijkt 2009 een "zeer rustig stormjaar" te zijn geweest, zoals al verschillende jaren voordien.



Figuur 22 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: evolutie sinds 1885 (resp. 1900) van jaargemiddeld hoogwater middeltij, springtij en doottij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste hoogwaterstanden

De hoogste hoogwaterstand ooit is deze op 1 februari 1953 a.m., met een hoogwaterpeil op T.A.W. +7,77 meter. Noteer ook dat er enkele jaren waren waarbij de hoogwaters nooit boven het peil T.A.W. +6,00 m kwam. Ter fysische vergelijking van dergelijke hoogwaterstanden: de zogenaamde "blauwe steen" te Antwerpen-Loodsgebouw ligt op ongeveer T.A.W. +7,00 m.

Ook al blijft het stormhoogwater beneden dat laatste peil, dan nog komt Scheldewater over de fameuze "blauwe steen", nl. door het overslaan van windgolven. Het kan soms ook van scheepsgolven maar primo wordt de scheepvaart tijdens stormtij beperkt (reeds vanuit de binnenschipperij zelf als desnoods bij tijdelijke maatregel van vaarverbod door het Bestuur) en zullen schepen bij storm zich ook niet te dicht bij de Scheldekades wagen.

1.4.4 opgetreden speciale tijen in 2009

Als het jaar 2009 veel minder gekarakteriseerd was door stormtij, en er ook geen zéér lage laagwaterstanden optraden (het L.L.W. te Antwerpen-Loodsgebouw in 2009 was T.A.W. -0,80 m), handelen de "bijzondere" tijen in de Beneden-Zeeschelde in 2009 enkel om:

- 19 januari 2009 met een dubbel laagwater ("agger");
- en 22 + 23 januari 2009 waarbij een typisch "drietrapsgetij" voorkwam, een (misschien wat verouderd) begrip uit de stormberekeningen waarbij aangenomen wordt dat een superstorm zich zal voordoen als een derde hoogwater na twee voorgaand al flink verhoogde hoogwaters.

a) tij van 19 januari 2009 met een dubbel laagwater ("agger")

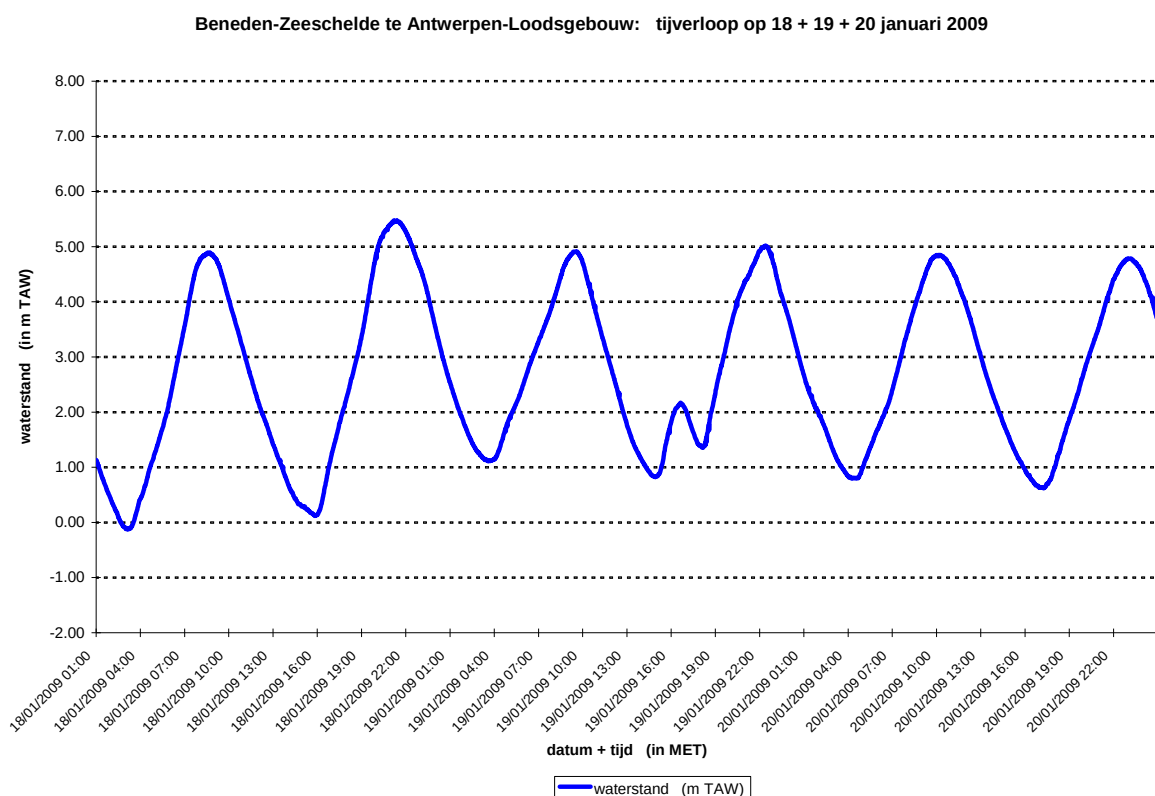
Figuur 23 geeft het tijverloop te Antwerpen-Loodsgebouw op 18, 19 en 20 januari 2009. Tussen voor de rest nogal normale tijverlopen trad op 19 januari in de late namiddag een dubbel laagwater op. Er kan wel worden gewezen op reeds verhoogde laagwaterpeilen er vlak voor en vlak na.

Een dubbel laagwater kan gemeenzaam ook als "agger" omschreven worden. Doch deze term wordt eerder gebruikt daar waar elk laagwater of om en om elk laagwater een dubbel laagwaterpeil kent, elke dag of bijna elke dag opnieuw, en met tussen beide laagwaterpeilen in slechts een kleine verhoging van het water, zegge tien à veertig centimeter.

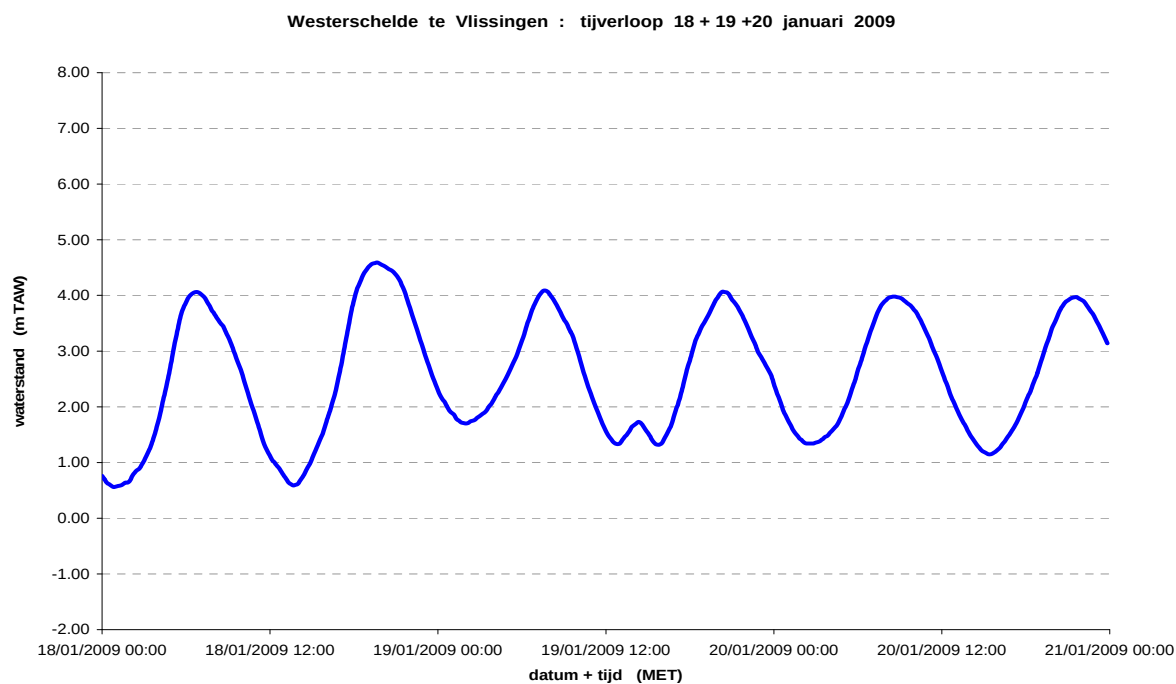
In huidig geval gaat het om een hoge uitzondering van dubbel laagwater, en met tussenin een flinke verhoging (in onderhavig geval: 1,23 m voor en 0,80 m na het tussenin gelegen "hoogwater"). Het komt in het Zeescheldebekken weinig voor, zeker aggers die toch een behoorlijke grootte (hoogteverschil) hebben. Die komen ongeveer alle vier à vijf jaar voor. Zoals uitzonderingen de algemene regel bevestigen: in 2009 kwam in juli nog een dubbel-laagwater voor, doch dan "relatief" beperkt (hoogteverschil 0,50 m). De oorzaak is telkens gelegen in een plotse drukdaling dus waterstandsverhoging of in een snel draaiend windveld met grote windsnelheden (een kolkwind). Deze fenomenen doen zich dan reeds op de Noordzee voor, want worden niet veroorzaakt door locale windvelden in het Schelde-estuarium, maar kunnen er wel door worden verzwakt of versterkt.

Het dubbel laagwater komt dus in hoofdzaak vanuit zee, doet zich ook aan de kusthavens voor, en komt als een tussenin zijnde waterstandsverhogende golf via de Westerschelde het Zeescheldebekken binnen. Het manifesteert zich op bijna alle tijmeetlocaties, ietsje versterkt door de toesnoerende morfologie van de stroom doch helemaal naar opwaarts toe stilaan gedempt door de wrijving van diezelfde stroom.

Op volgende bladzijde toont de bovenste grafiek het verloop van het tij in de Beneden-Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw voor 18, 19 en 20 januari 2009, met het dubbel-laagwater op 19 januari in de late namiddag.



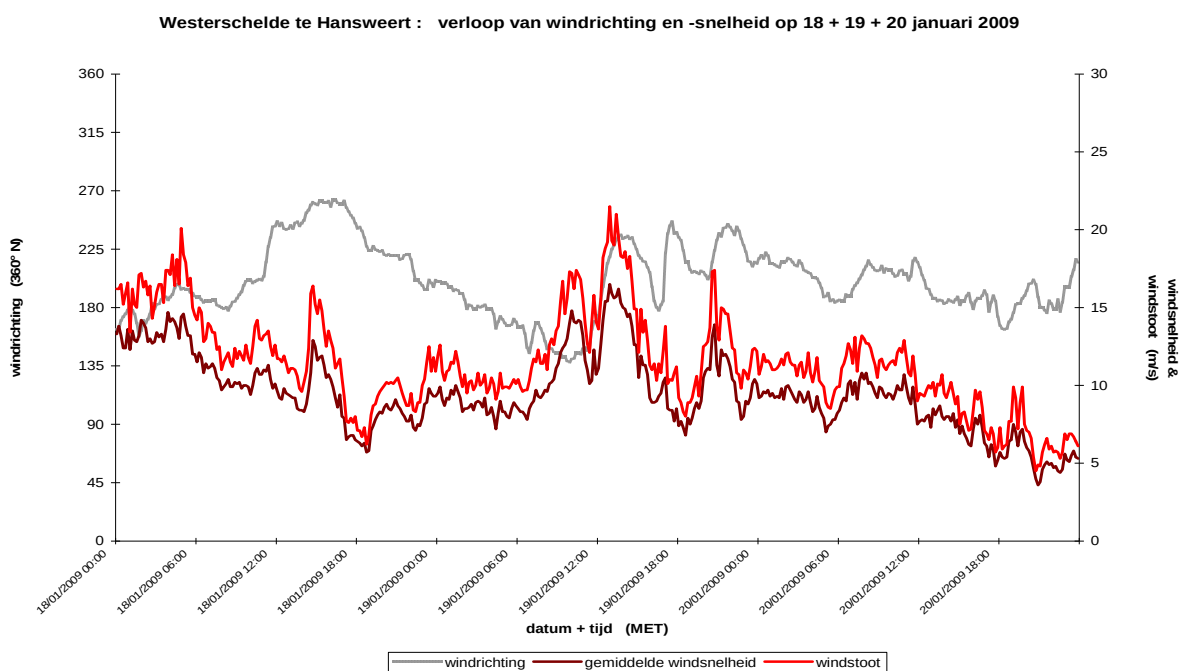
Figuur 23 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 18 + 19 + 20 januari 2009 met een dubbel laagwater op 19.01.2009 p.m.



Figuur 24 - Westerschelde te Vlissingen: tijverloop op 18 + 19 + 20 januari 2009 met een dubbel laagwater op 19.01.2009 middag

Het fenomeen van het dubbel-laagwater kwam vanuit zee. De vorige grafiek toont het tijverloop van de Westerschelde te Vlissingen voor de drie betrokken dagen (te vergelijken met de figuur er net boven).

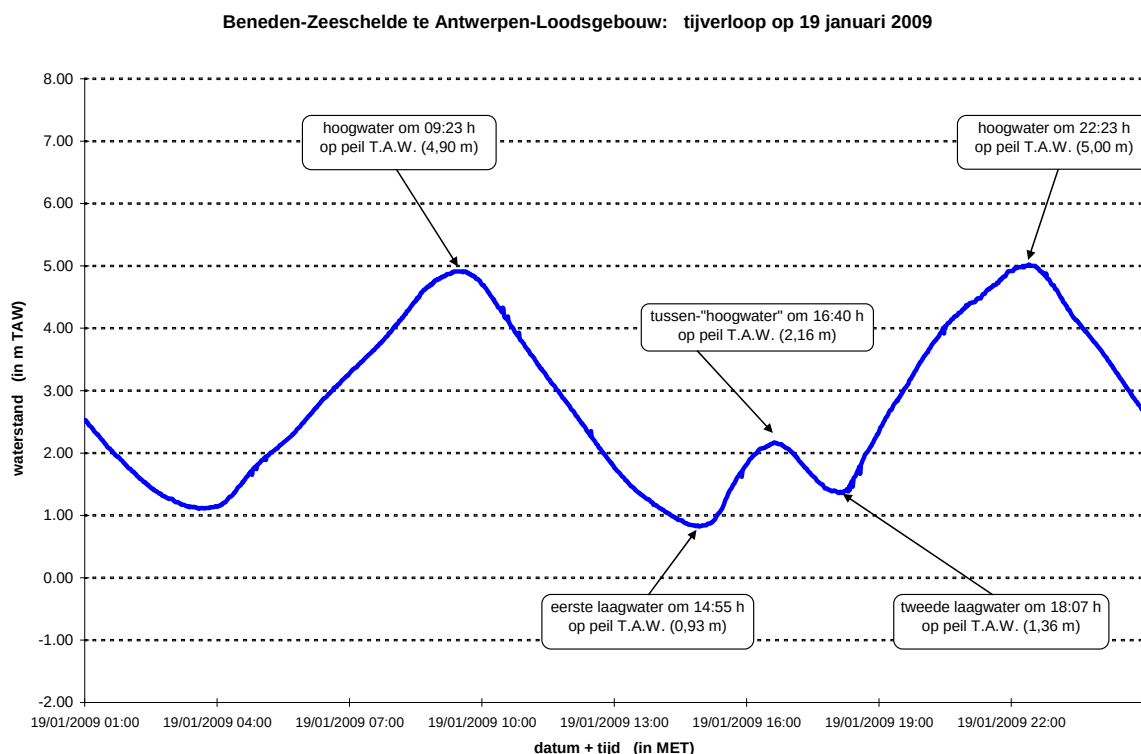
Volgende figuur toont het windverloop te Hansweert van diezelfde dagen.



Figuur 25 - Westerschelde te Hansweert:
windverloop op 18, 19 en 20 januari 2009 (tien minuut-gegevens) (bron: RWS - HMCZ)

T.o.v. de toestand in de voormiddag en 's middags, ruimt de wind in de namiddag snel van ZO naar ZWW, en vergroot het flink in snelheid, vooral de windstoot nl. een verdubbeling. Buiten de morfologie van de stroom heeft hier een surplus van windinvloed impact op het uit zee komende dubbel-laagwater gehad.

Het "dubbel laagwater" is te Antwerpen-Loodsgebouw wel zeer belangrijk: van het eerste laagwater naar het tussenin gelegen "hoogwater" was er een verhoging met maar liefst 1,23 meter, zie navolgende figuur. In een volgende paragraaf zal gezien worden dat de hoogtevariatie te Schelle (als voorbeeld) nog is toegenomen. Hierin spelen het al dan niet aanhouden van een favorabel windveld (of het gewoon afzwakken dan wel aanhouden of aantrekken van de wind, dat het dubbel-laagwater doet verminderen resp. vergroten want gewoon zonder stuwkracht uitdeinen of resp. doet aanscherpen) en van de geometrie van de stroom zoals ook op het gewone tij al te zien is.



Figuur 26 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 19 januari 2009

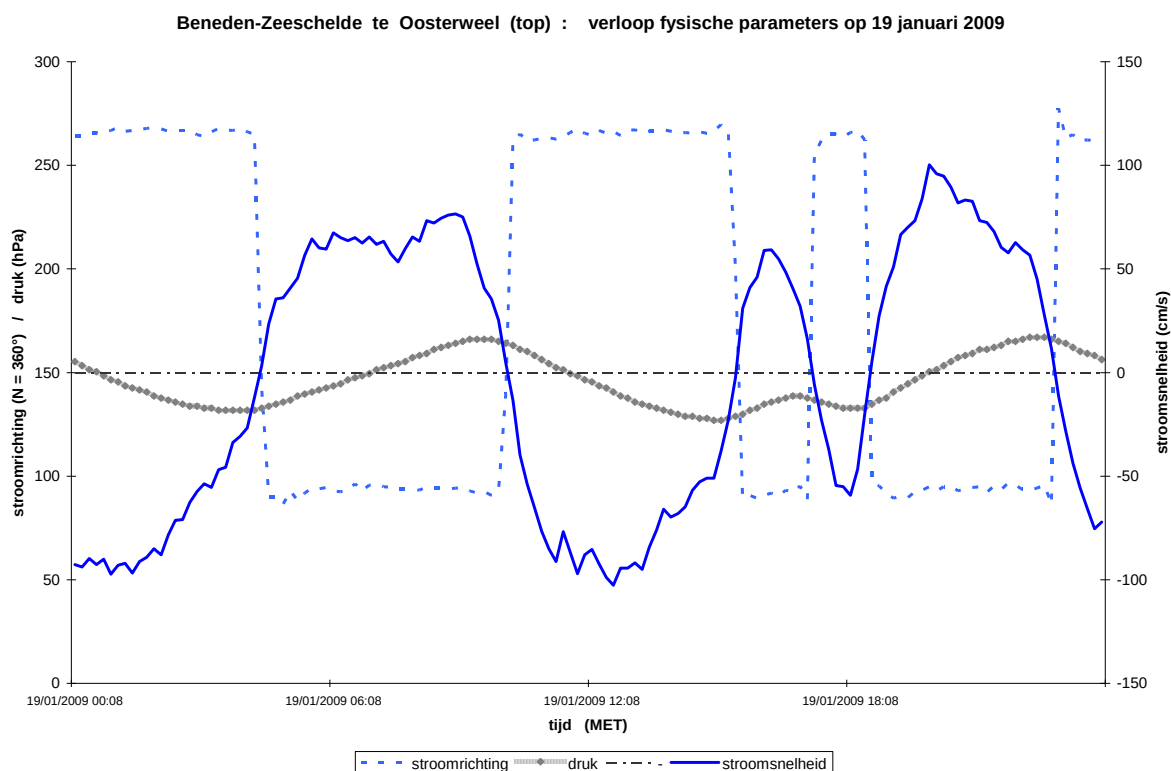
Het dubbel-laagwater is niet enkel een fenomeen van waterstand, zoals vorige figuren van het tijverloop dat aangeven. Bij beduidende grootte van zulk dubbel-laagwater kan het niet anders dan dat ook de waterstromingen sterk beïnvloed worden. Het kan immers niet dat bvb. de waterstand tijdens dalend tij en eb van hoog- naar laagwater gaat, doch voor het bereiken van dat laagwater danig tussentijds verhoogd en (snel) nadien (meteen) verlaagd derwijze dat er eigenlijk twee opeenvolgende laagwaters zijn, dan dat ook de eb in die periode van zin naar vloed verandert om (snel) nadien (meteen) terug de ebzin te vervolgen tot het eigenlijke laagwater wordt bereikt.

Afwaarts van de tijmeetpost aan het Loodsgebouw te Antwerpen bevindt zich de meetpost Oosterweel, waar naast tijmeting ook twee meettoestellen (op verschillende hoogte) vrij in de stroom hangen en o.a. continu de stroomsnelheid- en richting meten.

Van het bovenste meetpunt toont de volgende grafiek de stroomsnelheid, de stroomrichting en de (totale lucht- en water-)druk. Dat laatste geeft een verloop van de waterstand. De figuur handelt (zoals figuur 26) enkel om de dag van het dubbel-laagwater zelf.

De grijze lijn toont het drukverloop, met in de late namiddag een tijdelijke verhoging van de waterstand: het dubbel-laagwater. De streepjeslijn geeft de stroomrichting weer, en toont dat bij dat dubbel-laagwater de stroomrichting inderdaad van eb naar vloed en terug eb is veranderd. Te noteren is dat de stroomrichting conventioneel deze is waarnaar de stroming gaat (in tegenstelling tot windrichting). Vloed gaat te Oosterweel van 90 tot 100 graden; eb van 260 à 270 graden, 180° anders.

De donkerblauwe ononderbroken lijn geeft de stroomsnelheid weer (op constante hoogte nl. T.A.W. (-1,50 m)). Vloed is positief, eb is negatief, zoals het maritiem geldt. Ook daarbij is de grote impact op de stroming te zien: tussentijds gaat immers met het even verhogen van de waterstand inderdaad weerom een vloed gepaard, met -op die meethoogte- een watersnelheid tot 0,60 m/s.



Figuur 27 - Zeeschelde te Oosterweel: verloop van druk (= tij) en stroomsnelheid en -richting op 19 januari 2009

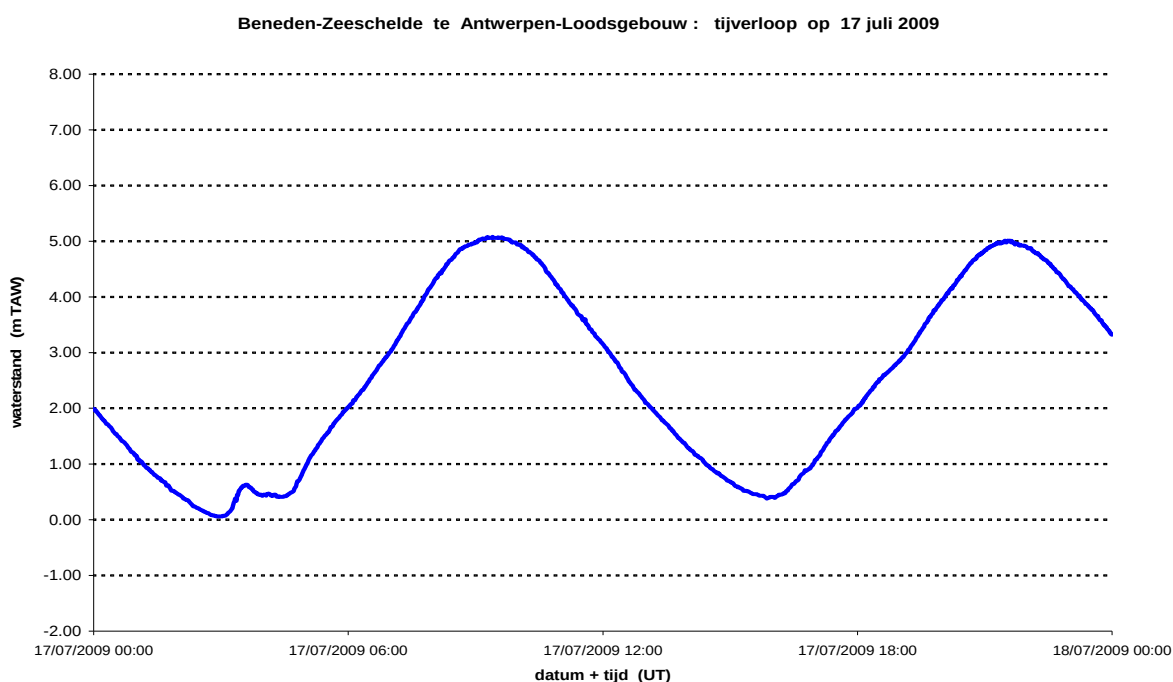
Ter afsluiting: even zelden als een "dubbel laagwater" komt ook het fenomeen van een "dubbel hoogwater" in het Zeescheldebekken voor. Ook dat wordt veroorzaakt door bui-oscillaties of door een snel wisselend en sterk windveld (windkolk), even goed op zee met even goed een versterking of verzwakking door invloeden op de Westerschelde. Ook hier dempt het fenomeen zich naar opwaarts in het Zeescheldebekken.

Het hoogteverschil van het tussen alsdan twee hoogwaters gelegen "laagwaterpeil" is wel veel kleiner dan het analoge fenomeen bij laagwater. Het handelt immers over enkele centimeter tot zeer uitzonderlijk een twintigtal centimeter, dus niet van de orde van grootte van meer dan een meter. Het komt bijna steeds voor bij stormachtige toestanden, dus wanneer een lagedrukkern vlakbij de kustlijn gedurende een half uur of een uur erg van plaats of sterkte wijzigt.

Ter vervollediging :

Zonder een aparte paragraaf aan te wijden, kan ook de ("kleine") agger op 17 juli 2009 vermeld worden. De navolgende figuur toont deze voor de meetpost Antwerpen-Loodsgebouw. Het hoogteverschil tussen het "eerste" laagwater en het "tussentijdse" "valse hoogwater" bedraagt zowat een halve meter.

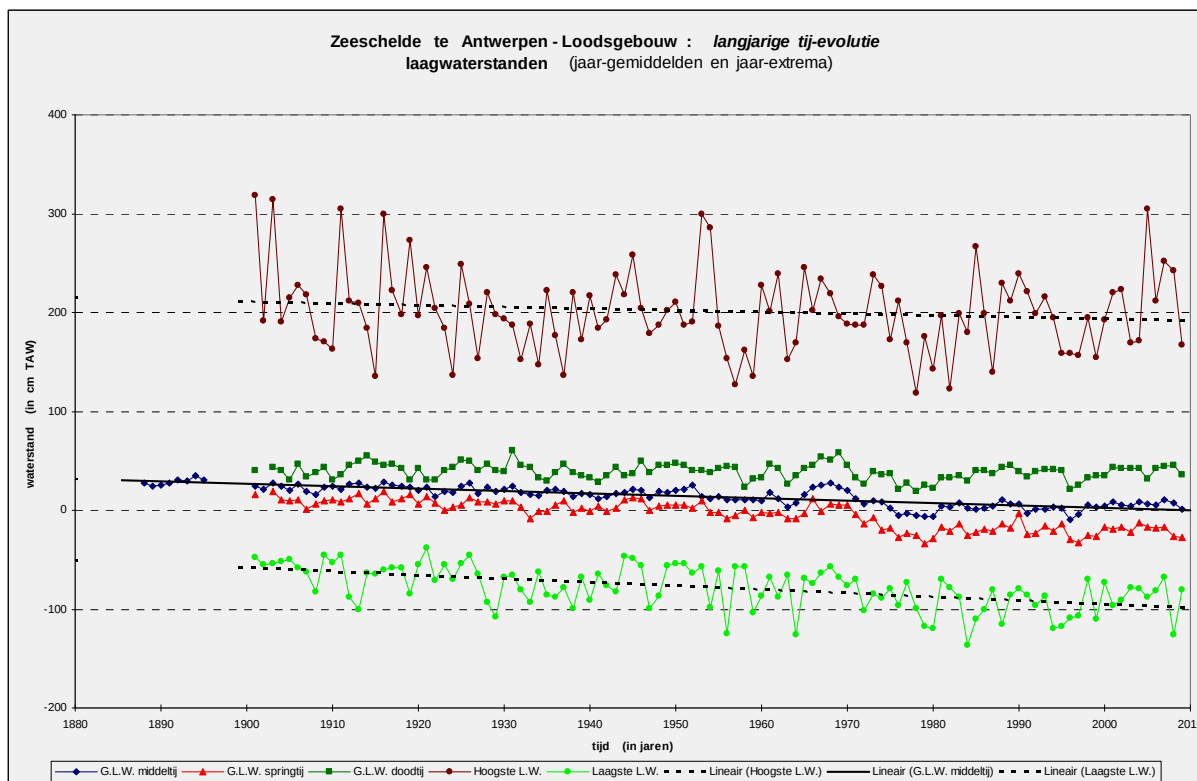
Zoals de grote agger op 19 januari 2009 heeft deze zich ook doch dan beperkt doorgezet naar opwaarts, om stilaan uit te deinen.



Figuur 28 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 17 juli 2009 met klein "dubbel-laagwater"

Nu hier toch over laagwaterstanden wordt gehandeld, kan de evolutie van het laagwater in de Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw worden getoond. De figuur 29 toont die evolutie van de jaargemiddelden bij middeltij (sinds 1885), (en dan vanaf 1900) van springtij en doottij, evenals van de hoogste en van de laagste laagwaters per jaar.

Wat ook uit die figuur opvalt, is dat de trendmatige daling van de jaarlijks laagste laagwaters, sterker is (= dalender is) dan bij de middeltijden, doch bevestigd wordt door de trendmatige daling bij springtijden.

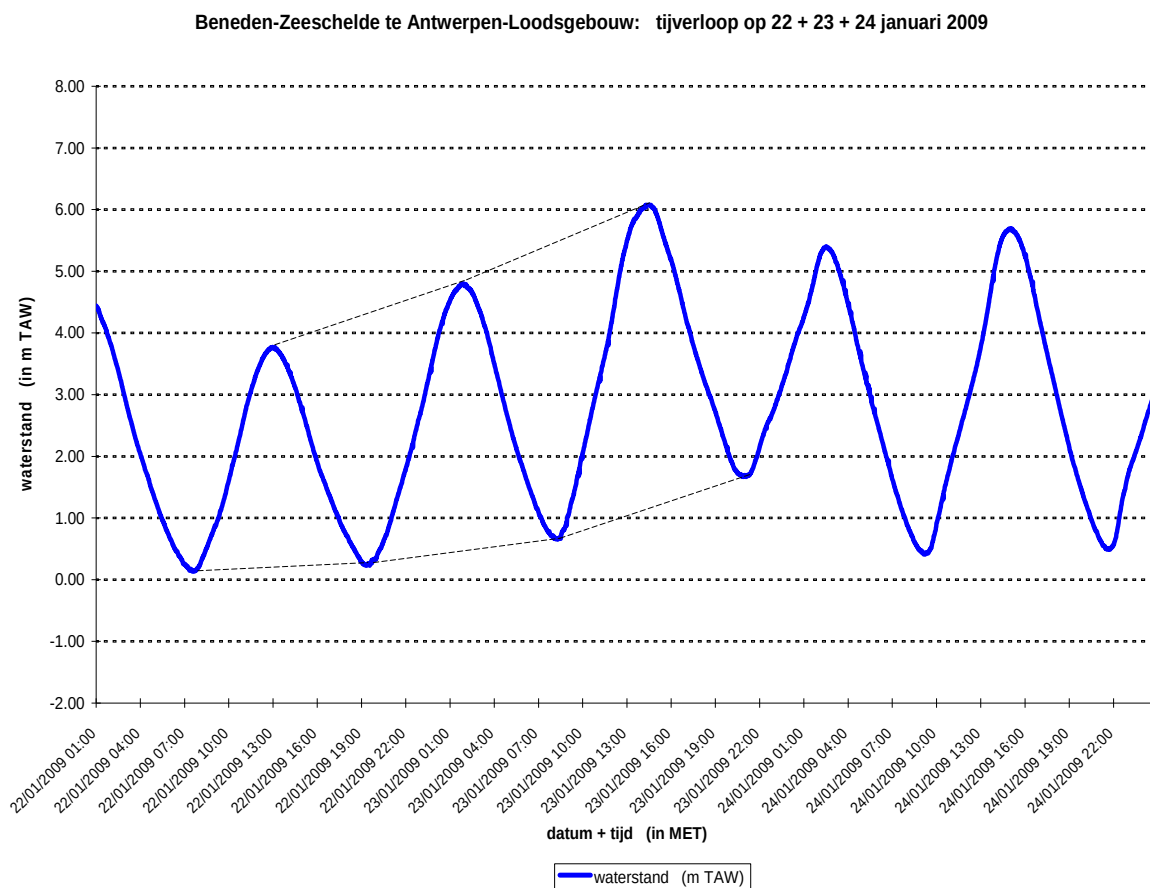


Figuur 29 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: evolutie sinds 1885 (resp. 1900) van jaargemiddeld laagwater middeltij, springtij en doortij, aangevuld met de jaarlijks hoogste en de jaarlijks laagste laagwaterstanden

a) tij van 22 en 23 januari 2009 met een typisch "drietrapsgetij"

Bij de klassieke berekeningen over de voortplanting van stormvloed in o.a. het Zeescheldebekken, werd (en deels wordt nog) ervan uitgegaan dat dé superstorm zich zou voordoen als een derde hoogwater in een reeks van drie, en waarbij de eerste twee al flink verhoogde hoogwaters zijn. M.a.w. een waterpeil van bvb. T.A.W. +8,50 m zal zich maar voordoen als voorafgaand reeds flink verhoogde tijen optreden. Er wordt van uitgegaan dat een tijverschil van bvb. 8 meter zomaar niet kan. Er werd overigens ook -klassiekerwijze, jaren 1960 à '80- bij gedacht dat een superstorm in het Zeescheldebekken geen "leeg" kombergingsgebied zou vinden doch een reeds flink gevuld bekken, waardoor die superstorm zich ook in de opwaartse delen van het bekken flink zou blijven voordoen. Kanttekening: in die klassieke berekeningen werden de bovendeblaten aan de opwaartse eindraaien van het Scheldebekken gewoon gemiddeld of iets vergroot aangenomen, doch geen grote afvoeren. De ondertussen reeds flink aangesproken komberging is er dan niet door grote wasafvoeren, doch door voorafgaandelijk flink verhoogde tijen uit zee.

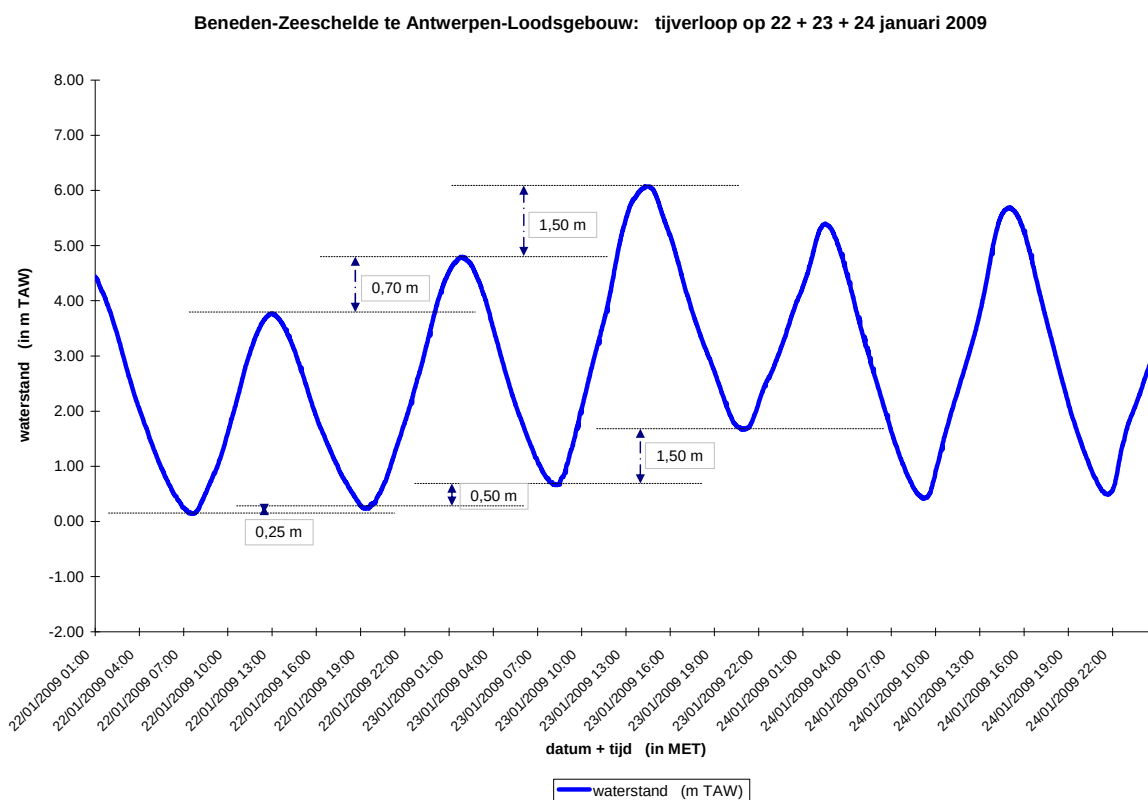
Het tijverloop op 22 en 23 januari 2009 gaf een dergelijk drierapsgetij te zien, zij het met normale hoogwaterstanden want zeker geen stormachtige omstandigheden.



Figuur 30 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 22 + 23 + 24 januari 2009

Dergelijk mooi drierapsgetij komt weinig voor.

Navolgende grafiek geeft er meerbepaald de verhogingen van de opeenvolgende laag- en hoogwaters aan: 0,25 m, 0,70 m, 0,50 m, 1,50 m en opnieuw 1,50 m.



Figuur 31 - Zeeschelde te Antwerpen-Loodsgebouw: tijverloop op 22 + 23 + 24 januari 2009 met aanduiding van laag- en hoogwaterstandsverhogingen gedurende een typisch drietrapsgetij

Het belang om dergelijk typisch drietrapsgetij te tonen hoewel het niet om stormachtige omstandigheden handelt, ligt er in dat bij een drietrapsgetij om het verloop van een superstorm uit te tekenen, wél het uiteindelijke hoogwaterpeil van die superstorm bekend is (door aanname, bvb. T.A.W. + 8,75 m), doch in de klassieke benadering niets over het tijverloop van de zegge dertig uren daarvoor meteen bekend is. Men voegt daar dan verlopen van een flink springtij aan toe, telkens met een grotere ogenblikkelijke opzet verhoogd totdat het uiteindelijke beeld als "goed" wordt ervaren.

Bij deze is een dergelijk mooi verloop van een drietrapsgetij gegeven, hetwelk met een opzet kan verhoogd worden tot -bij het derde hoogwater- het uiteindelijk gewenste hoogwater van een gestelde superstorm wordt bereikt.

1.5 Getijwaarnemingen 2009 op overige tijmeetposten

1.5.1 globaal overzicht getijwaarnemingen 2009

Dit rapport gaf al veel over het tijverloop 2009 te Antwerpen-Loodsgebouw. Op zich is dat verantwoord, gezien primo deze locatie dé basis-meetpost van het Zeescheldebekken vormt, en de meesten kennis van vooral het tij aan deze tijpost hebben doch minder aan andere tijposten, en secundo omdat de trends en de bijzondere tijen te Antwerpen-Loodsgebouw, zich gelijkaardig voordoen op de andere meetposten. Uiteraard is er daarbij verschil in tijdstip van hoog- en laagwater, en is er verschil in waterstanden, doch kennis van het tijverloop te Antwerpen-Loodsgebouw levert heel veel informatie op over hoe het op andere meetlocaties was.

Het tijverloop op de andere meetlocaties zal hiernavolgend middels enkele tabellen en enkele grafieken worden getoond. De uitleg zoals hoger voor de basispost Antwerpen-Loodsgebouw gegeven, geldt ook hier. Uitgezonderd de invloed bij grote bovendebieten en was-regimes in het opwaartse deel van het gebied, die daarom uitgebreider worden belicht.

De tabellen 12 en 13 geven de hoofdkenmerkende tijwaarden 2009 voor goedgekozen meetlocaties in het Zeescheldebekken, en die ten nutte van Moneos zijn. Prosperpolder is de meest afwaartse meetpost van het Zeescheldebekken. Liefkenshoek en Kallosluis sluiten daarop aan om samen met Antwerpen-Loodsgebouw de ganse Beneden-Zeeschelde te dekken. De locatie Schelle geldt speciaal omwille van de ligging aan de Rupelmonding, en omwille van het tot daar doorberekenen van de afvoer van het Zeescheldebekken (de bovendebieten "Schelde te Schelle", ruim bekend en gebruikt). Temse heeft een grote historische reden. De locatie Sint-Amands geldt als overgang tussen een vrij maritiem gedeelte naar een eerder fluviaal deel van de Zeeschelde. In de meetkundige plaats van hoogwaters is het hoogwater ook het hoogst te Sint-Amands, en de laagwaters vormen er de overgang tussen de afwaarts lage doch opwaarts flink hogergelegen laagwaterstanden.

Dendermonde heeft een belangrijke historiek, en kent de uitmonding van de Dender, met bij was-regimes grote invloed op vnl. de laagwaterstanden. Schoonaarde en Wetteren bepalen het tij aan drie opeenvolgende Gecontroleerde Overstromingsgebieden (GOG's Scheldebreek, Paardenweide en Bergenmeersen). Melle geldt uiteraard als in wezen de meest opwaartse meetlocatie van de Zeeschelde, gezien deze te Gentbrugge voor laagwaters en voor de meeste hoogwaters niet meer aan tijwater raakt. De locatie Melle betekent tevens de samenvloeiing van de Ringvaart en de Zeeschelde, en te Melle wordt continu het debiet gemeten, hetgeen resulteert in bepaling van de bovendebieten van Schelde en Leie naar Zeeschelde.

Voor de aan het tij onderhevige bijrivieren werd de keuze vooralsnog beperkt tot Boom en Walem voor de Rupel, en Duffelsluis en Lier-Molbrug voor het Netebekken. Deze laatste meetpost wordt ook gerekend tot de Beneden-Nete, al kan gediscussieerd worden dat het eigenlijk over het laatste stuk van de Kleine Nete handelt. Het is in ieder geval dé tijpost in de stad Lier, en markeert qua waterpeilen het opwaartse einde van de Beneden-Nete.

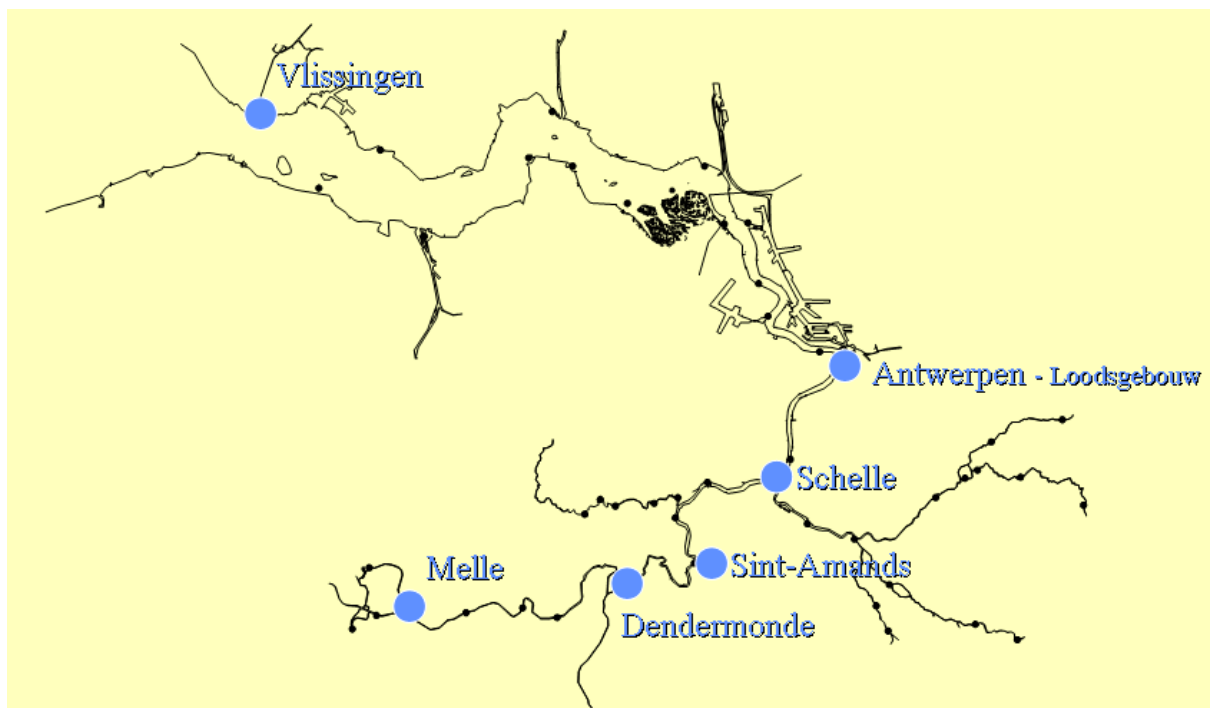
Tabel 12 - Zeeschelde: overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden 2009

		Prosperpolder	Liefkenshoek	Kallosluis	Antwerpen- Loodsgebouw	Schelle	Temse	Sint-Amands	Dendermonde	Schoonaarde	Wetteren	Melle
middeltij	GHW	5.05	5.22	5.27	5.28	5.44	5.53	5.56	5.24	5.07	4.90	4.98
	GLW	0.04	0.08	0.03	0.01	0.00	0.15	0.40	1.05	1.70	2.10	2.25
	GTV	5.01	5.14	5.24	5.27	5.44	5.38	5.16	4.19	3.37	2.80	2.73
springtij	GHW	5.53	5.71	5.79	5.75	5.86	5.97	6.00	5.62	5.42	5.21	5.26
	GLW	-0.23	-0.21	-0.27	-0.27	-0.24	-0.04	0.30	1.09	1.83	2.30	2.49
	GTV	5.76	5.92	6.06	6.02	6.10	6.01	5.70	4.53	3.59	2.91	2.77
doodtij	GHW	4.45	4.60	4.65	4.70	4.86	4.96	4.99	4.78	4.67	4.57	4.67
	GLW	0.38	0.42	0.38	0.36	0.31	0.40	0.55	1.03	1.56	1.92	2.07
	GTV	4.07	4.18	4.27	4.34	4.55	4.56	4.44	3.75	3.11	2.65	2.60
uiterste waarden	HHW	6.61	6.81	6.87	6.87	6.97	7.04	7.10	6.88	6.59	6.60	6.70
	LHW	3.48	3.68	3.71	3.77	3.94	4.00	4.04	3.93	3.90	3.91	4.03
	HLW	1.67	1.73	1.70	1.67	1.69	1.79	2.02	2.98	3.95	5.05	5.83
	LLW	-0.78	-0.72	-0.84	-0.80	-0.86	-0.51	-0.17	0.53	1.18	1.43	1.48

Door het verhogen van laag- én hoogwaterstanden op de meest opwaartse locaties bij (langdurige en flinke) periode van grote bovendebiten, kan het voorkomen dat de laagwaters alsdan hoger uitkomen dan de jaargemiddelde hoogwaterstanden! In bovenstaande tabel is zulks te merken bij Wetteren en Melle, waar het hoogste **laagwater** (TAW +5.05 resp. 5.83 m) **hoger** kwam dan het jaargemiddelde peil van alle 705 **hoogwaters** samen, nl. TAW +4.90 resp. 4.98 m). De (relatief kortdurende) invloed bij wasregime is in de opwaartse gebieden van het Zeescheldebekken, inderdaad zeer groot: een flinke verhoging van -uiteraard- laagwaterstanden maar -ook!- hoogwaterstanden, en een verkleining van het tijverschil.

Tabel 13 - Rupel en Beneden-Nete:
overzicht per locatie van de hoofdkenmerkende tijwaarden 2009

		Boom	Walem	Duffelsluis	Lier-Molbrug
middeltij	GHW	5.49	5.51	5.54	5.35
	GLW	0.15	0.38	1.22	2.51
	GTV	5.34	5.13	4.32	2.84
springtij	GHW	5.91	5.92	5.93	5.69
	GLW	-0.02	0.31	1.28	2.62
	GTV	5.93	5.61	4.65	3.07
doodtij	GHW	4.95	4.98	5.03	4.91
	GLW	0.39	0.51	1.13	2.38
	GTV	4.56	4.47	3.90	2.53
uiterste waarden	HHW	7.05	7.04	7.05	6.83
	LHW	4.01	4.04	4.11	4.12
	HLW	1.81	2.05	2.71	3.94
	LLW	-0.54	-0.19	0.76	1.89



Figuur 32 - Zeeschelde: algemeen liggingsplan met aanduiding van de beschouwde tijmeetposten

Bovenstaande figuur toont de ligging van de hierna in grafieken nader besproken tijmeetlocaties, als gehandeld wordt over de enige stormvloed die in 2009 in het Zeescheldebekken optrad, en over twee periodes van wasregime (nl. einde januari en half februari 2009).

1.5.2 getijwaarnemingen 2009 in historisch perspectief

Tabellen 14 en 15 geven de gemiddelde hoogwaterstand resp. gemiddelde laagwaterstand over de decennia 1971/1980, 1981/1990 en 1991/2000 evenals over het jaar 2009 zelf, en dat voor de beschouwde locaties langs de Zeeschelde. De tabellen worden aangevuld met het hoogste hoogwater resp. het laagste laagwater ooit (dus sinds 1885).

Analoog gaan tabellen 16 en 17 over de locaties Boom, Walem, Duffelsluis en Lier-Molbrug, dus Rupel en Beneden-Nete.

Er werd hoger al voor de basis-post Antwerpen-Loodsgebouw gesteld dat het tijverloop in 2009 in wezen rustig was t.o.v. dat in voorbije decennia, zeker gelet op slechts één stormvloed. Ook voor de hierna gegeven meetlocaties langs Zeeschelde, Rupel en Nete is dat het geval.

Er moet onderlijnd worden dat het tienjarig gemiddelde over 1991/2000 op zich relatief "laag" is gebleven ondanks bvb. te Antwerpen jaarwaarden van T.A.W. +5.33 m, +5.34, +5.39 (!), +5.36 en nogmaals +5.36 dus toch vijf maal (op tien ...) hoger dan de jaarwaarde over 2009 zijnde T.A.W. (+5.28 m). In het decennium 1991/2000 schommelde het jaargemiddelde hoogwater in de Zeeschelde evenwel (in plus en in min!) flink rond zijn tienjarig gemiddelde, zodat ook vrij lage jaarwaarden voorkwamen, nl. T.A.W. +5.18 m, +5.25, +5.25, +5.22 en +5.26 m, wat het tienjarige gemiddelde uiteindelijk relatief "laag" hield. Het beklemtoont dat jaarwaarden niet zomaar met tienjaarwaarden mogen vergeleken worden, en dat bij gebruik van (één-)jaarwaarden dit over vrij lange periodes moet beschouwd worden en trendmatig behandeld, zie bvb. figuren 22 en 29. Slechts op die wijze kunnen evoluties terdege onderkend worden.

Voor meer opwaarts gelegen meetlocaties mogen overigens ook geen te vroege conclusies getrokken worden gezien het feit of binnen een jaarperiode langdurige en flinke wasperiodes al dan niet, of veelvuldig, zijn opgetreden. In een "nat" jaar zullen aldaar hoog- en laagwaterstanden beduidend verhogen terwijl dat op zich niet van doen heeft met het getij vanuit zee.

Tabel 14 - Zeeschelde: gemiddeld hoogwater 2009 in vergelijking met de tienjarige gemiddelde hoogwaters 1971/1980, 1981/1990 en 1991/2000, alsook de stand van het hoogste hoogwater ooit (dus ook van stormvloed februari 1953) (alle waterstanden zijn in meter T.A.W.)

locaties	Gemiddeld Hoogwater (GHW)				HHW ooit
	1971/1980	1981/1990	1991/2000	2009	
Prosperpolder	4.92	5.03	5.12	5.05	7.76
Liefkenshoek	5.01	5.14	5.19	5.22	7.87
Kallosluis	5.14	5.19	5.26	5.27	7.89
Antwerpen- Loodsgebouw	5.15	5.24	5.29	5.28	7.77
Schelle	5.28	5.39	5.45	5.44	7.60
Temse	5.29	5.44	5.51	5.53	7.54
Sint-Amands	5.32	5.47	5.55	5.56	7.44
Dendermonde	5.05	5.20	5.28	5.24	7.12
Schoonaarde	4.80	5.01	5.07	5.07	6.89
Wetteren	4.56	4.81	4.89	4.90	6.95
Melle	4.56	4.83	4.93	4.98	7.04

Tabel 15 - Zeeschelde: gemiddeld laagwater 2009 in vergelijking met de tienjarige gemiddelde laagwaters 1971/1980, 1981/1990 en 1991/2000, alsook de stand van het laagste laagwater ooit (dus ook van vroegere decennia) (alle waterstanden zijn in meter T.A.W.)

locaties	Gemiddeld Laagwater (GLW)				LLW ooit
	1971/1980	1981/1990	1991/2000	2009	
Prosperpolder	0.07	0.09	0.08	0.04	-1.29
Liefkenshoek	0.08	0.10	0.06	0.08	-1.31
Kallosluis	0.05	0.05	0.01	0.03	-1.35
Antwerpen-Loodsgebouw	0.01	0.05	0.00	0.01	-1.36
Schelle	0.04	0.06	0.03	0.00	-1.30
Temse	0.15	0.14	0.08	0.15	-1.08
Sint-Amands	0.54	0.48	0.44	0.40	-0.60
Dendermonde	1.31	1.24	1.14	1.05	0.04
Schoonaarde	2.03	1.93	1.85	1.70	0.79
Wetteren	2.49	2.42	2.35	2.10	1.23
Melle	2.68	2.69	2.55	2.25	1.30

Eenzelfde besluit geldt voor onderlinge vergelijking van de gemiddelde laagwaters in tabel 15.

Bvb. te Wetteren was in de periode 1991/2000 een laagste jaarwaarde van laagwater op T.A.W. (+ 2.03 m) en een hoogste op (+ 2.56 m), maar waren er ook grote schommelingen van die (één-)jaarwaarden rond het tienjaargemiddelde. Buiten invloed van het tij vanuit de Noordzee, en van kneding door het tijverloop in Westerschelde en Zeeschelde, bestaat te Wetteren en uiteraard nog meer te Melle, een zeer grote invloed van bovendebieten en was-regimes. Van belang daarbij is de gedachte dat stormvloed aanleiding geven tot een verhoging van waterstanden gedurende (slechts) enkele dagen, maar dat was-regimes meer dan een week kunnen duren, en dat hun nasleep op het tijregime in het opwaartse deel van het tijbekken nog flink nagalmt. Op een jaargemiddelde waarde van hoog- of laagwater heeft dat dus in die opwaartse gebieden impact. Gezien 2009 niet is gekenmerkt met uitzonderlijke was-regimes, is het jaargemiddelde laagwater er niet zo door beïnvloed (= verhoogd) geworden.

Gans analoge redeneringen gaan op bij bekijken van de hoog- en laagwatergemiddelden in tabellen 16 en 17 over het tij te Boom, Walem, Duffelsluis en Lier-Molbrug.

Tabel 16 - Rupel en Beneden-Nete: gemiddeld hoogwater 2009 in vergelijking met de tienjarige gemiddelde hoogwaters 1971/1980, 1981/1990 en 1991/2000, alsook de stand van het hoogste hoogwater ooit (dus ook van stormvloed februari 1953) (alle waterstanden zijn in meter T.A.W.)

	Gemiddeld Hoogwater (GHW)				HHW ooit
locaties	1971/1980	1981/1990	1991/2000	2009	
Boom	5.28	5.43	5.48	5.49	7.60
Walem	5.34	5.46	5.52	5.51	7.69
Duffelsluis	5.31	5.50	5.53	5.54	7.45
Lier-Molbrug	5.19	5.33	5.36	5.35	7.10

Tabel 17 - Rupel en Beneden-Nete: gemiddeld laagwater 2009 in vergelijking met de tienjarige gemiddelde laagwaters 1971/1980, 1981/1990 en 1991/2000, alsook de stand van het laagste laagwater ooit (dus ook van vroegere decennia) (alle waterstanden zijn in meter T.A.W.)

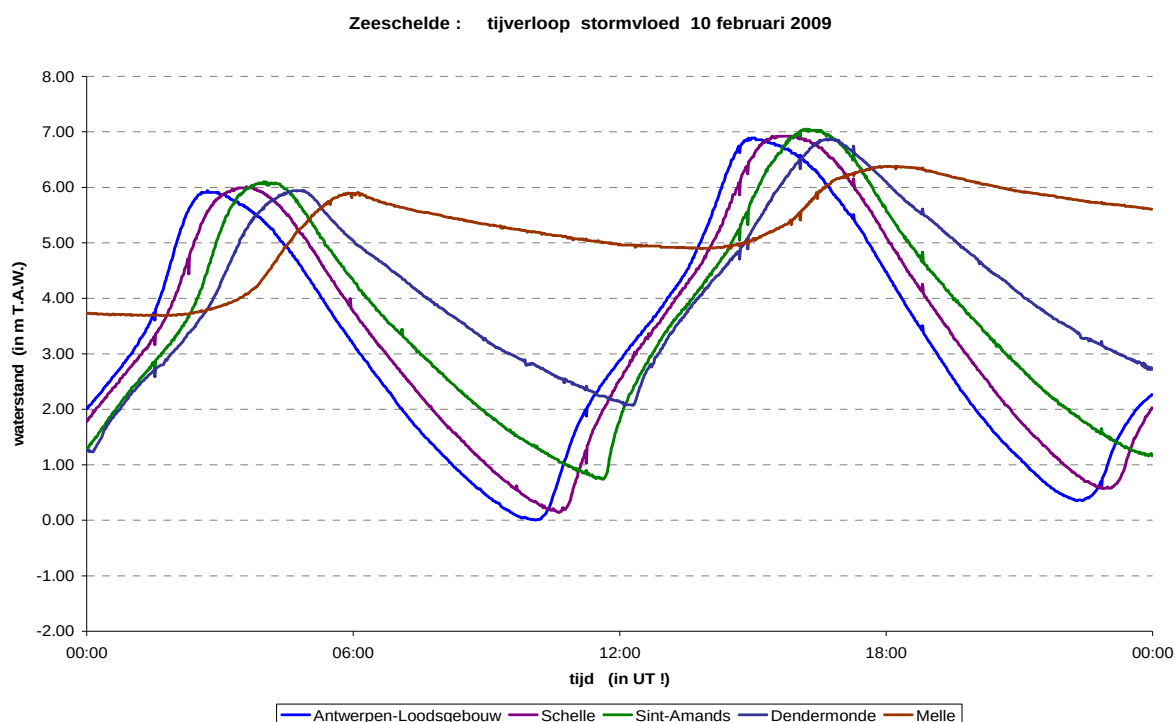
	Gemiddeld Laagwater (GLW)				LLW ooit
locaties	1971/1980	1981/1990	1991/2000	2009	
Boom	0.20	0.20	0.18	0.15	-0.96
Walem	0.52	0.56	0.45	0.38	-0.48
Duffelsluis	1.47	1.41	1.35	1.22	0.57
Lier-Molbrug	2.49	2.67	2.66	2.51	1.75

Algemeen besluit: om evoluties in hoog- en laagwaterstanden te omschrijven dienen in eerste plaats (één-)jaargemiddelde waarden over vrij langdurige perioden grafisch voorgesteld en trendmatig behandeld te worden. Dat maakt onderwerp uit van afzonderlijke rapporten.

1.5.3 opgetreden stormvloed 2009

In 2009 trad in het Zeescheldebekken slechts één enkele stormvloed op, nl. op 10 februari p.m. met een hoogwaterpeil te Antwerpen-Loodsgebouw op T.A.W. (+ 6.87 m). Figuur 31 toont het verloop van het tij op enkele hoofd-locaties langs de Zeeschelde.

Zoals al hoger aangegeven, steeg het waterpeil bij aanvang van vloed zeer sterk. Er was halftij van vloed geen noemenswaardige, bij stormtijden dikwijls voorkomende verzwakking van het stijgen van de waterstand. Op moment van hoogwater te Hansweert heerste er een flink windveld over de Westerschelde, vrij westelijk, hetgeen een extra-verhoging van het stormtijhoogwater te Antwerpen gaf met ongeveer tien à vijftien centimeter. Dat windveld nam op tijdstip van hoogwater te Antwerpen af, en ook omdat de daling na hoogwater te Vlissingen al snel en flink inzette, was er te Antwerpen maar een kort hoogwater. Soms kan het hoogwaterpeil -op enkele centimeter na- tien à dertig minuten aanhouden, wat nu te Antwerpen-Loodsgebouw niet het geval was.



Figuur 33 - Zeeschelde: verloop tij met o.a. stormvloed 10 februari 2009 op enkele hoofdlocaties

Wat in bovenstaande figuur opvalt, is de zeer korte stijging van het tij bij dit stormtij: tussen voorafgaand laagwater en stormhoogwater duurt het maar geen vijf uren (ter herinnering: het meerjaarsgemiddelde bij springtijden is te Antwerpen-Loodsgebouw 05u35min dus een veertigtal minuten langer; veertig minuten op geen vijf uren geeft een verhouding van één achtste kortere duur van de stijging). Dat herhaalt zich ook -en even sterk- op de andere meetlocaties.

Ook vallen de grote tijverschillen op, bvb. 6,84 meter te Antwerpen-Loodsgebouw. Dat is zeer groot zonder evenwel echt recordmatig te zijn. Zeer uitzonderlijk komt immers een tijverschil voor een storm-hoogwater voor van net meer dan zeven meter. Vooral de stormtij-types van zogenaamd type II (met een lagedrukkern die de Belgische en Nederlandse kustlijn van zuidwest naar noordoost afloopt) geven nog geen verhoging van het voorafgaandelijk laagwater, maar een snelle en felle verhoging bij de stijging van het waterpeil naar stormtijhoogwater. De klassieke stormtij-types van type I (met een lagedrukkern die boven noord van de Noordzee van IJsland naar Scandinavië trekt, en gewoonlijk vrij lang hevige noordwesterwinden over de Noordzee genereren) doen het tijverloop al voor het eigenlijke stormtij flink verhogen. Het stormtij van 10 februari 2009 was van het type II.

Zoals uit de tijverlopen kan afgeleid worden (hoogte van de hoogwaters) zijn de GOG's langs de Zeeschelde licht in werking getreden, overigens ook elders in het Zeescheldebekken. De werking van GOG's Scheldebreek en Paardenweide vlakten de eigenlijke hoogwatergolf af, wat duidelijk aan de tijkromme te Melle te zien is: een hoogwatergolf van bijna vijfenveertig minuten lang op ongeveer eenzelfde hoogte, zoals de overloopeilen van die beide GOG's. Er was in de dagen voor en op het stormtij geen grote bovenafvoer vanuit het Gentse (de wasperiode begon eigenlijk net na de stormvloed, puur toeval).

1.5.4 opgetreden wasregimes 2009

In 2009 traden twee beduidende doch evenwel relatief korte was-regimes op de voorgrond, nl. van 23 à 27 januari, en van 10 à 15 februari. Bij beide periodes waren het vooral de bovenafvoeren van Schelde (te Melle), Dender (te Appels) en Dijle (te Haacht) die beduidend groot waren. In beide gevallen ging het om korte maar behoorlijk belangrijke was-regimes, doch niet in de buurt van de zeer uitzonderlijke, met bvb. gevaar op dijschade of overstroming.

1.5.4-a wasregime 23 à 27 januari 2009

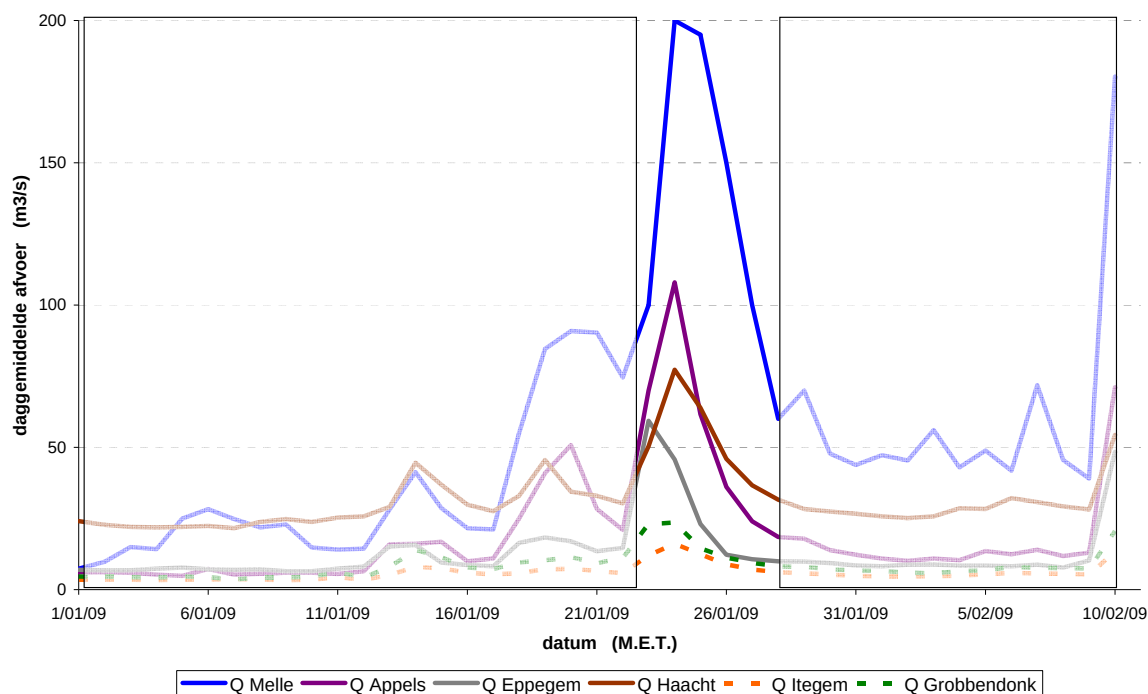
Uiteraard tengevolge van langdurige en hevige neerslag, trad einde januari 2009 een was-regime op aan bijna alle randen van het tijgebied (vanuit het Nete-gebied was het was-regime vrij klein). De ganse was-periode duurde maar kort. Tabel 18 geeft een overzicht over de tweede helft van de maand januari 2009.

Figuur 32 geeft een grafisch overzicht van dat verloop der daggemiddelde bovendebieten aan de randen van het tijgebied van 1 januari t/m 10 februari 2009 (toen een nieuwe was-periode begon). Aan linker- en aan rechterzijde zijn de periodes vlak voor en vlak na het was-regime in rechthoek aangeduid. Duidelijk is dat aan alle meetraaien grote bovendebieten optraden, maar weinig uitgesproken aan Itegem en Grobbendonk, dus bijna geen wasregime vanuit het Netebekken. Vanzelfsprekend moeten al die bovendebieten per locatie geprojecteerd worden aan wat als "groot" bovendebiet in het betrokken opwaarts hydrografisch bekken kan voortkomen, en wat de sectie van de rivier kan "verdragen". Het is duidelijk dat aldus te Melle, Appels, Eppegem en Haacht veel grotere bovendebieten kunnen passeren dan in de Nete's. Ook valt op dat de na-ijling na was-periode voor de Schelde te Melle en de Dijle te Haacht relatief het grootst is en het langst duurt.

Tabel 18 - Zeescheldebekken: overzicht kleinste, grootste en gemiddelde bovendebieten aan de meetraaien gedurende de tweede helft van januari 2009, naar aanleiding van de was-periode van 23 tot 27 januari 2009 (alle debieten zijn in m³/s)

locatie	kleinste daggemiddeld bovendebiet	gemiddeld bovendebiet ganse periode	grootste daggemiddeld bovendebiet	bijzonderheid
Zeeschelde te Melle	21	88	200	gedurende 5 dagen meer dan 100 m ³ /s
Dender te Appels	10	34	108	gedurende 6 dagen meer dan 30 m ³ /s
Zenne te Eppegem	8	18	59	gedurende 2 dagen meer dan 25 m ³ /s
Dijle te Haacht	27	39	77	gedurende 4 dagen meer dan 40 m ³ /s
Grote Nete te Itegem	5	8	16	gedurende 1 dag meer dan 15 m ³ /s
Kleine Nete te Grobbendonk	7	11	24	gedurende 2 dagen meer dan 15 m ³ /s

Zeescheldebekken : wasregime maand januari 2009 - bovendebieten aan de meetraaien van het tijgebied



Figuur 34 - Zeescheldebekken: algemeen verloop van de bovendebieten aan de meetraaien gedurende de was-periode van 23 à 27 januari 2009 (alle bovendebieten zijn in m³/s)

1.5.4-b wasregime 10 à 15 februari 2009

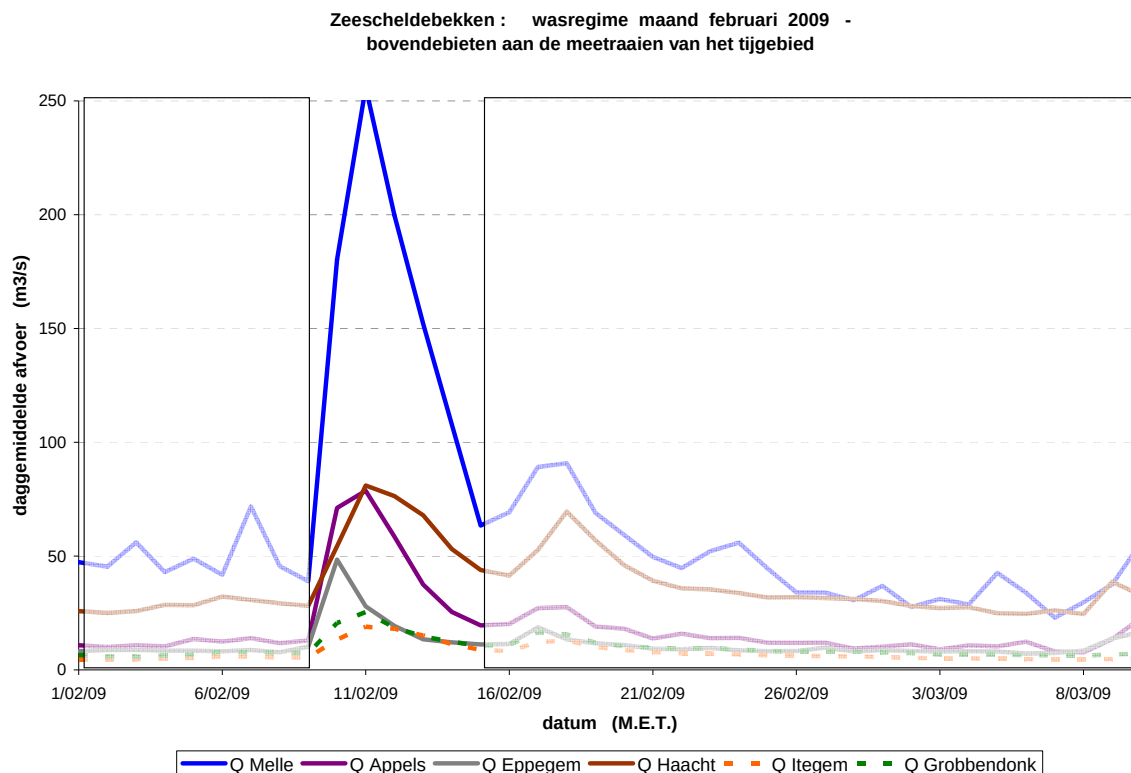
Medio februari 2009 trad ook een -relatief korte- periode van beduidend grote bovenafvoer op. De navolgende tabel geeft een overzicht over de periode 1 t/m 20 februari.

Tabel 19 - Zeescheldebekken: overzicht kleinste, grootste en gemiddelde bovendebieten aan de meetraaien gedurende de twee eerste decades van februari 2009, naar aanleiding van de was-periode van 10 tot 15 februari 2009 (alle debieten zijn in m³/s)

locatie	kleinste daggemiddeld bovendebiet	gemiddeld bovendebiet ganse periode	grootste daggemiddeld bovendebiet	bijzonderheid
Zeeschelde te Melle	39	89	256	gedurende 5 dagen meer dan 100 m ³ /s
Dender te Appels	10	26	79	gedurende 4 dagen meer dan 30 m ³ /s
Zenne te Eppegem	8	14	49	gedurende 2 dagen meer dan 25 m ³ /s
Dijle te Haacht	25	45	81	gedurende 11 dagen meer dan 40 m ⁴ /s
Grote Nete te Itegem	5	9	19	gedurende 3 dagen meer dan 15 m ³ /s
Kleine Nete te Grobbendonk	6	12	25	gedurende 3 dagen meer dan 15 m ³ /s

Figuur 35 geeft er een grafisch overzicht van: het verloop der daggemiddelde bovendebieten aan de randen van het tijgebied. Ook hier zijn aan linker- en aan rechterzijde de periodes vlak voor en vlak na het was-regime in een rechthoek aangeduid. Duidelijk is dat aan de meetraai te Melle een zeer groot bovendebiet optrad, en aan de meetraaien te Appels, Eppegem en Haacht grote bovendebieten. Te Itegem en Grobbendonk bleven de debieten gewoon. Ook hier moeten al die bovendebieten per locatie geprojecteerd worden aan wat als zeer groot, groot of normaal bovendebiet in het betrokken opwaarts hydrografisch bekken, en doorheen de dwarssectie, kan voorkomen. De debieten die in de laatste kolom van tabellen 18 en 19 als referentie gebruikt werden ("zoveel dagen een bovenafvoer groter dan een bepaalde waarde") zijn daarmee bepaald geworden. Ook hier was de na-ijling na de was-periode voor de Dijle te Haacht het grootst en het langst.

Voor de andere randen van het tijgebied valt de zeer korte duur van de grote bovenafvoeren in het oog.



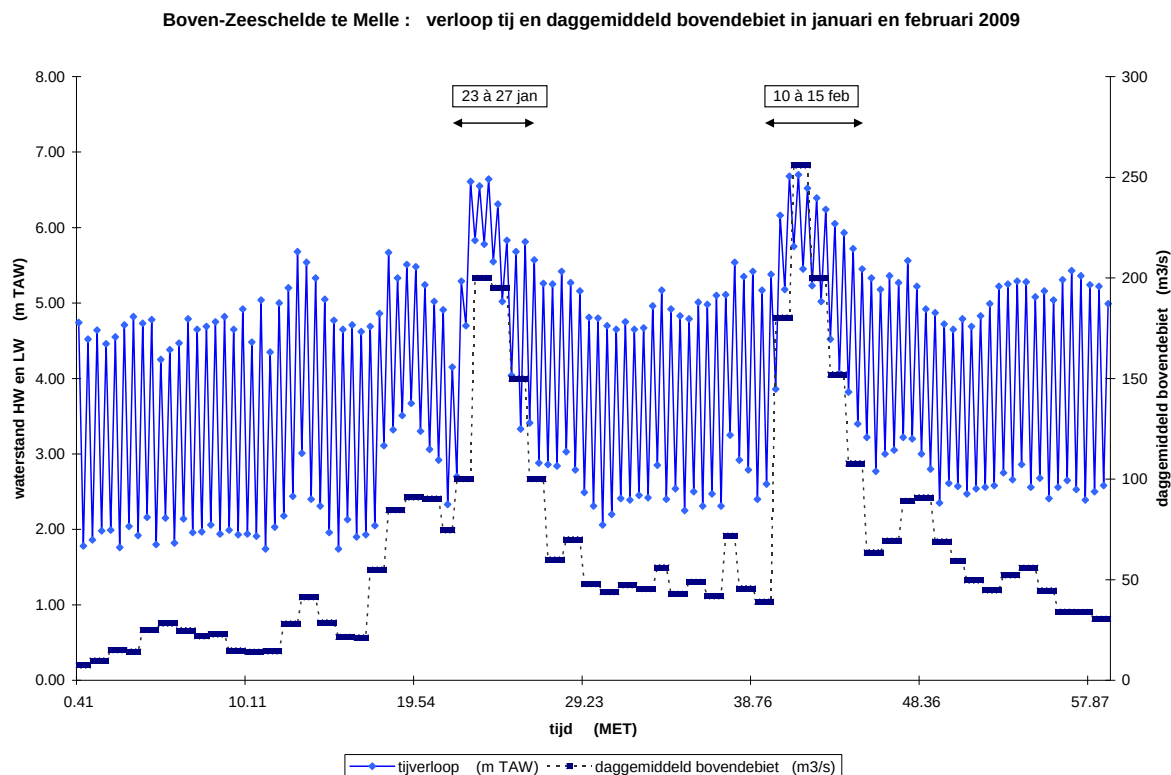
Figuur 35 - Zeescheldebekken: algemeen verloop van de bovendebieten aan de meetraaien gedurende de was-periode van februari 2009 (alle bovendebieten zijn in m³/s)

1.5.4-c en beide wasregime tezamen genomen : invloed op het getij

Uiteraard hebben was-periodes een flinke impact op de waterstand, ook op het getij van de Schelde te Melle. In eerste plaats worden daar de laagwaterstanden snel en flink verhoogd, waarna een stijging van ook de hoogwaterstanden wordt ingezet.

De stijging van de opeenvolgende hoogwaters is evenwel kleiner tot veel kleiner dan de stijging van de tussenin gelegen laagwaterstanden. Hoe veel en hoe beide stijgingen tot elkaar verhouden, is kleinendeels functie van de getijndringing in de Zeeschelde, tenzij het ook nog om een stormtij zou gaan, en grotendeels functie van grootte en duur van de grote tot zeer grote bovenafvoer. In de wasperiodes van einde januari en half februari 2009 ging het om korte was-regimes, waarbij de daggemiddelde afvoer te Melle in januari ging tot 200 m³/s en in februari tot 255 m³/s.

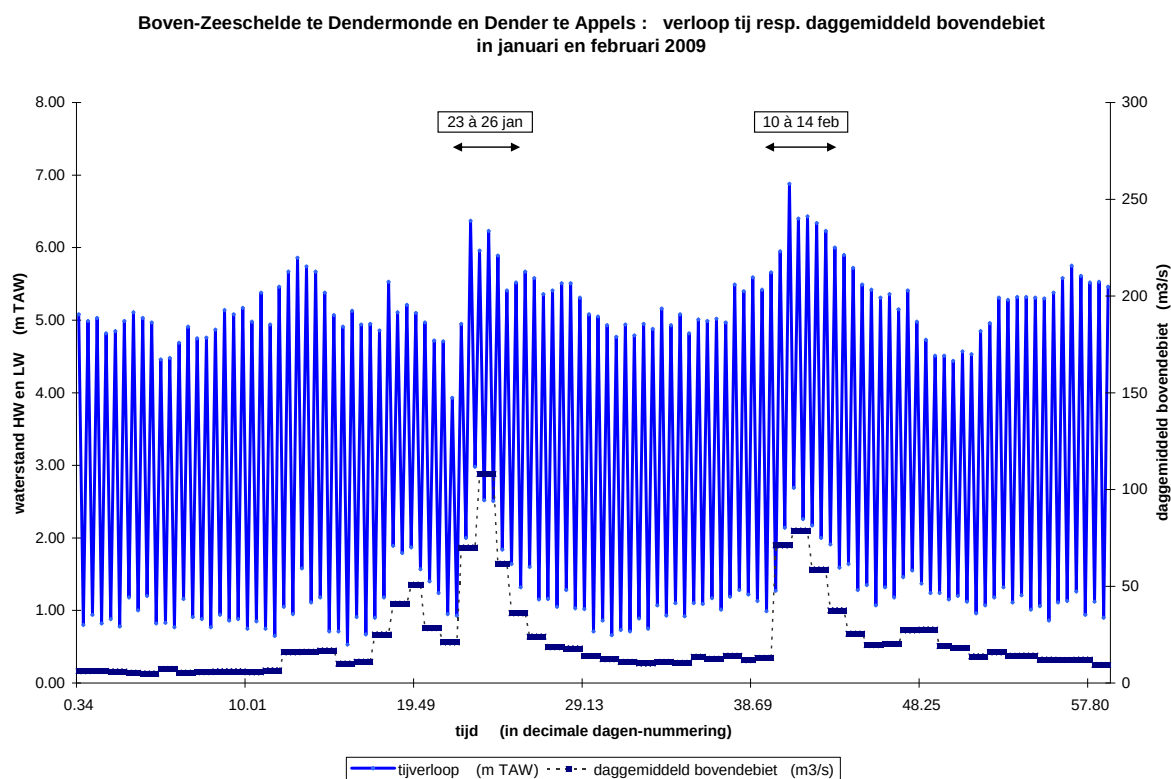
De invloed op het getij wordt getoond in navolgende figuur: in de periode januari en februari 2009 wordt het getij te Melle en het daggemiddeld bovendebiet te Melle in één grafiek aangegeven. Het handelt twee maal om een klassiek verloop: een snelle vergroting van het bovendebiet met een snelle stijging van het getij, gevolgd door een langer durende vermindering van het bovendebiet en een nog iets langer durende verlaging van het getij.



Figuur 36 - Boven-Zeeschelde te Melle:
verloop van tij en bovendebiet gedurende de was-periodes van januari en februari 2009
(het tij is in meter T.A.W., de bovendebieten zijn in m³/s)

Typisch is ook het danig verkleinen van het getijverschil bij was. Daar waar het te Melle gemiddeld handelt om een getijverschil van 2,40 meter, met normaliter iets meer bij springtij en iets minder bij doortijden, vermindert het getijverschil in de wasperiode tot rond en om één meter.

Dergelijke fenomenen zijn er ook in de Schelde te Dendermonde. Er is daar een nog behoorlijke invloed van de afvoer vanuit Bovenschelde en Leie naar Zeeschelde te Melle, uiteraard al flink afgezwakt t.o.v. de invloed te Melle zelf. Te Dendermonde treedt evenwel de Dender in de Zeeschelde, en de afvoer van die Dender heeft wél een grote invloed op het getij in de Zeeschelde. De volgende grafiek toont het verloop in de maanden januari en februari 2009 van enerzijds het tij te Dendermonde en anderzijds de afvoer vanuit de Dender te Appels. De periodes van verhoogde en grote afvoer uit de Dender zijn duidelijk in het verloop van het getij af te lezen, en net zoals te Melle, snel en flink in een verhoging van de laagwaterstanden, gevolgd door een toch behoorlijke verhoging van de hoogwaters. Ook het typische verloop van snelle stijging bij was tegen langzame daling na was, is duidelijk te zien.



Figuur 37 - Boven-Zeeschelde te Dendermonde en Dender te Appels: verloop van tij resp. bovendebiet gedurende de was-periodes van januari en februari 2009 (het tij is in meter T.A.W., de bovendebieten zijn in m³/s)

Maar ook aan alle andere randen van het tijgebied is het fenomeen hetzelfde: een verhoging van de waterstand, het verkleinen van het hoogteverschil van het schijngetij (te Haacht, Itegem en Grobbendonk, zie verder in dit rapport onder "Jaaroverzicht 2009 bovendebieten Zeescheldebekken") en het sneller optreden van die invloed bij opkomen van de was dan na passage: de invloed deint langzaam uit.

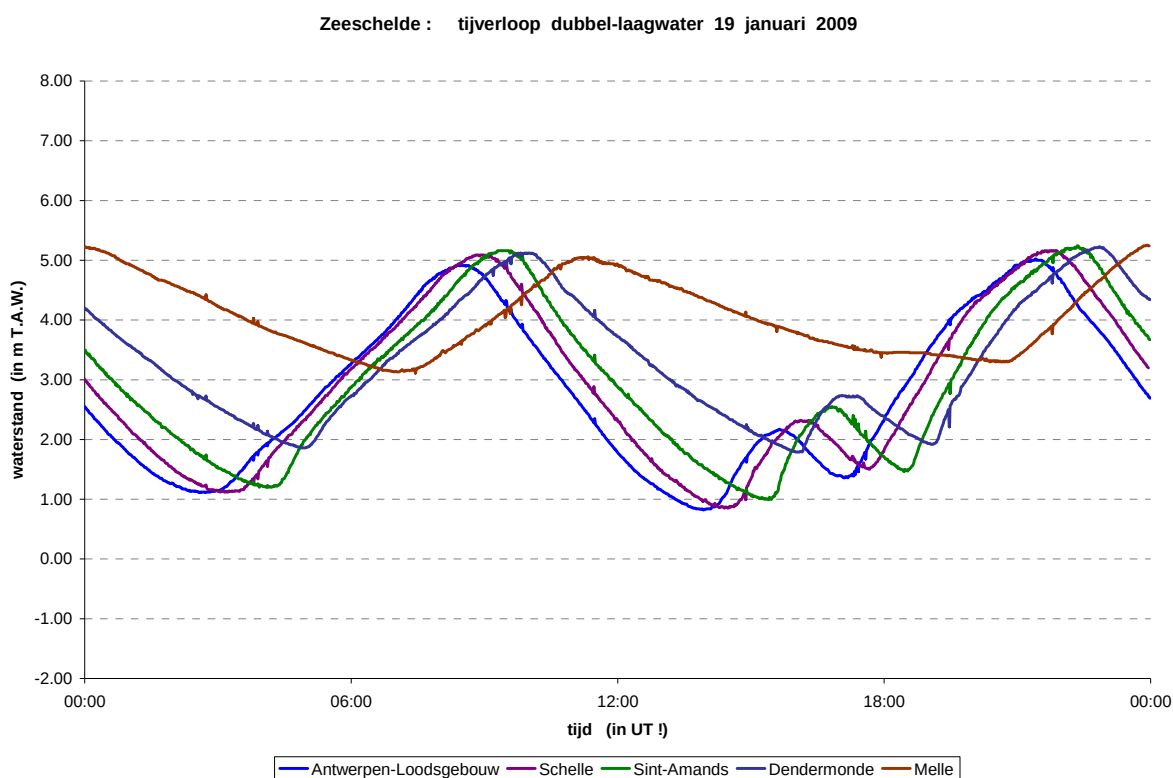
1.5.5 opgetreden speciale tijen 2009

Onder punt 1.4.4 werd voor de basis-meetpost Antwerpen-Loodsgebouw al uitvoerig het tij van 19 januari 2009, met een dubbel laagwater (een "agger"), aangegeven. Uiteraard zette deze "agger" zich tot ver opwaarts voort, want het bovendebiet was in die periode behoorlijk doch niet zeer groot (nl. 50 à 90 m³/s te Melle), en heeft het wel te Melle doch niet afwaarts van Wetteren, een vermindering van de "agger" kunnen bewerkstelligen.

In bijna het ganse Zeescheldebekken was de karakteristiek van een dubbel laagwater een opvallend feit. Dergelijk fenomeen komt om vier à vijf jaar voor.

Figuur 38 geeft het tijverloop in de Zeeschelde voor enkele hoofdposten weer. Overall is het voorafgaand ebverloop op zich een normaal verloop, met een dubbel laagwater waarvan het hoogteverschil tussen die laagwaterstanden zich tot Temse nog vergroot (tot 0,70 m), om opwaarts Sint-Amands door de danig grotere wrijving van de bedding, zegge vooral verhoging van het bodempeil, uit te deinen. Te Melle is enkel een uitgesponnen laagwatergolf te zien: drie uren lang een daling van slechts vijftien centimeter ...

Voor verdere gegevens kan verwezen worden naar punt 1.4.4 van dit rapport.



Figuur 38 - Zeeschelde: verloop van het dubbel-laagwater op 19 januari 2009

2 Jaaroverzicht 2009 bovendebieten Zeescheldebekken

2.1 overzicht meetlocaties van bovendebieten aan de randen van het tijgebied

Sedert 1947 (met publicaties vanaf 1949) worden door (wat nu noemt) Hydrometrie-Schelde waarnemingen en metingen verricht om de bovenaanvoer uit de opwaarts het tijgebied gelegen hydrografische bekken te bepalen.

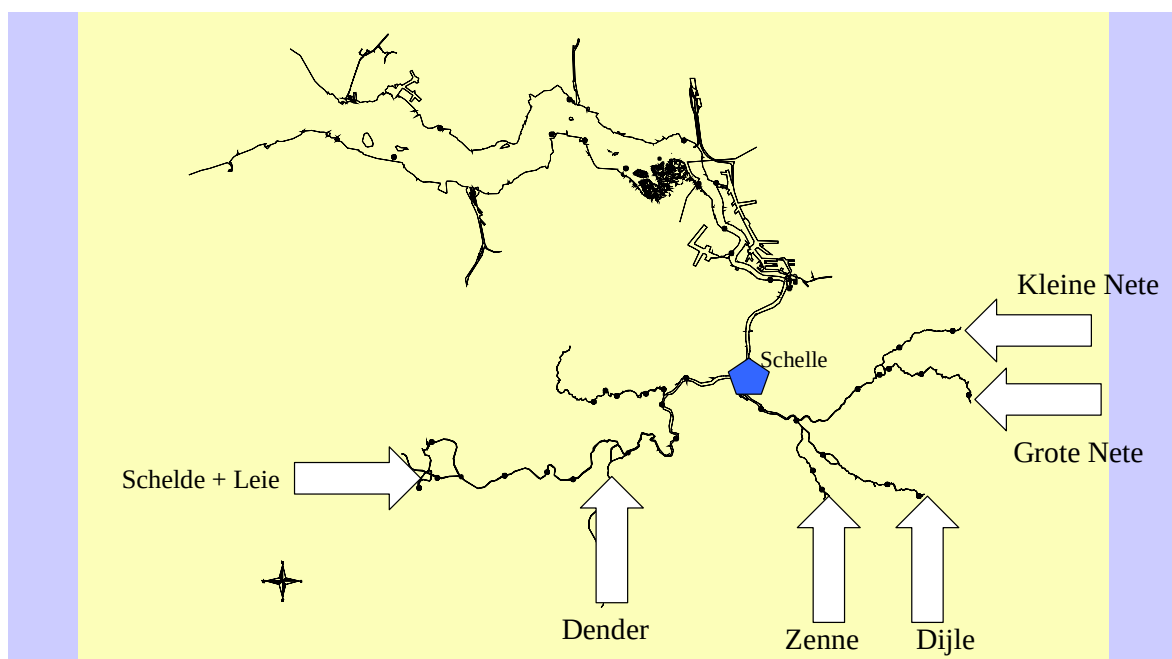
Bovendien wordt dan volgens tot nu toe eenzelfde methode, de aan de randen van het tijgebied bepaalde bovenafvoer naar afwaarts doorgerekend, eerstens naar de uitmonding van de betrokken tijrivier in andere, tweedes alle bovenafvoeren samen naar de Schelde te Schelle, om aldaar de bovenafvoer te bepalen van de Zeeschelde opwaarts de Rupelmonding plus de bovenafvoer van het aldaar uitmondende, gehele Rupelbekken.

Aan de randen van het tijgebied wordt het getij tegengehouden door sluizen en stuwen zoals op de Boven-Zeeschelde te Gentbrugge, en vanaf 1969 op de Tijarm-Ringvaart om Gent te Merelbeke en te Zwijnaarde, en op de Dender te Dendermonde en vanaf 1978 (via de "nieuwe" Dender doorheen de Sint-Onolfspolder) te Appels. In tegenstelling met zulk tegenhouden aan sluizen en stuwen, alwaar telkens nog behoorlijk wat getij is, deint het getij uit op de andere rivieren van het Zeescheldebekken: in de Kleine Nete te Grobbendonk (meerbepaald het "Derde Sas", afwaarts het Albertkanaal), de Grote Nete te Itegem, de Boven-Dijle te Haacht, en de Zenne te Eppegem. Het getij ontmoet daar in die mate de aanvoer van bovenwater uit het opwaarts gelegen hydrografische bekken, of de rivierbedding verhoogt stelselmatig dat "hoog"-waterstanden daar niet meer vanuit het getij kunnen bereikt worden, dat het semi-maritieme karakter overgaat in een zuiver fluviatiel karakter. Naar tij-terminologie wordt ook van een "schijntij" gesproken, met name: er kan nog wel een tijverschil aanwezig zijn want op tij-regelmatige tijdstippen komen "hoogwaters" en "laagwaters" afwisselend voor, net zoals op de afwaarts ervan gelegen plaats waar nog wel echt getij heerst, maar in de regel is er altijd eb doch nooit vloed, dus stroomt het water steeds naar afwaarts.

De waarnemingen en metingen van de aanvoer van bovendebiet uit de opwaarts gelegen hydrografische gebieden, gebeurt de jongste jaren als volgt:

- Boven-Zeeschelde te Melle: geldt voor alle afvoer vanuit Bovenschelde, Leie en Ringvaart om Gent, meet via een akoestische debietmeter om elke tien minuten het ogenblikkelijk debiet, bepaalt het verschil van alle eb- minus vloed-volumes per etmaal, en resulteert in de daggemiddelde afvoer van de Schelde "te Gent" (benaming is dus ruim op te vatten);
- Dender te Dendermonde (Appels): geldt voor alle afvoer van de Dender naar de Zeeschelde, meet via een akoestische debietmeter om elke tien minuten het ogenblikkelijk debiet, bepaalt het verschil van alle afvoer naar afwaarts minus uitzonderlijke terugvoer bij zeer hoge waterstand in de Zeeschelde, en resulteert in daggemiddelde afvoer van de Dender;
- Zenne te Eppegem: geldt voor alle afvoer van de Zenne naar Eppegem, inclusief overvloed van het Zeekanaal Brussel-Schelde, met debietsbepaling uit de Q/h-relatie;

- Boven-Dijle te Haacht: geldt voor alle afvoer van het opwaarts Haacht gelegen Dijle-gebied, inclusief het Demerbekken; met debietsbepaling uit de Q/h -relatie;
- Grote-Nete te Itegem, geldt voor alle afvoer van het opwaarts Itegem gelegen gebied van de Grote Nete, met debietsbepaling uit de Q/h -relatie;
- en Kleine-Nete te Grobbendonk, meerbepaald aan het "Derde Sas" (afwaarts van het Albertkanaal), geldt voor alle afvoer van het opwaarts het Albertkanaal gelegen gebied van de Kleine Nete, met debietsbepaling uit de Q/h -relatie.



Figuur 39 - ligging van de meetplaatsen van de bovenafvoer aan de randen van het tijgebied, en aanduiding van de locatie "Schelde te Schelle" tot waar "de globale bovenafvoer" naar de zgde Beneden-Zeeschelde wordt doorgerekend

Behoudens de meetplaatsen uitgerust met een akoestische debietmeter, worden debieten meestal bepaald uit de -locatie per locatie geldende- correlatie tussen de waterstand en het debiet. Dergelijke Q/h -relatie wordt ook door de seizoenen beïnvloed, en dit in afgelopen decennia steeds meer, wegens de aanwezigheid van plantengroei in de rivierbedding. Dat maakt dat bij eenzelfde waterstand in zomerse omstandigheden, het debiet beduidend kleiner is dan bij eenzelfde waterstand in winterse tijden, gewoon omdat de plantengroei een grote weerstand op de waterstroming uitoefent. De Q/h -relaties houden daarmee rekening: er zijn zuivere winter- en zuivere zomer-krommen, met overgangsrelaties tussen beide.

Maar op de meetlocaties aan de rand van het getijgebied, heerst zoals hoger aangegeven, een "schijntij" d.w.z. heerst er weliswaar steeds "eb" dus een naar afwaarts gezinde stroming, doch kan het waterpeil zuiver met het afwaarts nog ten volle geldende getij schommelen, met een schijnbaar hoogwater bij afwaarts écht hoogwater (wegens cumulatie van water aan de rand van het tijgebied) en een schijnbaar laagwater bij afwaarts echt laagwater (wegens sterkere afstroming dus verlaging waterpeil gezien groter verval naar afwaarts). De waterstand "h" uit bovenstaande Q/h -relaties is dan ook de verbindingslijn van de opeenvolgende "schijn-laagwaters".

Dit schijngetij is relatief belangrijk. Het is wisselend al naargelang periodes van kleine tot gemiddelde afvoer tegen periodes van grote afvoer of wasregimes, en het kan variëren al naargelang de plantengroei grote weerstand op stroming en afvoer uitoefent. Gemiddeld begroot dit schijngetij zich op volgende "schijnbare getij"-verschillen:

- Dijle te Haacht: bij doottij 10 à 20 cm
 bij springtij 20 à 80 cm
 bij stormtij 70 à 90 cm
 doch verdwijnt bij wasregimes
- Grote Nete te Itegem bij doottij 0 à 20 cm
 bij springtij 0 à 40 cm
 doch 's zomers beperkt tot tiental cm
 en geen schijngetij aanwezig bij wasregimes
- Kleine Nete te Grobbendonk (Derde Sas) bij doottij 20 à 40 cm
 bij springtij 30 à 60 cm
 bij stormtij tot 110 cm
 doch verdwijnt bij wasregimes
- Zenne te Eppegem hier is er alleen een klein schijngetij aanwezig bij stormtij.

Aldus zijn er per tijrivier volgende meetlocaties om de bovenafvoer naar het tijgebied te bepalen:

- Zeeschelde te Melle
- Dender te Appels
- Zenne te Eppegem
- Dijle te Haacht
- Grote Nete te Itegem
- en Kleine Nete te Grobbendonk

Er wordt geen bovendebiet gemeten of onrechtstreeks bepaald voor de Durme. Het Durme-bekken, voor zover afwatering geschiedt naar de tij-Durme, wordt wel als een zijbekken in rekening gebracht bij de doorrekening van de bovenafvoeren naar de "Schelde te Schelle".



Figuur 40 - Boven-Zeeschelde te Melle:
foto van de meetinstallatie van de tijmeetpost en van de akoestische debietsmeter

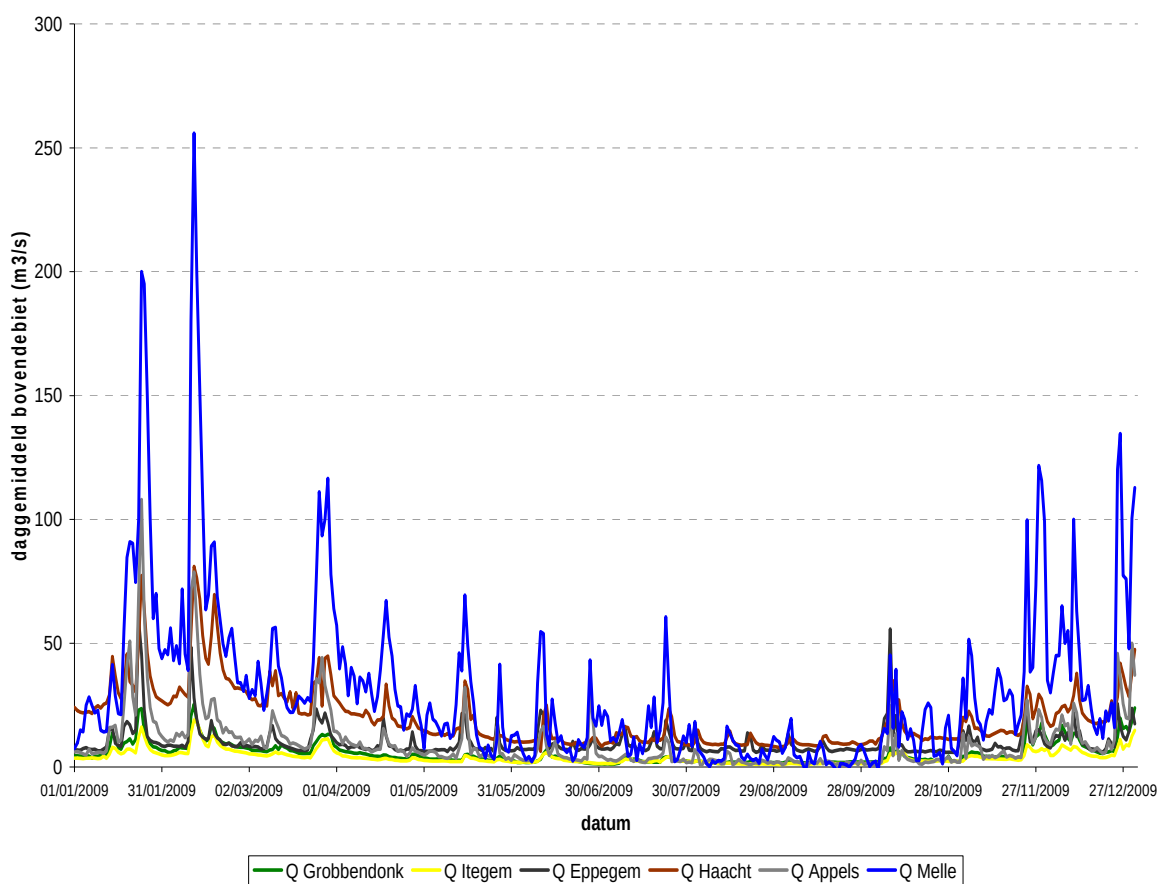
2.2 overzicht 2009 bovendebieten aan de randen van het tijgebied

2.2.1 globaal overzicht 2009

De volgende figuur toont de chronologische opeenvolging van de daggemiddelde bovendebieten aan de randen van het tijgebied van het Zeescheldebekken over het jaar 2009. Uiteraard is er een grote variabiliteit in deze bovendebieten, enerzijds door invloed van de neerslag in het hydrografisch bekken, anderzijds door invloeden van waterverdeling van Bovenschelde en Leie, van indringing in de ondergrond, en van evapotranspiratie.

Zoals bekend brengen Bovenschelde en Leie veruit en meestal het meest van alle randlocaties van het tijgebied, bovendebiet naar het Zeescheldebekken. Pas bij zeer kleine bovendebieten te Melle, brengt de Dijle te Haacht iets meer bovendebiet naar het tijgebied. De Kleine en de Grote Nete brengen resp. te Grobbendonk en Itegem het minst bovendebiet aan, de Grote Nete zelfs en ondanks haar naam, iets minder dan de Kleine Nete. Dit is niet enkel het geval aan de respectievelijke meetlocaties, doch ook voor wat de totale aanvoer van deze beide deelbekkens betreft.

Zeescheldebekken: daggemiddelde afvoer aan de randen van het tijgebied - jaar 2009



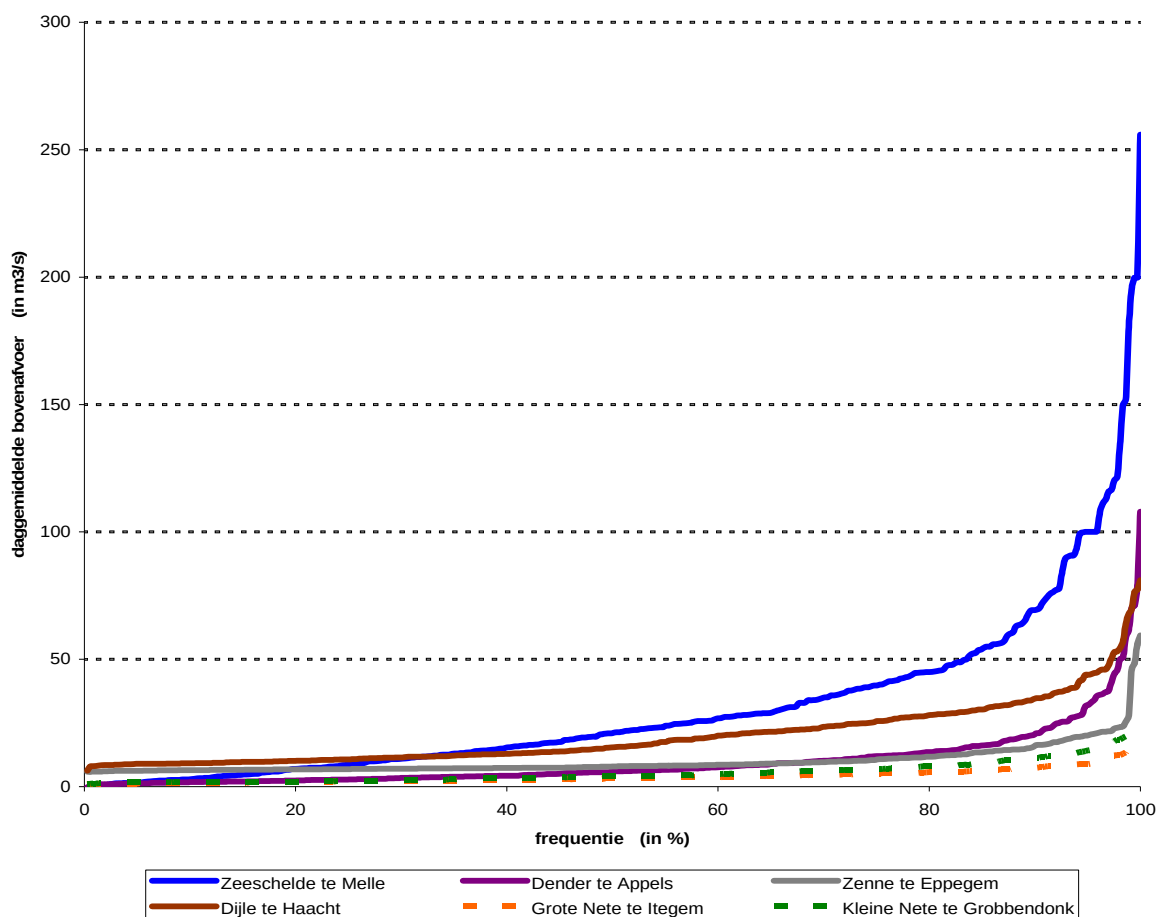
Figuur 41 - Zeescheldebekken: daggemiddeld bovendebiet aan de meetraaien aan de randen van het tijgebied over het ganse jaar 2009

Er zijn duidelijk enkele grote (geclusterde) periodes van vrij grote bovendebieten te zien: op einde januari en in half februari 2009 het meest uitgesproken. In de overige maanden zijn er nog verscheidene andere dagen met alsdan relatief grote bovenafvoeren, doch die zowel qua grootte als qua duurtijd veel minder zijn t.a.v. de beide eerstvernoemde.

Ook de aanhoudend zeer kleine bovenafvoer in augustus en september 2009, gevolgd door analoge perioden in oktober en november 2009, onderbroken door slechts een korte periode van matige bovendebieten, springt in het oog. Dat zal (zie later in dit rapport) recordmatige gevolgen hebben voor saliniteit en suspensiegehalte in de Beneden-Zeeschelde.

Naar opeenvolging van grootte van de daggemiddelde bovendebieten 2009 aan de meetlocaties aan de randen van het tijgebied, toont de volgende figuur de frequentielijnen van voorkomen van een bepaald bovendebiet per meetlocatie.

**Zeescheldebekken : frequentieverdeling van de bovenafvoer 2009
aan de randen van het tijgebied**



**Figuur 42 - Zeescheldebekken: sortering naar grootte van de daggemiddelde bovendebieten
aan de meettraaien, over het ganse jaar 2009**

Deze frequentiegrafiek toont bekende lijnen van klassering naar grootte van de bovendeblaten. Zo zijn er in 2009 te Appels (Dender), Eppegem (Zenne), Itegem (Grote Nete) en Grobbendonk (Kleine Nete) gedurende ongeveer 90% van de tijd, kleine en gemiddelde bovendeblaten; slechts in bijna 10% van de tijd komen grote bovendeblaten voor en in enkel 1% zeer grote bovendeblaten. Bij de meetraaien te Haacht (Dijle) en Melle (Schelde) duren de kleine en gemiddelde dagelijkse bovendeblaten doorheen het jaar 2009 ongeveer 80% resp. 70% van de tijd, en komen er in verhouding tot de andere randen van het tijgebied, meer dagen van grote tot zeer grote bovendeblaten voor.

De frequentiegrafieken tonen ook duidelijk dat de Dijle (te Haacht, doch evenzeer over haar ganse lengte) een behoorlijke basis-afvoer kent. Vanuit het Demerbekken en het Boven-Dijlebekken, met veel heuvelende leemstreken, komt inderdaad een opmerkelijke basisaanvoer. Dit is evenwel als een absoluut en geen relatief gegeven te aanzien. De specifieke basis-afvoer ($m^3/s.ha$) te Haacht is inderdaad kleiner dan aan de meetlocaties Eppegem en Grobbendonk, doch is wel groter dan deze te Itegem. Het heeft te maken met de ligging van de meetpost waar de bovenafvoer naar het Zeescheldebekken wordt bepaald, of beter: tot waar de invloed van het tij in het bekken reikt. Het Dijle-bekken opwaarts Haacht is immers anderhalf maal groter dan de som van de bekkens opwaarts Eppegem, Itegem en Grobbendonk, waardoor in absolute termen de basisafvoer te Haacht groot blijkt. Dit wordt hier voor het kalenderjaar 2009 getoond, maar geldt ook voor andere jaren. De grootte van de basisafvoer zelf kan uiteraard licht van jaar tot jaar verschillen.

De frequentietabel toont ook duidelijk een in ruim publiek wat onbekende zaak: de dagelijkse bovenafvoer van de Schelde te Melle is in 2009 ruim 20% van de tijd kleiner dan deze van de Dijle te Haacht of de Zenne te Eppegem. In bijna 5% van de tijd was het in 2009 op de Kleine en Grote Nete zelfs zo dat er een groter bovendeblat was dan te Melle. De reden is duidelijk: daar waar alle andere rivieren naar het tijbekken toe, nog een natuurlijke afvloeiing kennen (alle af te voeren water wordt inderdaad door de eigen rivier afgevoerd) is dat met de afvoer van Bovenschelde en Leie naar en om Gent niet het geval. Gedurende weken is de bovenafvoer zo klein, dat bijna alle bovenwater wordt afgeleid ter spijzing van de Vlaamse kanalen, zoals het Afleidingskanaal van de Leie, het kanaal Gent-Brugge-Oostende, de Gentse binnenwateren, en het Zeekanaal Gent-Terneuzen. Voor de Zeeschelde rest dan niets meer, tenzij lekverlies aan de stuwen van Zwijnaarde en Merelbeke, en versassingswater van de sluizen te Merelbeke. Dat is op die dagen dan een kleinere bovenafvoer dan aan de Kleine Nete te Grobbendonk of de Grote Nete te Itegem, om maar de kleinste afvoerrivieren te noemen. Op enkele dagen (bvb. een vijftal per jaar) is het daggemiddeld overschotdeblat van vloed en eb te Melle zelfs negatief: er gaat iets meer vloedwater naar opwaarts dan ebwater andersom. Het handelt dan wel om zeer kleine waarden aan bovendeblaten.

In de frequentiegrafieken maar beter in navolgende tabel, valt op dat het bovendeblat van de gekanaliseerde rivieren (Bovenschelde en Leie naar het Gentse, dus hier de meetraai in de Boven-Zeeschelde te Melle, alsook de Dender, met hier de meetraai te Appels) gedurende dagen eigenlijk "nul" (of te verwaarlozen) is, of alleszins zeer klein. Te Melle speelt hierin ook de grootte van het getijverschil van LW naar HW overdag tegen dat van (voor- of navolgend) HW naar LW overdag, een rol.

In volgende tabel zijn, voor het jaar 2009, het gemiddelde van alle daggemiddelde bovendeblaten aan de meetraaien aan de rand van het tijgebied gegeven, evenals het grootste en het kleinste daggemiddelde van 2009.

Tabel 20 - Zeescheldebekken: hoofdkenmerkende waarden van de daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien, jaar 2009 (alle bovendebieten zijn in m³/s)

meetlocatie	jaargemiddeld bovendebiet	grootste daggemiddelde bovendebiet	kleinste daggemiddelde bovendebiet
Boven-Zeeschelde te Melle	30,9	255,9	-2,4
Dender te Appels	9,8	108,0	-0,2
Zenne te Eppegem	10,0	59,3	5,8
Dijle te Haacht	19,8	81,0	6,3
Grote Nete te Itegem	4,0	19,0	1,0
Kleine Nete te Grobbendonk (Derde Sas)	5,4	25,4	1,1

Van al die meetlocaties aan de rand van het tijgebied, brengt deze te Melle doorgaans het grootste bovendebiet naar het Zeescheldebekken: in 2009 was dat in 60% van de dagen. Tweede belangrijkste is de aanvoer vanuit de Dijle te Haacht: in 2009 tijdens 30% van de tijd de grootste aanbrengrer, gedurende rest van de tijd de tweede grootste.

Er moet steeds bedacht worden dat de bovenafvoer van de rivieren naar het tijbekken, een grote variabiliteit doorheen de seizoenen kent, des te meer voor wat de Zeeschelde te Melle betreft. Bovendien geldt de variabiliteit van het (hydrologische en kalender-)jaar: 2009 was een relatief "droog" jaar, met een jaarafvoer dat in tweederde van de jaren wordt overtroffen.

De daggemiddelde bovendebieten aan de randen van het tijgebied, worden volgens de klassieke behandelingswijze (zgde methode ir. R. Codde, sinds 1949) in eerste instantie omgezet naar tiendaagse gemiddelden, nl. naar de drie decades van elke kalendermaand, zesendertig waarden per kalenderjaar. Vanuit deze decade-waarden worden nadien bovendebieten per decade bepaald aan de monding van deze bijrivieren, en uiteindelijk -bij de methode ir. R. Codde zonder tijdsvertraging- doorgerekend naar de "Schelde te Schelle", om zo een idee te vormen van de zgde zoetwaterafvoer van het ganse Scheldebekken naar de afwaartse Beneden-Zeeschelde.

De decade- en maand-gemiddelden voor de meetlocaties aan de randen van het tijgebied zijn in navolgende tabel 21 samengebracht.

Tabel 21 - Zeescheldebekken: bovendebieten aan de meetraaien - 2009
tiendaagse en maandelijkse gemiddelde waarden (alle debieten zijn in m3/s)

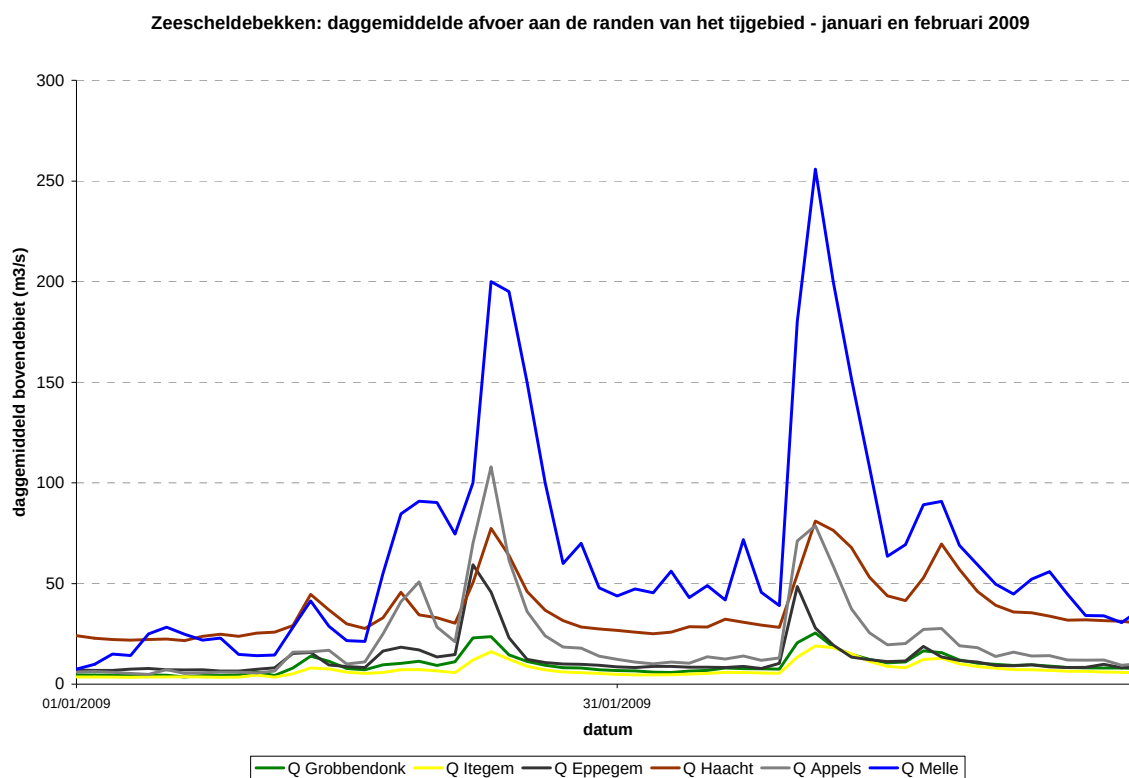
Overzicht van het tiendaags- en maandgemiddelde debiet (m3/s) aan de meetraaien in jaar 2009						
	Schelde te Melle	Dender te Appels	Zenne te Eppegem	Dijle te Haacht	Grote Nete te Itegem	Kleine Nete te Grobbendonk
JANUARI						
Decade 1	18.4	5.9	7.0	22.9	3.6	4.4
Decade 2	40.0	19.9	12.5	33.2	6.0	9.0
Decade 3	102.9	37.4	19.7	41.1	8.3	12.0
Maand	55.3	21.6	13.3	32.7	6.0	8.6
FEBRUARI						
Decade 1	61.9	17.8	12.6	30.9	6.0	8.3
Decade 2	115.7	33.2	15.0	58.9	12.4	14.7
Decade 3	43.2	12.9	8.9	33.9	6.7	8.8
Maand	75.8	21.9	12.4	41.7	8.5	10.7
MAART						
Decade 1	34.7	11.6	9.5	28.5	5.0	6.8
Decade 2	31.1	11.6	8.3	27.9	4.9	7.1
Decade 3	69.3	22.9	14.9	32.3	7.4	9.8
Maand	45.8	15.6	11.0	29.7	5.8	8.0
APRIL						
Decade 1	38.9	10.3	8.4	22.8	4.3	6.2
Decade 2	40.5	8.8	9.3	21.6	3.2	4.5
Decade 3	23.2	6.3	7.7	16.8	2.9	4.0
Maand	34.2	8.5	8.5	20.4	3.5	4.9
MEI						
Decade 1	16.7	4.9	6.7	13.5	2.5	3.3
Decade 2	32.3	9.9	11.1	19.2	3.1	3.7
Decade 3	11.1	5.4	8.4	11.9	2.5	3.1
Maand	19.7	6.7	8.7	14.7	2.7	3.3
JUNI						
Decade 1	14.4	4.9	9.5	9.9	2.1	2.1
Decade 2	16.4	6.7	9.6	13.5	3.8	4.3
Decade 3	15.0	7.9	8.3	10.0	1.9	1.8
Maand	15.3	6.5	9.1	11.1	2.6	2.7
JULI						
Decade 1	14.2	3.6	9.4	12.0	1.9	2.0
Decade 2	12.5	2.9	8.6	11.2	2.4	2.4
Decade 3	17.9	4.4	9.5	13.0	3.0	3.0
Maand	15.0	3.7	9.2	12.1	2.5	2.5
AUGUSTUS						
Decade 1	5.2	2.9	7.9	10.1	2.0	2.0
Decade 2	7.6	2.5	7.8	10.1	1.4	1.8
Decade 3	6.1	1.8	7.4	9.4	1.2	1.8
Maand	6.3	2.4	7.7	9.8	1.5	1.9
SEPTEMBER						
Decade 1	6.6	1.9	8.1	9.5	1.3	1.9
Decade 2	2.9	2.0	7.2	9.9	1.5	1.8
Decade 3	3.5	1.4	7.0	9.4	1.5	1.9
Maand	4.3	1.8	7.4	9.6	1.4	1.9
OKTOBER						
Decade 1	14.4	6.5	17.0	18.5	2.8	3.7
Decade 2	13.0	2.9	6.9	14.6	3.6	3.9
Decade 3	11.0	2.5	6.2	11.5	2.4	2.8
Maand	12.8	3.9	9.9	14.8	2.9	3.4
NOVEMBER						
Decade 1	26.3	7.3	10.8	16.6	3.7	4.7
Decade 2	27.8	4.5	7.6	13.8	3.2	4.0
Decade 3	66.5	14.2	13.2	23.0	6.1	11.2
Maand	40.2	8.7	10.5	17.8	4.3	6.6
DECEMBER						
Decade 1	49.8	15.2	12.4	22.0	6.9	11.5
Decade 2	27.9	9.6	8.7	21.6	5.2	8.0
Decade 3	68.4	24.4	14.3	31.0	8.0	13.2
Maand	49.3	16.7	11.9	25.0	6.7	11.0
JAAR	31.2	9.8	10.0	20.0	4.0	5.5

2.2.2 wasregimes 2009

Hoger in dit rapport, onder paragraaf 1.5.4, werden de twee in 2009 opgetreden wasregimes al verhaald, met doel om de invloed op het tij van die periodes nader aan te geven. Als voorbeelden golden toen de Zeeschelde te Melle en de Dender te Dendermonde/Appels.

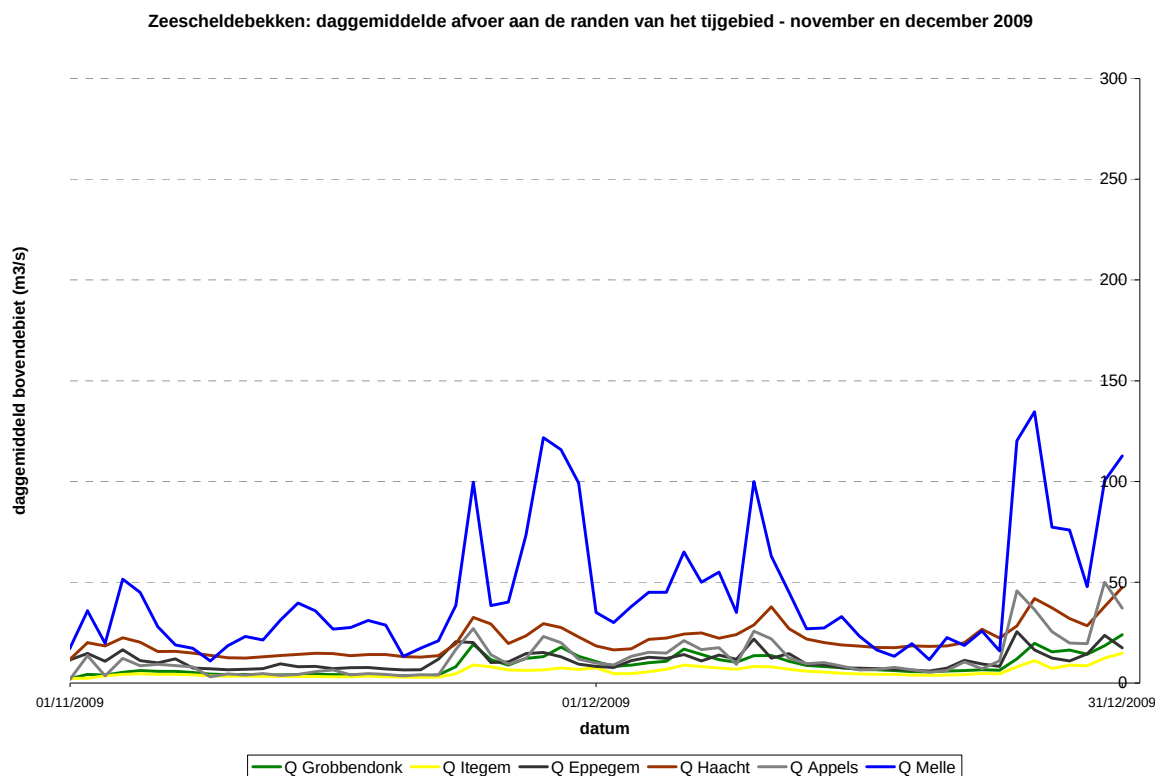
Het wasregime van einde januari 2009 was gekenmerkt door een algemeen regime van zeer grote bovendebieten, aan alle meetraaien aan de rand van het tijgebied. Het bestond uit een voorlopende periode van al vergrootte bovenafvoer, en uit de typische naslepende periode van langzaam aan dalende bovendebieten. Het wasregime van half februari 2008 was een korte periode, met vooral een grote bovenafvoer voor de Schelde te Melle, de Dender te Appels en de Dijle te Haacht.

Figuur 44 toont het verloop van de daggemiddelde bovendebieten aan de meetraaien over januari en februari 2009, zodat duidelijk beide periodes van wasregime te zien zijn. Voor verdere bespreking en de invloed op het getij, wordt verwezen naar paragraaf 1.5.4.



Figuur 43 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien in januari en februari 2009, o.a. met de was-periodes einde januari en medio februari 2009

In 2009 kwamen uiteraard nog enkele periodes van geïsoleerde grote bovenafvoer voor. Vanzelfsprekend naar het jaareinde toe, bij einde herfst en overgang naar winter. De volgende figuur toont de gemiddelde bovendeblaten aan de randen van het tijgebied. Maar al bij al bleven al die periodes kort en zonder zeer grote debieten, en ging het vooral om het vergroten van het bovendeblat van de Schelde te Melle, dus vanuit Bovenschelde en Leie.



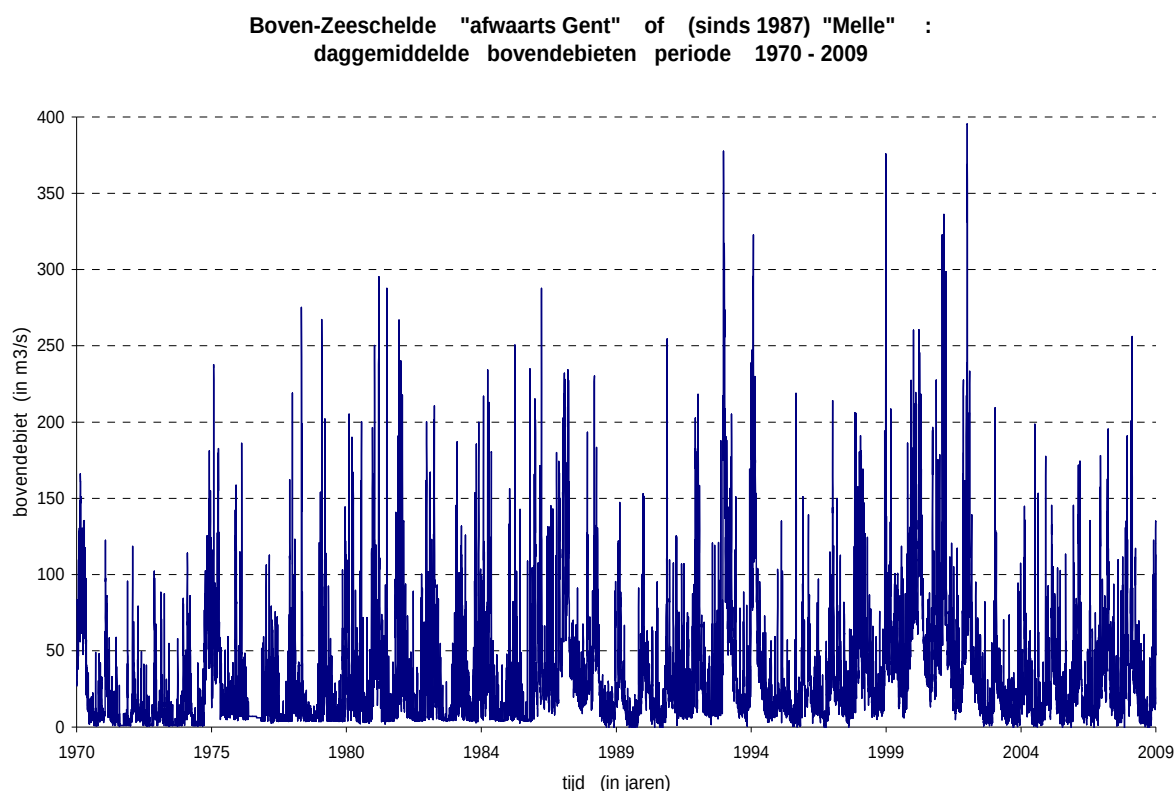
Figuur 44 - Zeescheldebekken: afvoer aan de meetraaien in november en december 2009, o.a. met twee periodes van zeer kleine afvoer voor herfst/wintermaanden, onderbroken door enkele blokken van enkel te Melle een behoorlijk bovendeblat

Het jaar 2009 was eerder gekenmerkt door zeer langdurige periodes van kleine tot zeer kleine bovenafvoer, zegge meteorologisch een prachtige nazomer en herfst. Het jaargemiddelde ligt dan ook beduidend onder het langjarig gemiddelde.

2.2.3 bovendebieten meetraaien 2009 in historisch perspectief

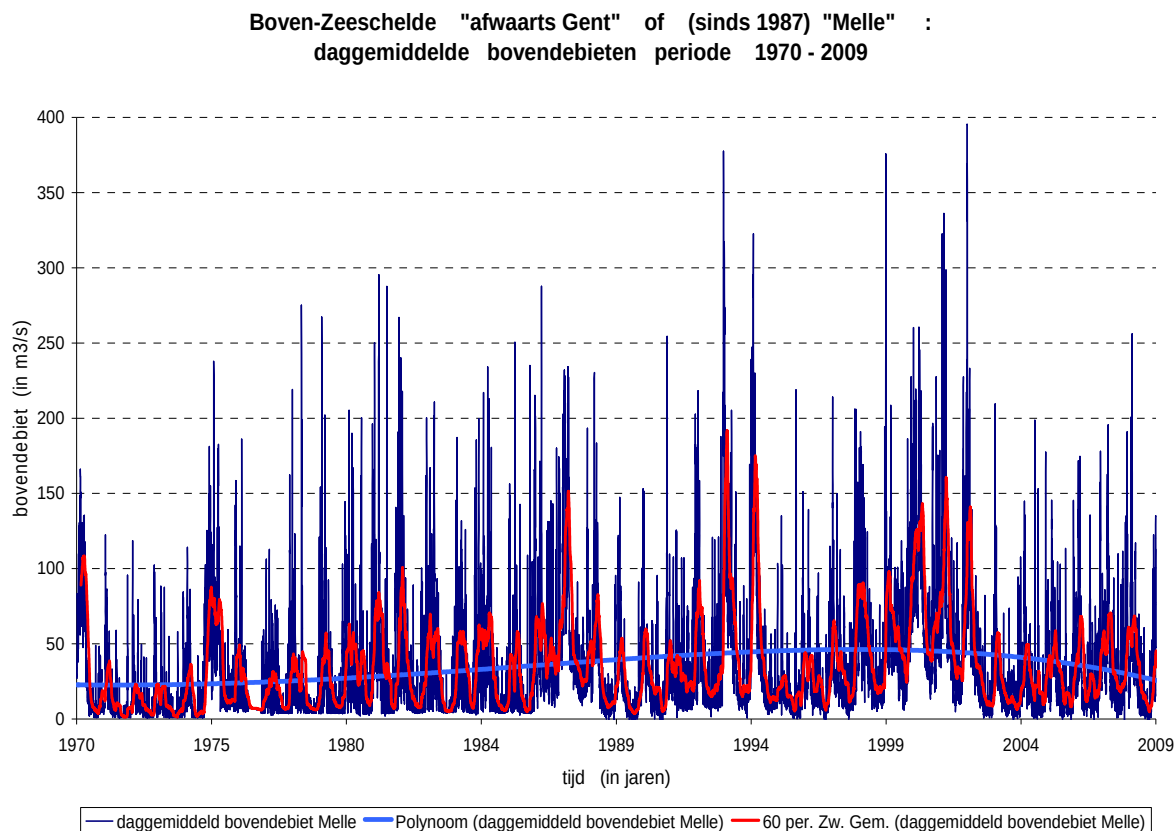
Het jaar 2009 mag dan wel twee (relatief korte) wasregimes gekend hebben, met een grote invloed op het tijregime aan de opwaartse randen van het tijgebied, en dat alles zoals al hoger in dit rapport omstandig getoond, toch was het een ietwat "droog" jaar qua afvoer vanuit het hydrografisch bovengebied naar het Zeescheldebekken toe.

De volgende grafiek geeft de seizoenale en langjarige variabiliteit aan van wat normalerwijze de belangrijkste aanbrenger van bovenafvoer in het Zeescheldebekken is: het toont de dag-gemiddelde bovenafvoer van "het Gentse" sinds 1970 t/m 2009. Het begrip "het Gentse" omvat de som van de debieten vanuit Gentbrugge, Merelbeke en Zwijnaarde samen. Er wordt in deze grafiek begonnen met 1970 omdat het jaar voordien de Ringvaart om Gent in dienst werd gesteld, dus o.a. ook de stuwen en sluizen te Merelbeke en Zwijnaarde, terwijl voordien alle afvoer (en alle scheepvaart) via de Gentse binnenstad naar de stuw/sluis te Gentbrugge ging.



Figuur 45 - Zeescheldebekken: verloop van de daggemiddelde bovendebieten in de Zeeschelde te Melle periode 1970-2009 (alle bovendebieten in m3/s)

Met daggemiddelde waarden van het bovendebiet, hier in de Zeeschelde te Melle, en dan nog over een periode van "slechts" 1970 à 2009, gaat een variatie aan waarden gepaard die weliswaar een volledig doch niet meteen duidelijk beeld schetst. Onderstaande figuur 47 helpt om na te gaan hoe frequent kleine, gemiddelde, grote of zeer grote daggemiddelde bovendebieten te Melle optreden.



Figuur 46 - Zeescheldebekken: verloop van de daggemiddelde bovendebiten in de Zeeschelde te Melle periode 1970-2009 (alle bovendebiten in m³/s)

Als achtergrond gaat dezelfde grafiek van daggemiddelde waarden als in vorige grafiek. Maar er zijn twee trendlijnen aangegeven: in het lichtblauw volgens een polynoom (van de 4^e graad) om een echt langjarige trend aan te geven, en in het rood om de gemiddelde seizoenale variatie te tonen. De eerder "natte" jaren (of: winters) vallen uiteraard erg op, de zogenaamd "droge" jaren komen ook sprekend uit de grafiek. Tegenover een langjarig gemiddelde afvoer van de Zeeschelde "afwaarts Gent" of nu "te Melle", van ongeveer 40 m³/s, gaat een daggemiddelde waarde zéér uitzonderlijk tot bijna het tienvoudige, maar gaat geregeld tot het dubbele à drievoudige, en daalt ook geregeld tot een achtste à tiende, om zeer uitzonderlijk naar nul te gaan.

Met de volgende grafiek wordt de frequentie van voorkomen van grootte van daggemiddelde bovenafvoer te Melle gegeven. Deze klassieke voorstelling leert:

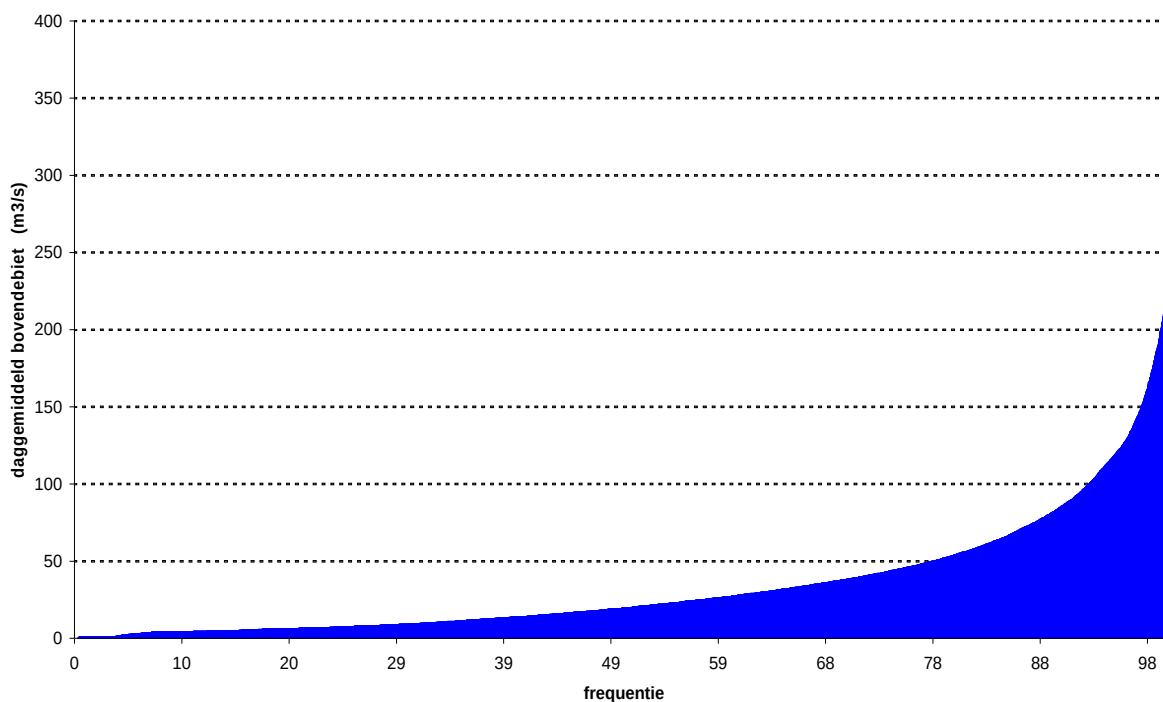
- een daggemiddeld bovendebit van 2 m³/s wordt in 4% van de tijd (15 dagen per jaar) niet gehaald;
- evenzo een daggemiddeld bovendebit van 5 m³/s in 12% van de tijd (44 dagen) niet;
- in een derde van de tijd (122 dagen per jaar) is het daggemiddeld bovendebit te Melle gelijk aan doch vooral kleiner en veel kleiner dan 10 m³/s;
- in de helft van de tijd (183 dagen) is dat 20 m³/s;
- en in tweederde van de tijd (243 dagen per jaar) 33 m³/s.

Of in "marginale" percentielen bekeken:

- in 10% van de tijd (37 dagen per jaar) is het daggemiddeld bovendebiet van de Zeeschelde te Melle groter dan 87 m³/s,
- in 5% van de tijd (18 dagen per jaar) gelijk aan of groter dan 123 m³/s,
- en in 1% van de tijd (maar 4 dagen per jaar) gelijk aan of groter dan 210 m³/s.

Men bedenke hierbij wel dat het gaat om de afvoer in de Zeeschelde te Melle, dus: om een niet meer zo natuurlijke afvoer gezien kunstmatig ofwel zo weinig mogelijk van Bovenschelde en Leie naar de Zeeschelde wordt afgevoerd om de andere kanalen in Oost- en West-Vlaanderen te spijzen, ofwel zo veel als mogelijk om bij periodes van was, overstromingen langs die kanalen te vermijden.

Boven-Zeeschelde "afwaarts Gent" of (sinds 1987) Melle :
daggemiddelde bovendebieten 1970 - 2009
(dus na indienststelling sluizen & stuwen Merelbeke) gerangschikt volgens grootte



Figuur 47 - Zeescheldebekken: in grootte gerangschikt verloop van de daggemiddelde bovendebieten in de Zeeschelde te Melle over de periode 1970-2009 (alle bovendebieten in m³/s)

2.3 doorrekening bovendebieten aan de randen van het tijgebied naar afwaarts

2.3.1 klassieke (tiendaagse) methode ir. R. Codde (1949)

Via extrapolatie van de bovenafvoeren aan de rand van het tijgebied (Melle, Appels, Eppegem, Haacht, Itegem en Grobbendonk) wordt naar afwaarts doorgerekend om een "bovendebiet" van de "Schelde te Schelle" te bepalen. Dat is dan de zoetwaterafvoer van het Zeescheldebekken, in tegenstelling tot de intrede van zout zeewater door het getij, en de brakke omstandigheden van (ruwweg genomen) het middendeel van het Zeescheldebekken.

Sinds het begin van de systematische waarnemingen van de bovenafvoer aan de rand van het tijgebied, wordt die zoetwaterafvoer te Schelle via extrapolatie als tiendaagse gemiddelde waarde bepaald. De noodzaak aan die bepaling was de maritieme invloed van dat "bovendebiet" in de Beneden-Zeeschelde want het bepaalt mee de saliniteit van het Scheldewater, zelfs tot in de Westerschelde, en doet mee de zogenaamde maximum-turbiditeitszone in de Beneden-Zeeschelde verschuiven. Het zou van invloed kunnen zijn op de seizoenale verontdieping/verdieping van bvb. drempels in de vaargeul.

In het meer afwaartse gebied (Beneden-Zeeschelde en Westerschelde) wordt een verdere doorrekening van die zoetwaterafvoer minder nauwkeurig, en heeft ze ook minder fysische betekenis als parameter op zich. Het heeft nog slechts weinig invloed op het hydraulisch regime. Daar waar de zoetwaterafvoer in de Beneden-Zeeschelde nog 0,3 à 5 % van de totale tij-volumes uitmaakt, al naargelang plaats (want vermindert sterk naar afwaarts toe) en al naargelang doortij, middeltij of springtij (want belangrijker bij kleiner getijverschil), en uiteraard al naargelang kleine, gemiddelde of grote bovenafvoer. In de Westerschelde daalt het aandeel van het bovendebiet verder, tot 0,1 % 's winters tot nog minder 's zomers aan de monding.

In tegenstelling tot de kleine invloed op het hydraulische regime, geldt dus wel een beduidende seizoenale invloed op saliniteit en turbiditeit.

De aan de randen van het tijgebied bepaalde dagelijkse bovendebieten, worden via de methode ir. R. Codde, toenmaals Hoofdingenieur-Directeur later Inspecteur-Generaal van Bruggen en Wegen van Antwerpse Zeediensten, en op punt gesteld in 1949, de bovendebieten naar afwaarts doorgerekend, in eerste instantie naar de uitmondingen van de betrokken rivieren, in tweede instantie naar het totale Rupelbekken (dat nog een natuurlijke afvloeit kent wegens nergens stuwen en sluizen, tenzij de stuw te Mechelen doch deze speelt bij de afvoer een mindere rol), derdes van Schelde en Dender naar de Rupelmonding toe, en tenslotte de som van dat alles als zijnde de bovenafvoer van de "Schelde te Schelle", tegelijk de zoetwateraanvoer in de "praktische" Beneden-Zeeschelde. Juridisch is de bovengrens van de Beneden-Zeeschelde aan het opwaartse einde van de Rede van Antwerpen (grens Antwerpen/Hoboken), doch in praktijk wordt veelal het deel van de Zeeschelde bedoeld tussen de Belgisch/Nederlandse grens en de Rupelmonding, zegge Schelle.

Die doorrekening naar afwaarts veronderstelt dat de bovenafvoer in twee beschouwde dwarsprofielen van een rivier zich lineair verhoudt tot de oppervlakten van het overeenkomstige hydrografische gebied telkens opwaarts van de twee beschouwde dwarsprofielen.

Deze vrij praktische methode voor de doorrekening van de bovenafvoer aan de randen van het tijgebied naar afwaarts, werd door ir. R. Codde vooreerst angewend voor de periode 1949-1958, de eerste periode waarover de bovendebieten van het Zeescheldebekken systematisch werden gemeten aan de randen van het tijgebied en dan naar afwaarts, tot Schelle, werden geëxtrapoleerd. Deze methode geeft een goede benadering, zeker toenmaals bij gebrek aan betere metingen en betere uitwerkingen, en zonder enige vorm van wat nu "computers" zijn. Deze methode werd tot heden door het Bestuur aangehouden, om de homogeniteit van de afvoergegevens te bewerkstelligen.

De doorrekening van de bovendebieten aan de rand van het tijgebied naar afwaarts, gebeurt in eerste instantie naar de uitmonding van de betrokken rivier, geldt telkens voor tiendaagse periodes (de maand-decades), en gaat als volgt:

Tabel 22 - Overzicht van de meetplaatsen van de bovenafvoer, met waarde van de multiplicator van doorrekening naar de uitmonding van de betrokken rivier

rivier	meetplaats bovenafvoer	multiplicator van meetplaats naar uitmonding
Dender	Appels	1,00
Zenne	Eppegem	1,08
Dijle	Haacht	1,08
Kleine Nete	Grobbendonk	1,46
Grote Nete	Itegem	1,35

Te Melle wordt de daggemiddelde bovenafvoer bepaald door van alle ebvolumes per etmaal, alle vloed-volumes per etmaal af te trekken, en in een debiet om te zetten.

Aldus zijn voor elke decade van de maand de bovenafvoerdebieten bekend aan de uitmondingen van Ringvaart om Gent (Bovenschelde en Leie), Dender, Zenne, Dijle, Kleine Nete en Grote Nete, en kunnen deze afvoeren worden gesommeerd. Daartoe dienen wel nog de afvoeren bekend te zijn van tussengebieden, bvb. het gebied langsij de Beneden-Nete, de Rupel, en uiteraard ook van de Zeeschelde tussen Melle en Schelle, en van de tij-Durme.

ir. Codde heeft daartoe een goed en eenvoudig middel bepaald: gezien de grote deviaties van bovenafvoer van Bovenschelde en Leie naar Gent, te Gent zelf, de invloed van de Ringvaart, de afvoer via het Afleidingskanaal van de Leie, het kanaal Gent-Brugge-Oostende, en het Zeekanaal Gent-Terneuzen, zowel in periodes van kleine, gemiddelde als grote afvoer, stemt het bovendebiet te Melle niet overeen met een specifieke afvoer van het hydrografische bekken van Schelde en Leie opwaarts Gent. Hij achtte de specifieke afvoer van het zijbekken van de Schelde tussen Melle en Schelle, alsook deze van Beneden-Nete, Rupel en Durme, overeen te komen met de specifieke afvoer van de Dijle, de Zenne, de Kleine Nete en de Grote Nete, bekend zijnde. De overeenkomst zou zeker voldoende zijn voor het vooropgezette doel, en gezien per decade (tiendaagse periodes) werd gerekend. Op deze wijze werden de aanbreng van Beneden-Nete en Rupel, en van de zijbekkens van de Schelde tussen Melle en Schelle alsook van de Durme, per decade uitgerekend.

Wat ir. Codde -met alle respect voor deze grote Schelde-ingenieur, en zijn vele baanbrekend meet- en studie-werk- niet in rekening bracht is een tijdsverschuiving tussen enerzijds de dag dat een daggemiddeld bovendebiet de randen van het tijgebied passeert en zijn weg in het Zeescheldebekken inzet, en anderzijds de dagen dat die bovenaanvoer aan de mondingen van de tijrivieren komt, dat de zijbekkens bijkomende afvoer leveren, en tenslotte dat die som van zoetwateraanvoeren arriveert aan de "Schelde te Schelle" dus: de (praktische) Beneden-Zeeschelde ingaat.

2.3.2 nieuwe (vijfdaagse) methode (2009)

Naar nood van het leggen van verbanden tussen enerzijds de aanvoer van zoetwater naar de Beneden-Zeeschelde (en de Westerschelde) en anderzijds de variaties in saliniteit en turbiditeit in het Scheldewater aldaar, rees de vraag naar afvoerwaarden over kortere periodes dan een decade. Praktisch gezien stond de keuze tussen ééndaagse, driedaagse of vijfdaagse bovenafvoeren voorop. Met redenen omkleed is daaruit de vijfdaagse periode gekozen.

De keuze van een ééndaagse periode werd snel verworpen. Het bepalen van ééndaagse bovendebieten in de Schelde te Schelle, uitgaande van daggemiddelde bovenaanvoeren aan de rand van het tijgebied, levert inderdaad geen eenduidige fysische relevantie op. Het komt tot enkele dagen per jaar voor, dat het resulterend debiet van alle eb- en vloedvolumes te Schelle negatief is, hoezeer ook alle bovenaanvoeren aan de rand van het tijgebied naar zee gezind zijn. Dergelijke dagen zijn gekenmerkt door bvb. een laagwater op normaal peil in de voormiddag, waarna een zeer grote stijging van het water tot een zeer hoge hoogwaterstand door plotse grote opstuwing vanuit zee leidt, en liefst op diezelfde dag nog een laagwater dat -mee door het getij vanuit zee verhoogd- niet tot "normale" hoogte (eigenlijk "laagte") komt doch hoger blijft. Ook stelde zich het probleem dat het inrekenen van een tijdsvertraging tussen de bovendebieten aan de locaties aan de rand van het tijgebied, variabel is al naargelang de grootte van elk bovendebiet aan die locaties, en al naargelang de sterkte van het getij vanuit zee, hetgeen niet in ééndaagse periodes is te verdisconteren.

In ieder geval is een keuze van vijfdaagse i.p.v. tiendaagse periodes een grote tegemoetkoming aan de wens en de nood om over waarden over kleinere periodes dan decades te beschikken.

Maar de grote verbetering is het inrekenen van tijdsvertragingen van enerzijds aanvoer van bovendebiet aan de locaties aan de rand van het tijgebied, en anderzijds de "Schelde te Schelle", waarbij -bij vijfdaagse periodes- die tijdsvertraging locatie per locatie kan constant gehouden worden. Uiteraard verschilt de tijdsvertraging van locatie tot locatie, want zo heeft een verandering van aanvoer van bovendebiet uit de Dender het snelst invloed op het globale bovendebiet van de "Schelde te Schelle", tegen de aanvoer van de Grote Nete te Itegem het traagst.

Die tijdsvertraging per locatie werd bepaald op basis van:

- het bepalen van waterverplaatsingen per getij door middel van de "Kubatuurberekeningen voor het Scheldebekken" van ir. E. Smets (rapport WL - Mod. 405 - 1996). Deze methode levert een maximum-waarde van de tijdsvertraging op.
- het nagaan van de tussentijd tussen enerzijds het optreden van plots zeer grote bovendebieten vnl. te Melle, Appels en Eppegem, en anderzijds het flink verkleinen van de conductiviteit (zegge saliniteit) van het Scheldewater in de Beneden-Zeeschelde.

- het feit dat met etmalen moet gewerkt worden. De bovendebieten aan de rand van het tijgebied worden bepaald als dagwaarde. De te bepalen bovendebieten van de "Schelde te Schelle" gaan ook per etmaal, nl. voor 89% vijfdaagse periodes van inderdaad vijf dagen, 10% van zes dagen, en 1% van ofwel 3 ofwel 4 dagen (nl. maand februari). Hoe ook, steeds wordt tegen een verschillend aantal etmalen per meerdaagse periode gestoten. Maar de conclusie van dit alles is dat de tijdsvertragingen ook veelvoud van een etmaal moeten zijn, wat zaken vergemakkelijkt, daar anders bij beschouwen van deelperiodes kleiner dan een etmaal, de factor moet bekeken worden of er invloed is door het feit dat hoogwater (of laagwater) net om middernacht valt, of halftij vloed (of halftij eb) om middernacht valt, of op andere tijdstippen in de dag. Bovendien eindigt eenzelfde tijgolf niet om exact hetzelfde tijdstip aan de verschillende locaties aan de rand van het tijgebied. Uiteindelijk worden ook niet alle vergrootte bovenafvoeren op hetzelfde uur van de dag ingezet, of stuwen geregeld.

- tenslotte het benaderen van de te zoeken tijdsvertraging door gezonde toepassing van expertise en hanterbaarheid, dat laatste vnl. bij het bepalen welke tijdsvertraging geldt voor de aanvoer van "bovendebiet" vanuit de zijbekkens.

Uiteindelijk zijn de tijdsvertragingen per locatie aan de rand van het tijgebied, om het globale bovendebiet van de "Schelde te Schelle" te bepalen:

Tabel 23 - overzicht van de (gemiddelde) tijdsvertraging van doorkomen van bovenafvoer aan de meetraaien, bij doorrekening te Schelle

locatie aan de rand van het tijgebied	tijdsvertraging van doorgang bovendebiet aan een locatie aan de rand van het tijgebied, naar de "Schelde te Schelle"
Zeeschelde te Melle	3 etmalen
Dender te Appels	2 etmalen
Zenne te Eppegem	3 etmalen
Dijle te Haacht	3 etmalen
Grote Nete te Itegem	4 etmalen
Kleine Nete te Grobbendonk	3 etmalen

Er moet voorts bedacht worden dat het om afgeronde aantallen van etmalen handelt (moét handelen), en dat bvb. voor Melle ook een tijdsvertraging van iets als twee etmalen in bepaalde omstandigheden mogelijk is, dus twee i.p.v. drie De tijdsvertraging is ook functie van bvb. het feit of het springtij, middeltij dan wel doodtij is, en of bvb. het om een aanvang van een wasregime gaat, of middenin een langdurige periode, of na die periode van was. Verder in dit rapport zal blijken dat de in tabel 23 vermelde tijdsvertragingen tot een zeer goede (en fysisch betekenisvolle) correlatie leiden met de conductiviteit (of saliniteit of chloride-gehalte) te Oosterweel.

Kortom: bij grote bovenafvoeren én tegelijk doodtij, zouden bovenstaande waarden elk, of toch uitgezonderd deze der beide Nete-locaties, met één etmaal kunnen verminderd worden.

Bovendien wordt het vijfdaagse gemiddelde bovendebiet ("pentade") in vele toepassingen geplaatst op datum van de laatste dag van de betrokken pentade (of op dag drie, vier of zes bij de laatste pentade van een maand met minder of meer dan dertig dagen ...), net zoals gebeurt bij de klassieke methode met decade-waarden, dat in vele toepassingen geplaatst wordt op datum van de laatste dag van elke tiendaagse periode (of elfdaagse einde januari, maart, mei ..., of nog anders in februari).

2.3.3 doorrekening bovendebieten 2009 naar "Schelde te Schelle"

Zoals in vorige paragrafen uitgelegd, zijn het, in de klassieke methode ir. Codde, de decade-waarden van de bovendebieten aan de randen van het tijgebied (Melle, Appels, Eppegem, Haacht, Itegem en Grobbendonk) die -ook per decade, en in de klassieke methode zonder tijdsvertraging- naar afwaarts worden doorgerekend, via de gewone weg van multiplicatoren gelijk aan de vergroting van het hydrografisch bekken.

In eerste instantie worden de bovendebieten aan de meetraaien doorgerekend naar de volledige lengte van de betrokken rivieren (genoemd "aan de mondingen"). In tweede instantie worden de zijbekkens mee ingerekend, zijnde primo het zijbekken van de Schelde tussen Melle en Schelle samen met het bekken van de tij-Durme, en secundo zijnde het zijbekken van de Beneden-Nete en van de Rupel. De afvoer van deze zijbekkens stoelt op de gelijktijdige specifieke afvoer van de rivieren Kleine Nete, Grote Nete, Dijle en Zenne (tot aan hun mondingen), verdisconteerd met de grootte van het hydrografisch zijbekken waarvan sprake.

Aldus worden decade-waarden bepaald voor enerzijds het Scheldebekken opwaarts van de Rupelmonding, en anderzijds voor het ganse Rupelbekken. Hun som levert de uiteindelijk beoogde decade-waarden op van "het bovendebiet van de Schelde te Schelle".

Volgens de klassieke methode (ir. R. Codde, met decade-waarden, en zonder tijdsvertraging) berekend geeft dit voor 2009 het overzicht van volgende bladzijde.

Tabel 24 - Zeescheldebekken: algemeen overzicht 2009 van de afvoer van de tijriviervieren en de zijbekkens, en aan de Schelde te Schelle (alle debieten zijn in m3/s)
(klassieke methode ir. Codde)

Zeescheldebekken : de afvoer van tijriviervieren en zijbekkens, en van de Schelde te Schelle - jaar 2009											
<i>Tiendaags & maandgemiddeld bovendeblat aan de mondingen, van de zijbekkens, het Rupelbekken, en de Schelde te Schelle</i>											
	Schelde Melle	Dender Appels	Zijbekken Schelde + Durme	Zenne	Dijle	Grote Nete	Kleine Nete	Zijbekken Rupel + Ben. Nete	TOTAAL		
									Schelde opw. Rupel	Rupel-bekken	Schelde te Schelle
JANUARI											
Decade 1	18.4	5.9	5.7	7.6	24.8	4.8	6.4	2.9	30	47	77
Decade 2	40.0	19.9	9.3	13.5	35.9	8.1	13.1	4.5	69	75	144
Decade 3	102.9	37.4	12.6	21.3	44.4	11.2	17.6	6.1	153	101	254
Maand	55.3	21.6	9.3	14.3	35.3	8.1	12.5	4.5	86	75	161
FEBRUARI											
Decade 1	61.9	17.8	8.9	13.6	33.3	8.1	12.1	4.3	89	71	160
Decade 2	115.7	33.2	15.5	16.3	63.6	16.8	21.5	7.6	164	126	290
Decade 3	43.2	12.9	8.1	9.6	29.2	9.1	12.8	3.9	64	65	129
Maand	75.8	21.9	11.0	13.4	43.0	11.5	15.7	5.4	109	89	198
MAART											
Decade 1	34.7	11.6	7.6	10.3	30.8	6.8	10.0	3.7	54	62	116
Decade 2	31.1	11.6	7.4	9.0	30.1	6.6	10.3	3.6	50	60	110
Decade 3	69.3	22.9	9.9	16.1	34.9	10.0	14.3	4.9	102	80	182
Maand	45.8	15.6	8.4	11.9	32.0	7.9	11.6	4.0	70	67	137
APRIL											
Decade 1	38.9	10.3	6.5	9.1	24.6	5.8	9.0	3.3	56	52	108
Decade 2	40.5	8.8	5.8	10.1	23.3	4.3	6.6	3.0	55	47	102
Decade 3	23.2	6.3	4.6	8.4	16.5	3.9	5.8	2.5	34	37	71
Maand	34.2	8.5	5.6	9.2	21.5	4.7	7.1	3.0	48	46	94
MEI											
Decade 1	16.7	4.9	3.9	7.3	14.6	3.3	4.7	2.3	26	32	58
Decade 2	32.3	9.9	5.6	12.0	20.7	4.2	5.4	2.9	48	45	93
Decade 3	11.1	5.4	3.9	9.0	12.8	3.3	4.5	2.3	20	32	52
Maand	19.7	6.7	4.4	9.4	15.9	3.6	4.9	2.5	31	36	67
JUNI											
Decade 1	14.4	4.9	3.5	10.2	10.7	2.9	3.1	2	23	29	52
Decade 2	16.4	6.7	4.9	10.4	14.6	5.1	6.3	2.6	28	39	67
Decade 3	15.0	7.9	3.2	9.0	9.8	2.5	2.6	2.1	26	26	52
Maand	15.3	6.5	3.9	9.9	11.7	3.5	4.0	2.3	26	31	57
JULI											
Decade 1	14.2	3.6	3.7	10.1	12.9	2.6	2.9	2.2	21	31	52
Decade 2	12.5	2.9	3.7	9.3	12.1	3.3	3.5	2.3	19	31	50
Decade 3	17.9	4.4	4.3	10.3	14.0	4.0	4.3	2.5	27	35	62
Maand	15.0	3.7	3.9	9.9	13.1	3.3	3.6	2.3	23	32	55
AUGUSTUS											
Decade 1	5.2	2.9	3.4	8.6	10.9	2.6	2.9	2.1	12	27	39
Decade 2	7.6	2.5	3.2	8.4	10.9	1.8	2.6	2.1	13	26	39
Decade 3	6.1	1.8	3.0	7.9	10.2	1.6	2.7	2.0	11	24	35
Maand	6.3	2.4	3.1	8.3	10.6	2.0	2.7	2.1	12	26	38
SEPTEMBER											
Decade 1	6.6	1.9	3.1	8.7	10.3	1.7	2.8	2.0	12	25	37
Decade 2	2.9	2.0	3.0	7.8	10.7	2.0	2.6	2.0	8	25	33
Decade 3	3.5	1.4	3.0	7.6	10.2	2.0	2.8	2.0	8	25	33
Maand	4.3	1.8	3.0	8.0	10.4	1.9	2.7	2.0	9	25	34
OKTOBER											
Decade 1	14.4	6.5	6.2	18.3	20.0	3.8	5.4	3.1	27	51	78
Decade 2	13.0	2.9	4.4	7.4	15.7	4.8	5.7	2.5	20	36	56
Decade 3	11.0	2.5	3.5	6.7	12.5	3.2	4.1	2.2	17	29	46
Maand	12.8	3.9	4.7	10.7	15.9	3.9	5.0	2.5	21	38	59
NOVEMBER											
Decade 1	26.3	7.3	5.4	11.6	17.9	5.0	6.9	2.8	39	44	83
Decade 2	27.8	4.5	4.4	8.2	14.9	4.3	5.9	2.5	37	36	73
Decade 3	66.5	14.2	8.1	14.2	22.6	8.2	16.3	3.9	89	65	154
Maand	40.2	8.7	6.0	11.4	18.5	5.8	9.7	3.0	55	48	103
DECEMBER											
Decade 1	49.8	15.2	8.2	13.4	23.7	9.3	16.8	4.0	73	67	140
Decade 2	27.9	9.6	6.7	9.4	23.3	7.0	11.6	3.3	44	55	99
Decade 3	68.4	24.4	10.4	15.4	33.5	10.9	19.3	5.1	103	84	187
Maand	49.3	16.7	8.6	12.8	27.0	9.1	16.0	4.2	75	69	144
JAAR	31.2	9.8	6.0	10.8	21.2	5.4	8.0	3.2	47	49	96

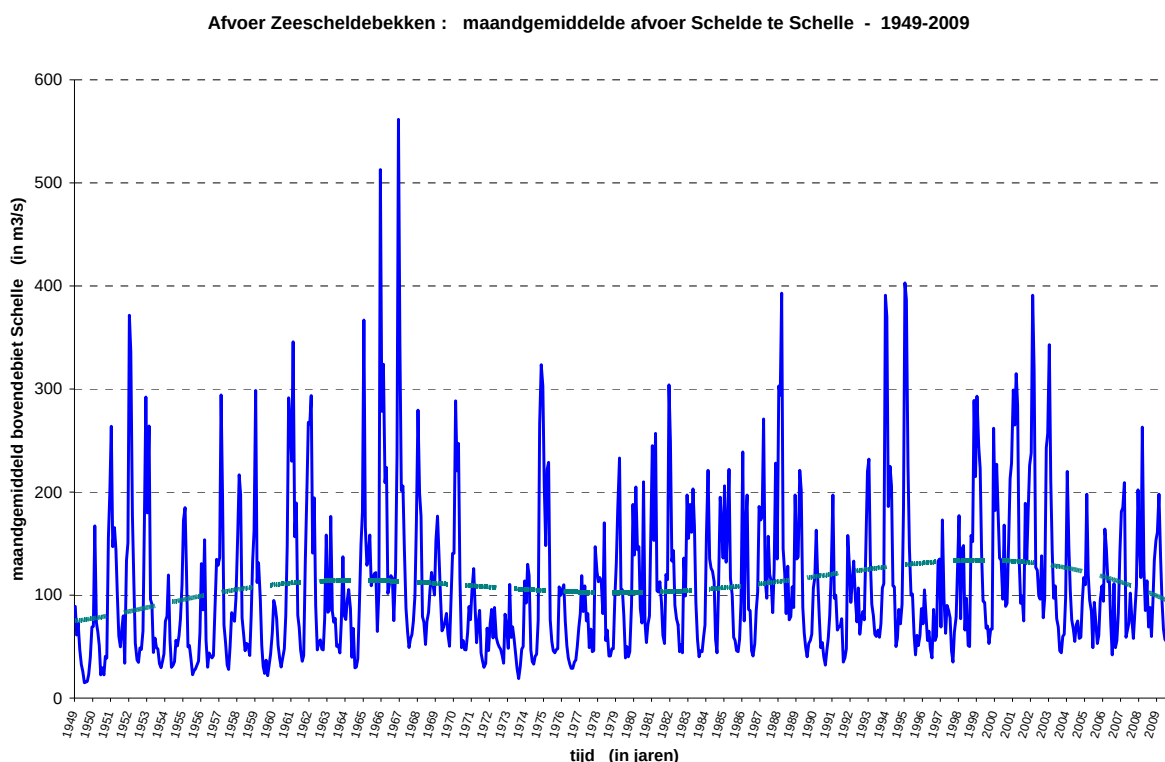
(alle debieten in m3/s)

2.3.4 bovendebieten 2009 "Schelde te Schelle" in historisch perspectief

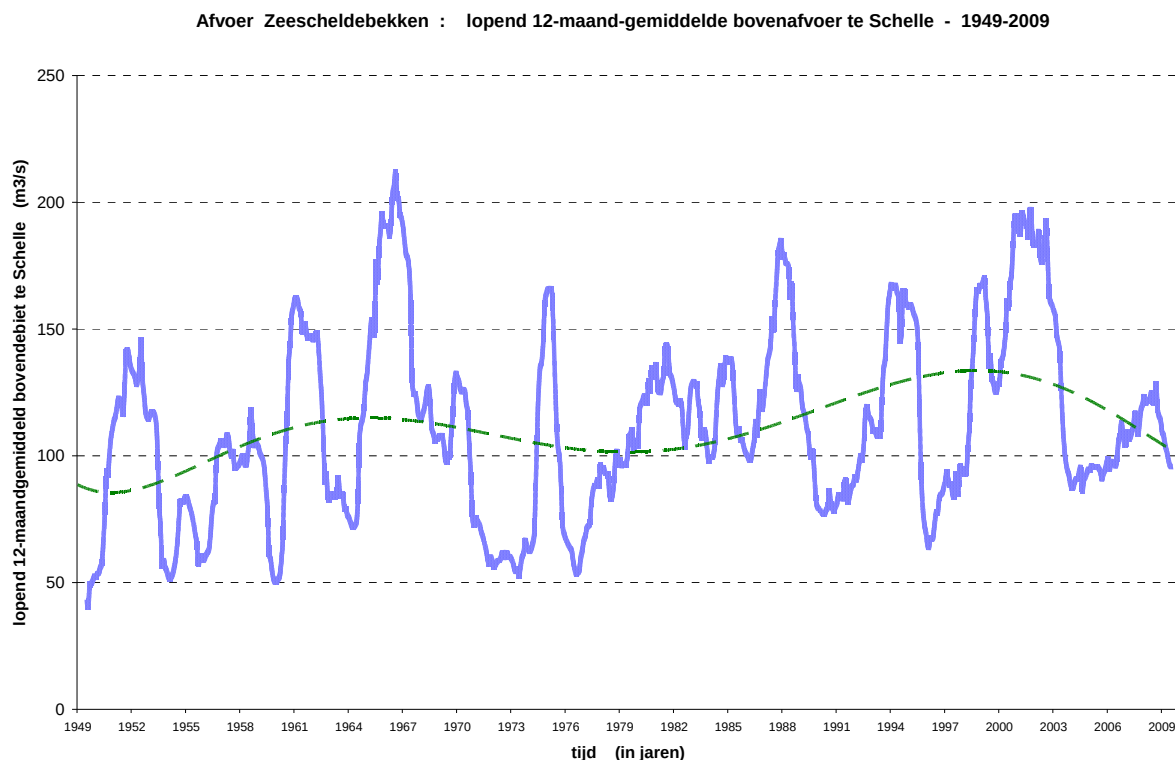
Tot verleden jaar werd het "bovendebiet" van de "Schelde te Schelle" bepaald volgens de klassieke methode (ir. R. Codde, 1949). Er werd dus o.a. geen rekening gehouden met enige tijdsvertraging van enerzijds passage van het daggemiddeld bovendebiet aan de meetraaien aan de randen van het tij-gebied, en van anderzijds de doorgang van het globale bovendebiet in de Schelde te Schelle. Men kan het -achteraf beschouwd- ook anders stellen, doch dat was -terecht- geenszins de bedoeling of overtuiging van ir. Codde: alle tijdsvertragingen worden geacht kleiner te zijn dan één dag, gezien de tijdsbasis van alle berekeningen gewoon de dag is. Maar nogmaals: ook ir. Codde wist dat dit niet juist was, maar moest voort met de technieken van destijds.

Met ook voor 2008 en 2009 het bovendebiet van de "Schelde te Schelle" te bepalen volgens die klassieke tiendaagse methode, kan vergeleken worden met alle voorgaande analoge bovendebieten, nl. sinds 1949.

Onderstaande twee grafieken geeft dit historisch perspectief weer. De eerste grafiek handelt over maand-waarden op zich, de tweede over het lopend twaalfmaanden-gemiddelden van die aparte maandwaarden. Daar waar de grafiek van loutere maand-waarden een seizoenaal erg variabel beeld geeft (pieken in natte winters, kleine waarden in zomerperiodes) geeft de tweede grafiek een gemiddeld lopend jaarbeeld te zien, evenwel niet per kalendermaand maar per lopende twaalf maanden na elkaar. Het gaat dan uiteraard ook om een erg uitgemiddelde grafiek, zodat het bereik van de lopende "jaar"-waarden veel kleiner is, bvb. de y-as gaat slechts tot 250 m³/s terwijl bij de echte maand-waarden op zich, tot 600 m³/s nodig is.



Figuur 48 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949 à 2009 op basis van maandgemiddelde waarden



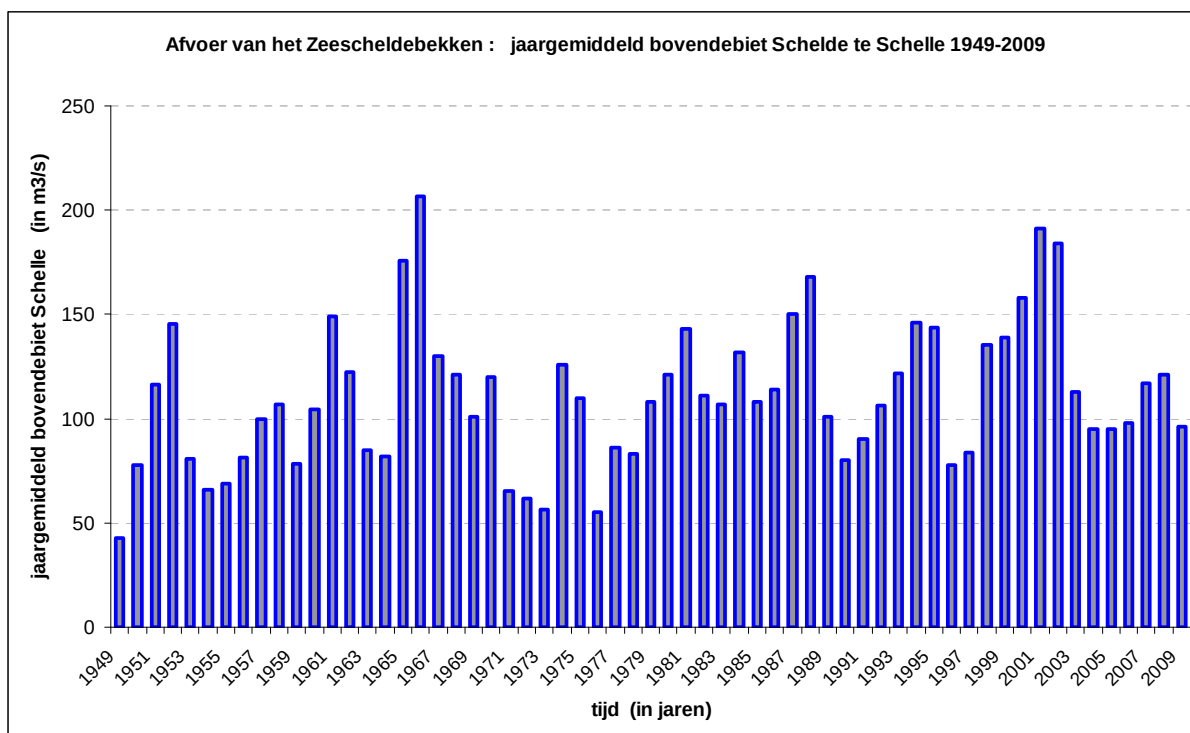
Figuur 49 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949 à 2009 op basis van een lopend 12-maandgemiddelde waarde

Bij deze beide figuren met chronologisch verloop van maandwaarden (of 12-maand-waarden), vallen uiteraard de periodes met zéér grote afvoer meteen op, zoals:

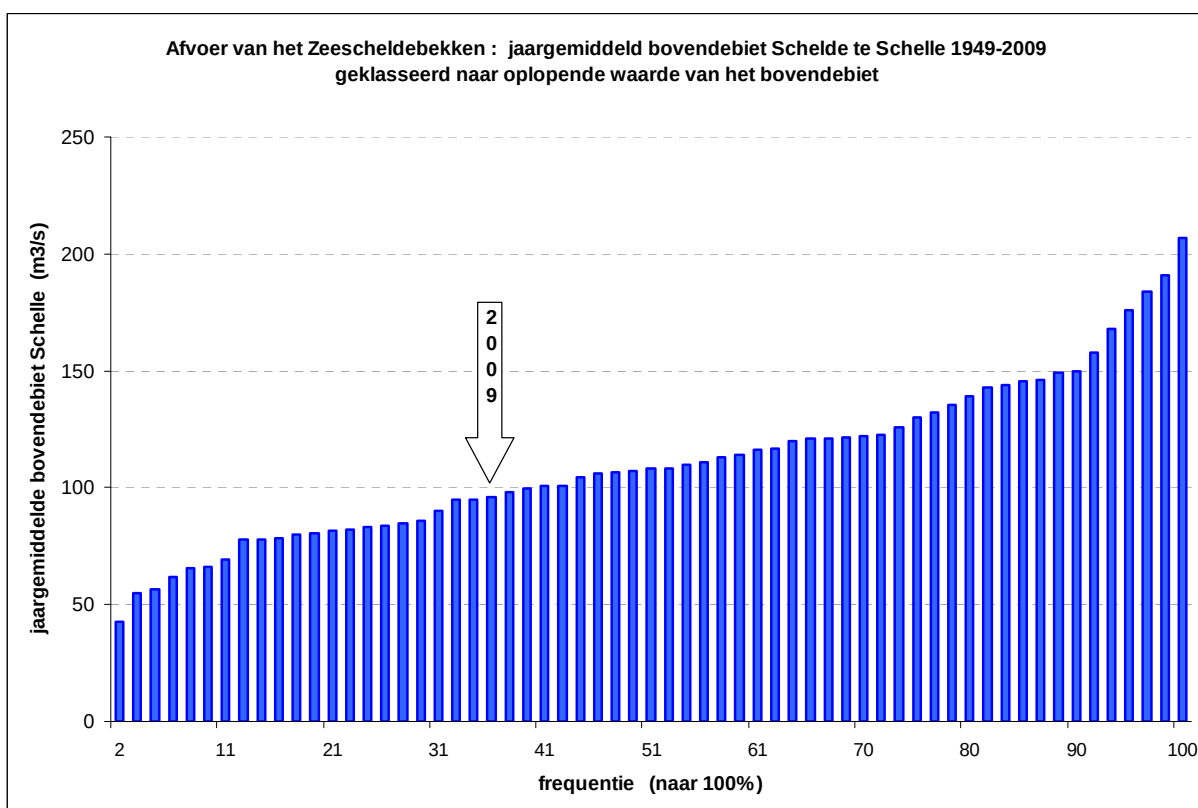
- december 1952 + januari en februari 1953;
- december 1965 + januari en februari 1966;
- november en december 1966 + januari en februari en maart 1967; vijf maanden lang !
- januari en februari en maart 1988;
- december 1993 + januari 1994;
- januari en februari en maart 1995;
- en januari en februari en maart 2002;
- en de jaarovergang 2002/2003.

2009 is dus duidelijk een jaar met weliswaar twee periodes van grote bovenafvoer, doch eerder te Melle en Haacht soms Appels, en niet van een grote afvoer van "de Schelde te Schelle"; 2009 is qua zoetwaterafvoer eerder een gemiddeld jaar tot iets er onder.

De figuren op volgende bladzijde tonen de jaar-gemiddelde afvoer van het Zeescheldebekken als zijnde het "bovendeblat van de Schelde te Schelle", en dat sinds hun onafgebroken en systematische meting en berekening vanaf 1949 (methode ir. R. Codde).



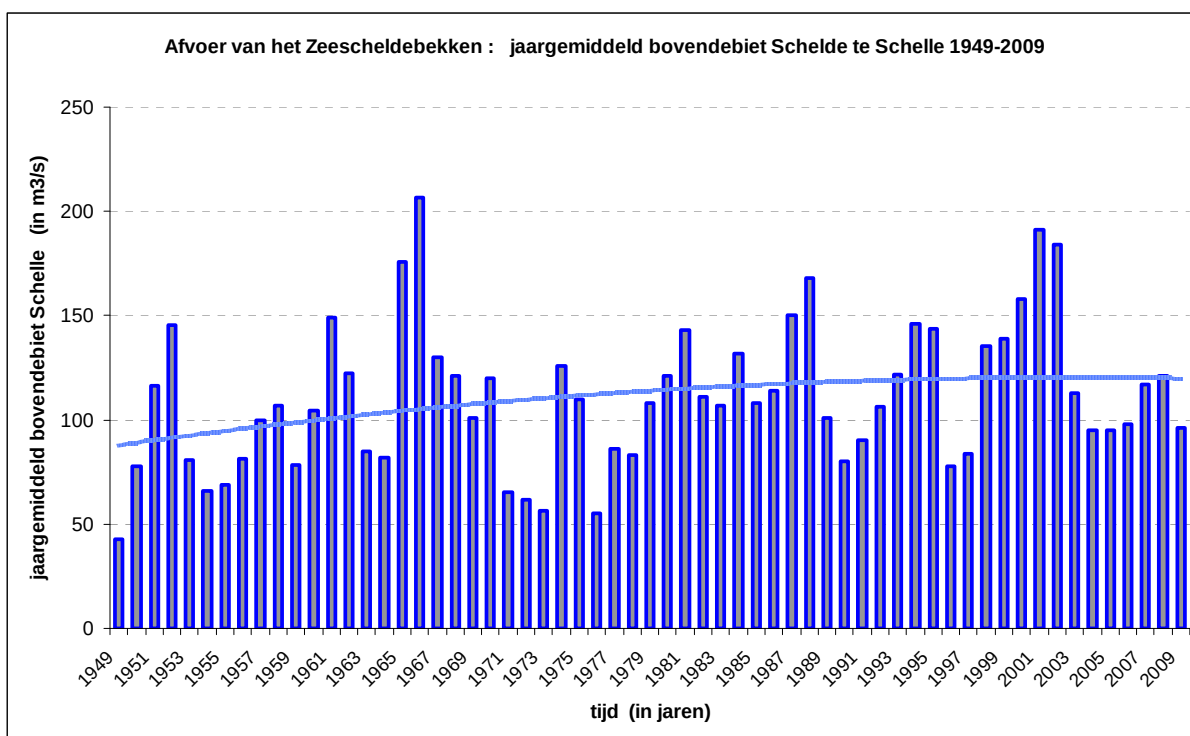
Figuur 50 - Zeescheldebekken: : afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949 à 2009 op basis van jaargemiddelde waarden



Figuur 51 - Zeescheldebekken: : afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949 à 2009 op basis van jaargemiddelde waarden en gerangschikt naar grootte

Figuur 51 schetst de jaarwaarden in volgorde van grootte. Het jaargemiddeld bovendebiet van de "Schelde te Schelle" in 2009 klasseert zich op één derde van de rij, kleiner dan de mediaan.

Tenslotte pakt figuur 52 uit met een tweedegraads-trendlijn, duidelijk de beste die er op zicht was, en die een verhoging van de "basis"-afvoer van het gehele Zeescheldebekken laat zien, van rond en om 95 m³/s bij aanvang tot rond en om 120 m³/s nu, bekeken op basis van die trendlijn. Uiteraard zijn er per jaar grote variaties rond de trend, en ook valt op dat "droge" jaren en "natte" jaren dikwijls groepsgewijs "droog" resp. "nat" zijn.



Figuur 52 - Zeescheldebekken: afvoer "Schelde te Schelle" over de periode 1949 à 2009 op basis van jaargemiddelde waarde, inclusief een trendlijn (tweedegraads polynoom)

Ook te Melle -over alle seizoenen bekeken, toch de grootste aanbrenger van bovendebiet naar het tijbekken- is een dergelijke trendlijn te zien: toenemend bovendebiet tot 2003 en dan afnemend tot heden. Het beeld van het bovendebiet van Schelde en Leie "via Melle" naar de Zeeschelde, is evenwel geen natuurlijk beeld meer. De afvoer naar de Zeeschelde is immers zeer "gemanipuleerd" al naar gelang nood of overschot aan water in de kanalen van Oost- en West-Vlaanderen, zoals al gezegd. Daarentegen is de afvoer van de Dender, en van het ganse Rupelbekken, nog zeer natuurlijk, zonder veel kunstmatige deviaties. Bvb. het Albertkanaal, het Netekanaal en het Zeekanaal Brussel-Schelde wisselen in slechts beperkte mate water naar het Rupelbekken of de Schelde uit, doch naar netto-resultaat gezien echt zeer weinig.

2.3.5 doorrekening bovendebieten 2009 naar "Schelde te Schelle" op vijfdaagse basis ("pentades") en met tijdsvertraging (nieuwe methode)

Zoals hoger onder "2.3.2. - nieuwe (vijfdaagse) methode (2009)" uitgelegd, en om de globale afvoer van het Zeescheldebekken naar dé klassieke locatie "de Schelde te Schelle" door te rekenen, en zo te dienen als sturend gegeven in onderzoeken van de seizoenale verlopen van conductiviteit, saliniteit en chloridegehalte, evenals van het seizoenaal verschuiven van het turbiditeitsmaximum in de Beneden-Zeeschelde, geldt al sinds 1949 de klassieke methode van ir. R. Codde, waarbij te Schelle decade-waarden worden bepaald. Eerstens is nood aan het kunnen beschikken over afvoergegevens per kleinere perioden dan deze klassieke tiendaagsen, en tweedes hoeft een tijdsvertraging te worden ingerekend van met name het passeren van "bovendebiet" aan de meetraaien (dus aan de opwaartse randen van het tijgebied) naar het te Schelle (eerder virtueel dan wel druppelsgewijs) doorstromen van die bovendebieten. In paragraaf 2.3.2 wordt deze nieuwe methode naar het bepalen van vijfdaagse bovendebieten (pentades) "Schelde te Schelle" uitgelegd. Het resultaat voor 2009 wordt in volgende tabel 25 opgesomd. Per maand zijn de opeenvolgende pentades met Romeinse cijfers aangeduid. De laatste vijfdaagse periode is per jaar maar in een derde van de maanden vijf dagen lang, maar is korter in februari en is één dag langer in de maanden met 31 kalenderdagen.

Tabel 25 - de afvoer van het Zeescheldebekken:
vijfdaagse gemiddelde bovendebieten (pentades) van "de Schelde te Schelle" in 2009
(nieuwe methode, per pentade, met tijdsvertraging)

overzicht van de vijfdaagse bovendebieten Schelle 2009		
januari	i	73
	ii	79
	iii	86
	iv	130
	v	225
	vi	314
februari	i	135
	ii	138
	iii	344
	iv	247
	v	190
	vi	147
maart	i	117
	ii	106
	iii	139
	iv	104
	v	91
	vi	225
april	i	172
	ii	106
	iii	93
	iv	96
	v	103
	vi	71

mei	i	66
	ii	60
	iii	58
	iv	123
	v	56
	vi	61
juni	i	45
	ii	37
	iii	94
	iv	62
	v	40
	vi	57
juli	i	53
	ii	48
	iii	56
	iv	44
	v	61
	vi	55
augustus	i	49
	ii	36
	iii	32
	iv	43
	v	36
	vi	32
september	i	37
	ii	41
	iii	28
	iv	37
	v	31
	vi	33
oktober	i	44
	ii	64
	iii	111
	iv	52
	v	52
	vi	45
november	i	58
	ii	96
	iii	62
	iv	78
	v	72
	vi	158
december	i	168
	ii	142
	iii	163
	iv	90
	v	76
	vi	213

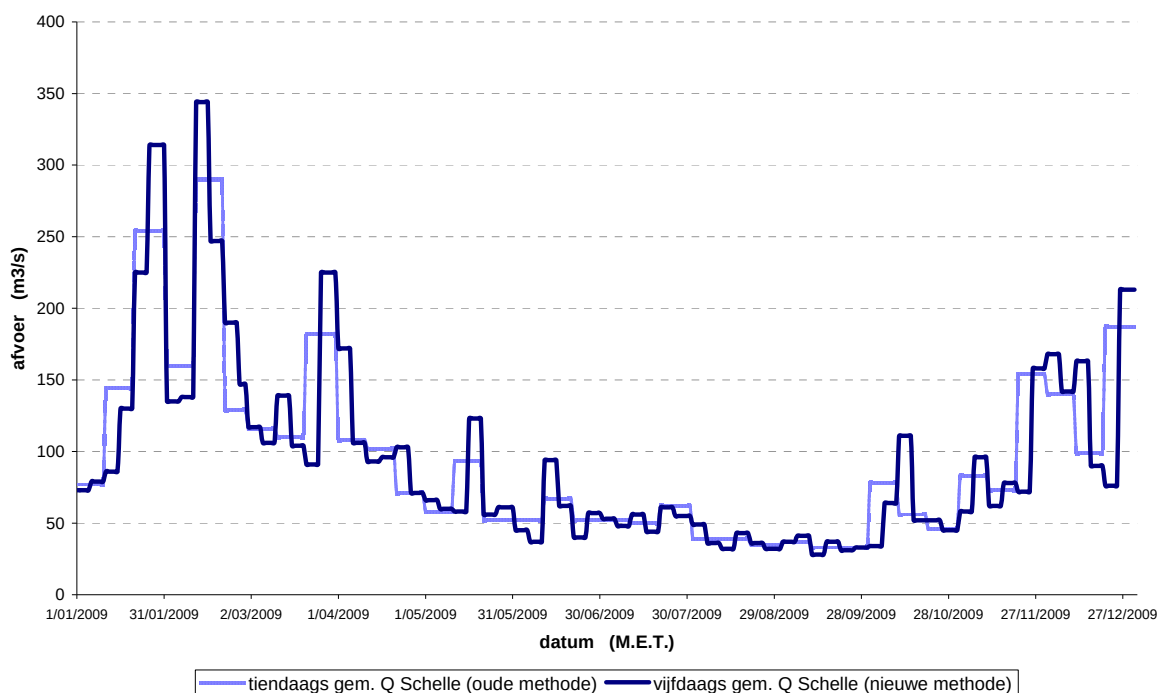
(alle bovendebiten in m3/s)

Het jaargemiddelde van al deze pentade-waarden is 95 m³/s zijnde hetzelfde als het via de klassieke methode van ir. Codde op decade-basis berekende waarde van 96 m³/s. Het verschil komt door het spel der afrondingen van alle 72 vijf- en 36 tiendaagse gemiddelden, alsook door de tijdsvertraging van elk ten hoogste vier dagen over de twee in geding zijnde jaarwendes heen.

Het grootste vijfdaagse gemiddelde te Schelle in 2009 komt voor in de derde pentade van februari, zoals te verwachten uit kennis (zie hoger in dit rapport) van de grootste was-periode in 2009, m.n. 344 m³/s. Het kleinste vijfdaagse gemiddelde was in de derde pentade van september, zulks met 28 m³/s.

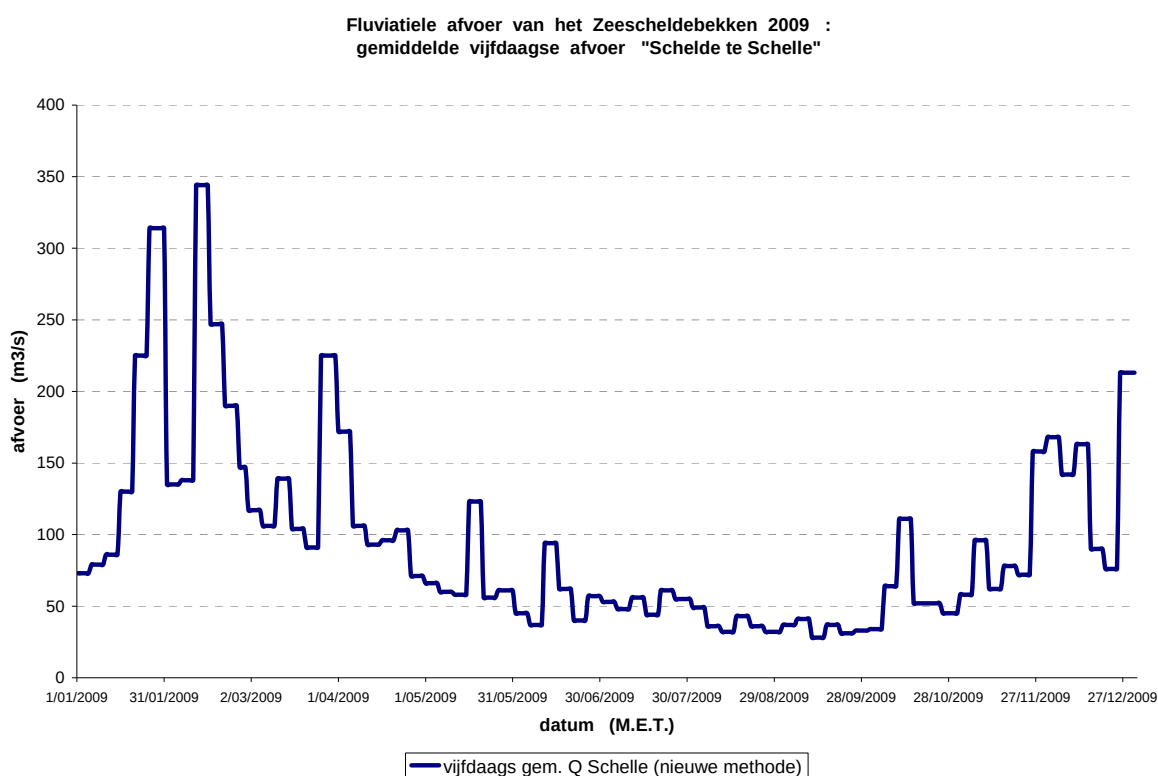
Voor eenieder die erg vertrouwd is met de decade-waarden en nog onvoldoende met de nieuwe methode via pentades, toont de volgende figuur zowel die decade-waarden samen met de vijfdaagse waarden. Uiteraard is de variatie van de opeenvolgende vijfdaagse waarden iets groter dan bij de tiendaagse waarden, want deze laatste zou men kunnen aanzien als een gemiddelde van vijfdaagse waarden, wat ze qua berekening evenwel niet zijn. En even uiteraard is er een na-ijling van vijfdaagse waarden op hun tiendaagse collega's te zien, want bij de methode ir. Codde wordt geen vertraging beschouwd tussen het optreden van de bovendebieten aan de rand van het tijgebied en hun doorkomen te Schelle, waar dat bij de nieuwe (vijfdaagse) methode naar werkelijkheid van de fysica der dingen wél het geval is.

Fluviatiele afvoer van het Zeescheldebekken 2009 :
gemiddelde tiendaagse en vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle"



Figuur 53 - Zeescheldebekken: afvoer volgens tiendaagse en vijfdaagse gemiddelde bovendebieten met name van de "Schelde te Schelle" over het jaar 2009

Tenslotte herhaalt onderstaande figuur 54 enkel de vijfdaagse bovendebieten (pentades) van het Zeescheldebekken te Schelle in 2009, zijnde een zeer belangrijke parameter in het (grotendeels seizoenale) verloop van conductiviteit, chloridegehalte, turbiditeit en suspensiegehalte in de Beneden-Zeeschelde, het volgens langsas verschuiven van de "maximum-turbiditeitszone" in diezelfde Beneden-Zeeschelde, en in de resulterende afwaartse fluxen van in het water opgeloste stoffen.



Figuur 54 - Zeescheldebekken: afvoer volgens vijfdaagse gemiddelde bovendebieten "Schelde te Schelle" over het jaar 2009 (nieuwe methode)
(alle bovendebieten zijn in m³/s)

3 Jaaroverzicht 2009 "fysische parameters"

3.1 aanduiding "fysische parameters"

3.1.1 algemeen

Hydrometrie-Schelde gaat over het meten, het verwerken, het presenteren, het interpreteren en het bestuderen van "fysische" elementen in het Zeescheldebekken. Het is de vanuit Antwerpse Zeediensten stammende zgde "Studiedienst", die -naar monitoring toe- vanouds de metingen van tij, afvoer, stromingen, en zgde "fysische parameters" doet.

De aanduiding "fysische parameters" speelt nader op parameters -buiten de waterstanden (tij) en de afvoer (bovendebieten)- van die elementen die voor het vroegere Ministerie van Openbare Werken en nu voor het huidige beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken, rechtstreeks van eigen belang zijn. Tot een dertigtal jaar terug ging het om de parameters temperatuur, chloridegehalte en hardheid, zowel in (en met nadruk) de Beneden-Zeeschelde, als het overige Zeescheldebekken, als aan de randen van het tijgebied. Einde jaren 1960 kwam ook de parameter opgeloste zuurstof in beeld, naar aanleiding van de Belgische vragen om de zgde "Rechttrekking van de Bocht van Bath" en om de aanleg van het "Baalhoekkanaal". Deze parameter was destijds zeer moeilijk om continu te monitoren, en werd een hoofdparameter bij de toenmaals reeds gestarte metingen bij kentering van laagwater, vaart van de Belgisch/Nederlandse grens tot Rupelmonde, aangevuld door een analoge vaart door Rijkswaterstaat in de Westerschelde van Hansweert tot de grens.

Toen bleek dat er -aan de randen van het tijgebied- een goede correlatie bestond tussen chloridegehalte en de hardheid, en de parameter hardheid binnen wat nu V.M.M. noemt als basisparameter werd bemeaten, viel die parameter voor Antwerpse Zeediensten weg. Er bleven dus enkel temperatuur en chloride-gehalte.

Met technisch betere mogelijkheden om ook op continue wijze turbiditeit te kunnen meten, om zo te trachten het suspensiegehalte te kunnen bepalen, werd ook deze parameter vrij intensief bij de systematische monitoring gevoegd. De omschakeling van eerstens optische (licht-)sensoren, in wezen "donkerheid"-meters (= opaciteitmeters), naar laser-detectie-meters, en de evolutie naar gecombineerde zeewaardige multiparametertoestellen, werden de als "fysische parameters" omschreven meetparameters als volgt:

- temperatuur (T°)
- conductiviteit (cond)
- chloridegehalte (Cl-)
- turbiditeit (Turb)
- suspensiegehalte (ZS of slibgehalte)
- en eerder singulier pH (pH)

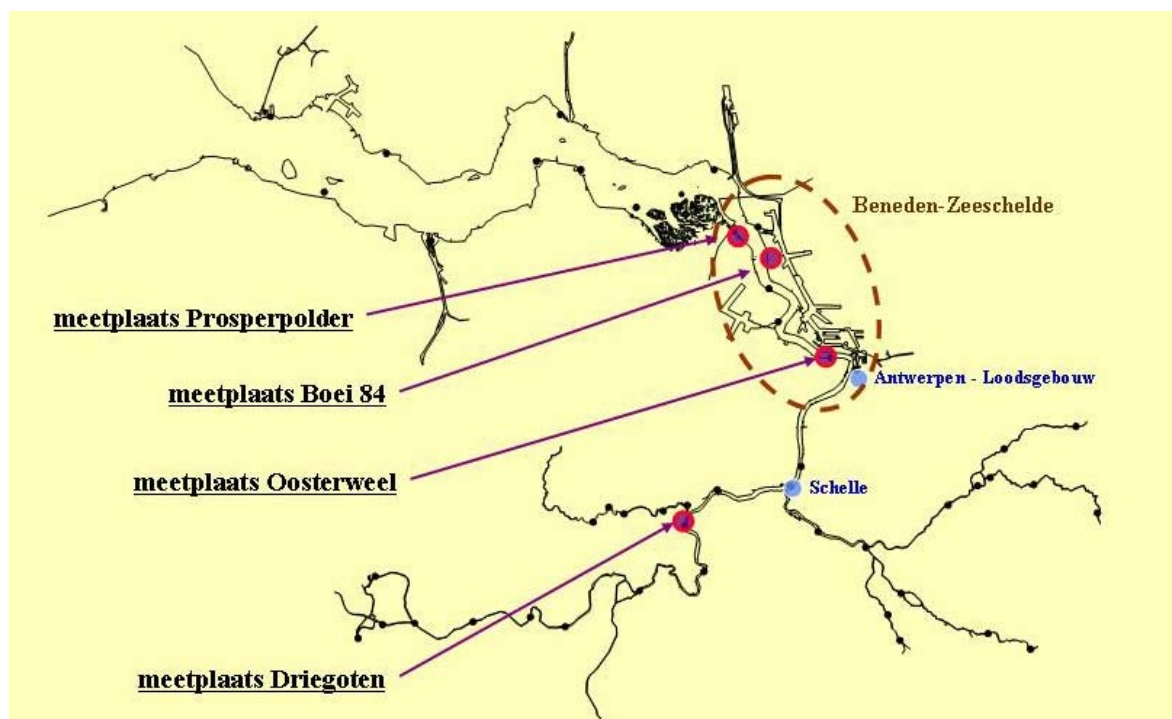
De stroomsnelheid (en stroomrichting) wordt al naargelang het geval, bvb. het meettoestel, al dan niet tot de reeks "fysische parameters" gerekend of apart beschouwd.

Buiten deze continue metingen, worden in de Zeeschelde nog singuliere vaarten gedaan zoals de al vernoemde kenteringsvaarten bij laagwater, maar evengoed ook deze bij kentering hoogwater, beide ééns per maand gevaren tussen Bath en Rupelmonde.

Buiten de Zeeschelde worden per maand ook "langs"-vaarten bemeten in de dokken van het havengebied Antwerpen-rechteroever en idem van het havengebied Antwerpen-linkeroever, doch deze vallen buiten de opzet van Moneos.

Momenteel worden door het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout, ter uitbreiding van de wensen aan eigen monitoring en tevens kaderend in de monitoring van Moneos, ook andere multi-parameter-toestellen aangekocht en verspreid in het Zeescheldebekken geplaatst, die buiten deze "klassieke" parameters ook meten: opgeloste zuurstof, zuurtegraad, redox-potentiaal, chlorofyl-a, blauwalgen enz.

3.1.2 meetlocaties "fysische parameters"



Figuur 55 - Zeescheldebekken: algemeen liggingsplan met aanduiding van de meetplaatsen van continue monitoring van de zgd "fysische parameters" I

De in dit rapport aan bod komende continue meetplaatsen zijn op bovenstaande figuur aangeduid, van af- naar opwaarts: Prosperpolder, Boei 84 (twee meettoestellen, op verschillende hoogte hangend), Oosterweel (ook twee toestellen) en Driegoten. Op de eerste meetplaats worden enkel temperatuur en conductiviteit gemeten, op de andere locaties de volledige set dus ook stroming, druk en turbiditeit.

Van belang is nog te weten dat bij deze continue metingen, "continu" wil zeggen "om de tien minuten", tenminste: er is om de tien minuten een meetresultaat, want de metingen zelf kunnen -al naargelang het meetinstrument- minder (van een paar seconden tot bvb. een minuut lang) duren. Deze meetfrequentie van tien minuten is gelijk aan oceanografische en estuariene standaarden, o.a. ook bij de Nederlandse Rijkswaterstaat. Zelfs al wordt frequenter gemeten, de uiteindelijke database gaat per tien minuten. Deze meetfrequentie blijkt in praktijk ruim voldoende te zijn, aangezien alle echte (fysische) variaties in de waarden van de meetparameters worden gevat, er bijna geen storingen optreden ("spikes") die tienminuut-waarden zouden doen vervallen, en het -praktisch- naar voeding en data-opslag allemaal zonder problemen kan om toestellen eventueel lange tijd, zonder bezoek, opgesteld te laten.

3.1.3 normale verlopen van "fysische parameters" in functie van het getij

De Aanderaa-multiparametertoestellen die de dienst uitmaken, meten temperatuur, conductiviteit (bij heersende temperatuur), stroomsnelheid, stroomrichting, druk (m.n. de som van atmosferische druk en druk van de waterkolom boven de meetsonde), en turbiditeit.

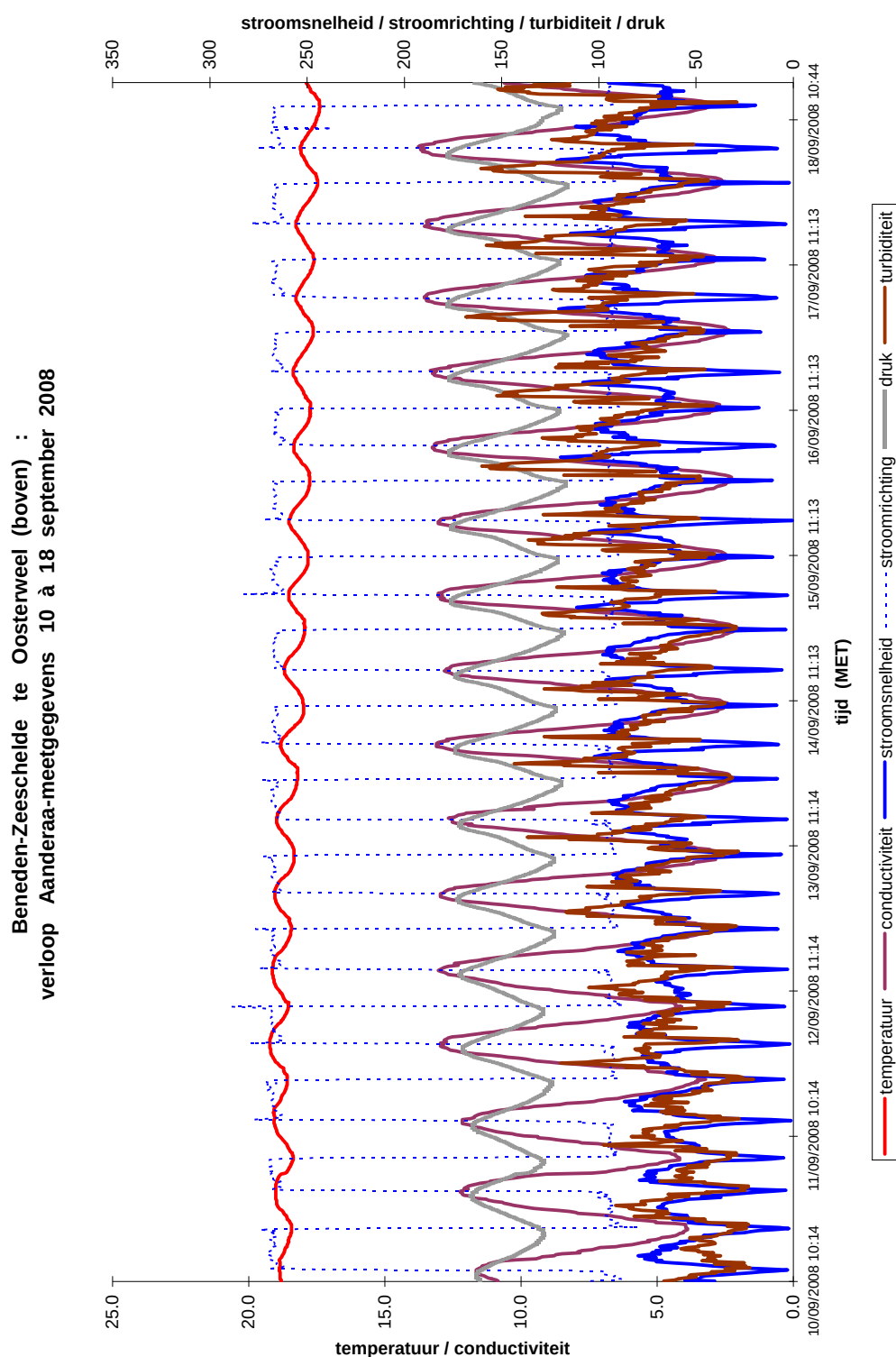
De parameter druk is bij onze continue metingen op zich niet zo waardevol, aangezien in het Zeescheldebekken, eender waar multiparametertoestellen worden geplaatst, meteen een tijmeter in de buurt staat die zonder omrekening de waterstand ter plaatse kan aangeven. De parameter druk wordt evenwel in verwerken en presenteren van de andere parameters gebruikt als een aangeven van of het laag- dan wel hoog-water is, of het om vloed dan wel eb gaat. Het vergemakkelijkt met andere woorden het vinden van zijn weg in de verlopen van de andere parameters. Deze druk wordt ook niet naar de eigenlijke "water"-druk omgerekend, gezien de (*weliswaar kleine*) invloed van veranderingen in de atmosferische druk.

In volgende figuur is het typisch verloop van de gemeten parameters over een week dus een halve springtij/doodtij-cyclus te zien. De druk is in grijze lijn aangeduid, en toont praktisch een tijverloop, op en neer gaande tussen ongeveer 120 en 185 kPa, meerbepaald bij laag- resp. hoog-waters bij springtij (aan rechterzijde van de grafiek).

De makkelijkst te herkennen parameter is temperatuur: de rode lijn met licht cosinusidaal verloop bovenaan de grafiek, in de gekozen periode (nazomer) dalend van 19.5 naar 17.5 °C.

De vrij opdringerige donkerbruine en zeer variërende lijn is het verloop van de turbiditeit, maat van de concentratie aan zwevende stof (in het jargon van "Openbare Werken" eerder suspensie-gehalte genoemd, en dikwijls nog kortweg (*doch pejoratief* ...) slibgehalte geheten). Aan linkerkant van de grafiek, zijnde doottijden, zijn de turbiditeitswaarden kleiner dan aan rechterkant, zijnde springtij, waar zelfs een verdubbeling van die waarden optreedt. Het valt ook op dat er relatief grote schommelingen in het turbiditeitsverloop optreden.

De volle blauwe lijn toont de stroomsnelheid, in absolute waarden, d.w.z. steeds positief voorgesteld al is het vloed, al is het eb. Tussen elke vloed en eb in, gaat de stroomsnelheid naar nul, soms inderdaad echt even nul, maar dikwijls slechts "bijna nul". Uiteraard is de snelheid bij het omdraaien van stroomrichting eventjes "nul", doch duurt die periode zo kort dat het met metingen om tien minuten niet geheel gevat wordt. Maar op zich is dat niet erg: het moment van de kentering wordt immers duidelijk bepaald.



Figuur 56 - typisch verloop van de tienminuut-metresultaten van Aanderaa-mettoestellen over een week (= halve springtij/doodtij-cyclus) met name temperatuur, conductiviteit (bij heersende temperatuur), stroomsnelheid, stroomrichting, druk (som van lucht- en waterdruk) en turbiditeit

In de grafiek is er nog een blauwe lijn, maar dan een streepjeslijn. Het gaat om de stroomrichting. In tegenstelling tot windrichting, waarbij gezegd wordt vanuit welke hoek de wind waait, is het bij stroomrichtingen -overigens conventioneel- net andersom: er wordt aangegeven naar welke hoek de stroom gaat. Zo zijn er waarden te zien van enerzijds ongeveer 95° à 100° (Noord is 0° = 360°) en dan gaat het op deze locatie Oosterweel om vloed dat naar het oosten stroomt, en anderzijds ongeveer 265° à 275° en dan is het hier eb dat naar het westen stroomt.

Wat moeilijker te zien, is de paarse lijn. Deze stelt de conductiviteit voor, meerbepaald deze bij heersende temperatuur. Het is een op en neer gaande lijn, ongeveer cosinusidaal, met op deze locatie en voor deze periode waarden tussen ongeveer 2 en 14 mS/cm. De conductiviteit van oppervlaktewater is functie van de opgeloste zouten én van de watertemperatuur, en kan gegeven worden bij heersende temperatuur, of kan omgerekend worden naar standaardwaarden van temperatuur. Waar zulks dertig jaar terug om een standaardwaarde van 15°C ging, evolueerde dat twintig jaar geleden naar 20°C en tegenwoordig wordt ook geregeld 25°C aangehouden.

Bovenstaande zaken geven zeer algemeen het verloop van zgde "fysische parameters" weer, als voorbeeld te Oosterweel, voor een tiental dagen, gaande van doodtij over middeltij naar springtij. Het is een voorbeeld. In navolgende paragrafen worden die parameters apart of gekoppeld nader besproken, en worden jaaroverzichten over 2009 gepresenteerd.

Alvorens daaraan begonnen wordt, is het evenwel nodig om het (normale) verloop van het (enkelvoudig) tij (gemiddeld 12u25min) in het Zeescheldebekken meer in detail uit te leggen, o.m. om het begrip kentering te tonen.

Figuur 57 geeft een typisch verloop van die zgde "fysische parameters" bij doodtij, en figuur 58 bij springtij, telkens over één etmaal, om zaken nog duidelijker te maken. Uiteraard zijn de verlopen bij doodtij "kalmer" en "kleiner" dan bij springtij, uitgezonderd de stroomrichting die onafhankelijk van het tijverschil vloed naar (hier op de meetplaats te Oosterweel) het oosten en eb naar het westen doet stromen, op enkele graden na elk steeds constant.

De eerste echte verlooplijn waarop aandacht moet getrokken worden, is de grijze lijn van de druk. Het gaat om de som van de atmosferische druk en de druk uitgaande van de waterkolom boven de meetsonde, en aangezien het toestel op constante hoogte boven de bodem blijft dus het tij die waterkolom doet vergroten (van LW naar HW toe) en verkleinen (omgekeerd van HW naar LW toe) Omdat de atmosferische druk maar een kleine rol in die som speelt, wordt de druk in wezen beschouwd als zijnde het tijverloop. Het dient uiteindelijk niet als tijverloop, want dat wordt gehaald uit de nabijgelegen tijmeetlocatie, in meter T.A.W. en niet in drukeenheid (hier kPa) dat dan nog met dichtheid van het Scheldewater moet omgezet worden naar een echte waterhoogte. De parameter druk wordt dus enkel gebruikt als een goede indicator om snel uit tabellen en grafieken te lezen of het laag- of hoogwater is, of stijgend dan wel dalend water.

Bij doodtij is het tijverschil kleiner dan bij springtij, hetgeen dan ook geeft dat het drukverschil bij doodtij kleiner is dan bij springtij, hetgeen in beide navolgende figuren is af te lezen.

Om even de andere parameters te overlopen:

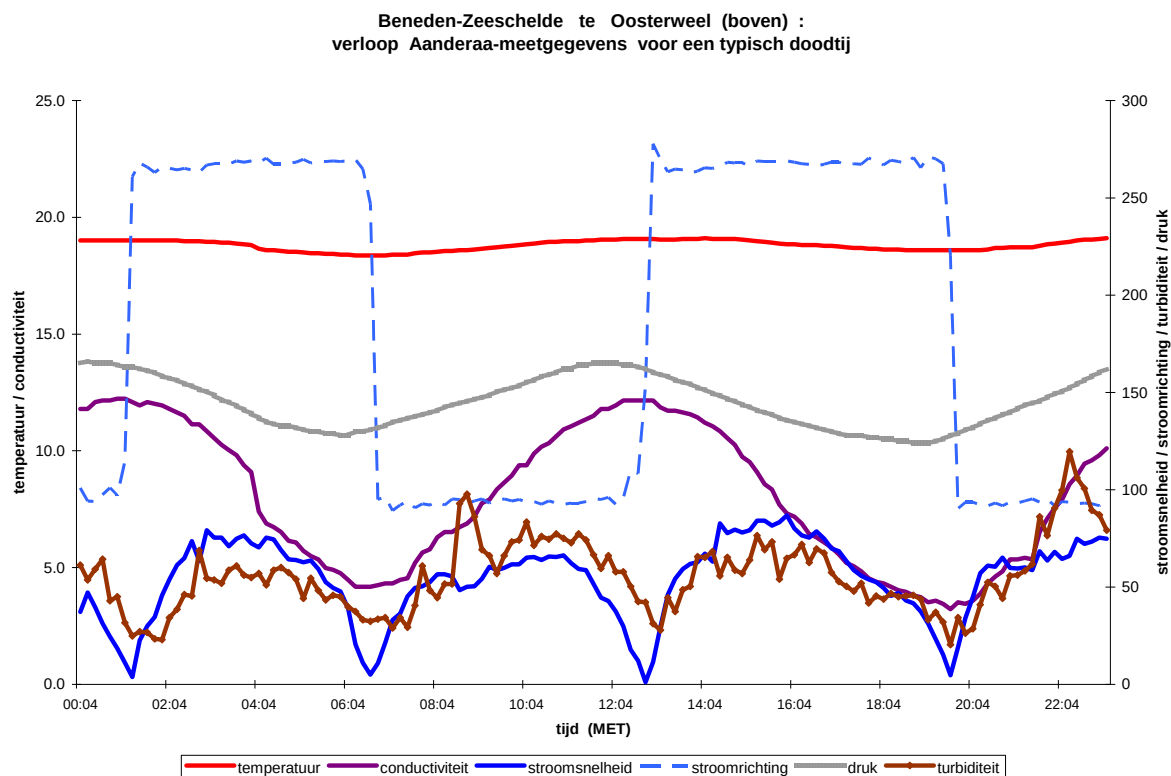
- stroomrichting (de blauwe streepjeslijn): het is een soort Heaviside-functie ("stap-functie" of ook "kantelen-verloop" genoemd), waarbij het plots overgaan van enkele uren durende stroomrichting (bvb. van vloed) naar nadien enkele uren durende andere stroomrichting, met ongeveer 180° tussen beide waarden van stroomrichting in, ... waarbij die plotse overgang NIET op maxima of minima van het drukverloop geschiedt, doch steeds iets nadien. Het fysische proces is kortweg dat van de inertie, waarbij bij stijgend water uren vloed heerst (vloed = waterstroming vanuit zee), doch waar bij het moment van hoogwater zelf de vloedstroming nog een tijdje door blijft gaan om pas na een kwartuur tot driekwartuur soms een uur, de stroming van zin verandert ("kentert") en in eb (= stroomrichting naar zee) overgaat. Het waterpeil is dan al flink gedaald. Hetzelfde doet zich voor bij overgang van eb naar vloed, met een kentering iets na laagwater. De stroomrichting gaat dus niet mee met hoog- en laagwater, doch wel met vloed en eb, en er is een tijdsverschuiving tussen hoogwater (HW) en kentering van hoogwater (KHW), en tussen laagwater (LW) en kentering van laagwater (KLW).

- stroomsnelheid (de volle blauwe lijn): is hier steeds als een positieve waarde voorgesteld, omdat het meettoestel buiten snelheid tevens richting meet en weergeeft, en uit die combinatie vloed of eb kan afgeleid worden. Binnen hydraulische modellen van estuaria, wordt doorgaans vloed als positieve zin gezien, en is eb negatief. Ook hier valt meteen op dat de stroomsnelheden groter zijn bij springtij en kleiner bij doortij, en dat deze bij springtij nog meer schommelen dan bij doortij. In bijgaande voorbeelden gaan de stroomsnelheden bij doortij tot 75 cm/s en bij springtij tot bijna 125 cm/s, waarbij moet aangemerkt worden dat die stroomsnelheden te Oosterweel op een constante hoogte boven de bodem worden gemeten, dus bij laagwater eerder hoog in de waterkolom doch bij hoogwater eerder laag tot iets onder halverwege de verticale. Dat heeft uiteraard zijn weerslag; de stroomsnelheid is groter over de bovenste waterlagen van de verticale, en wordt klein vlakbij de bodem.

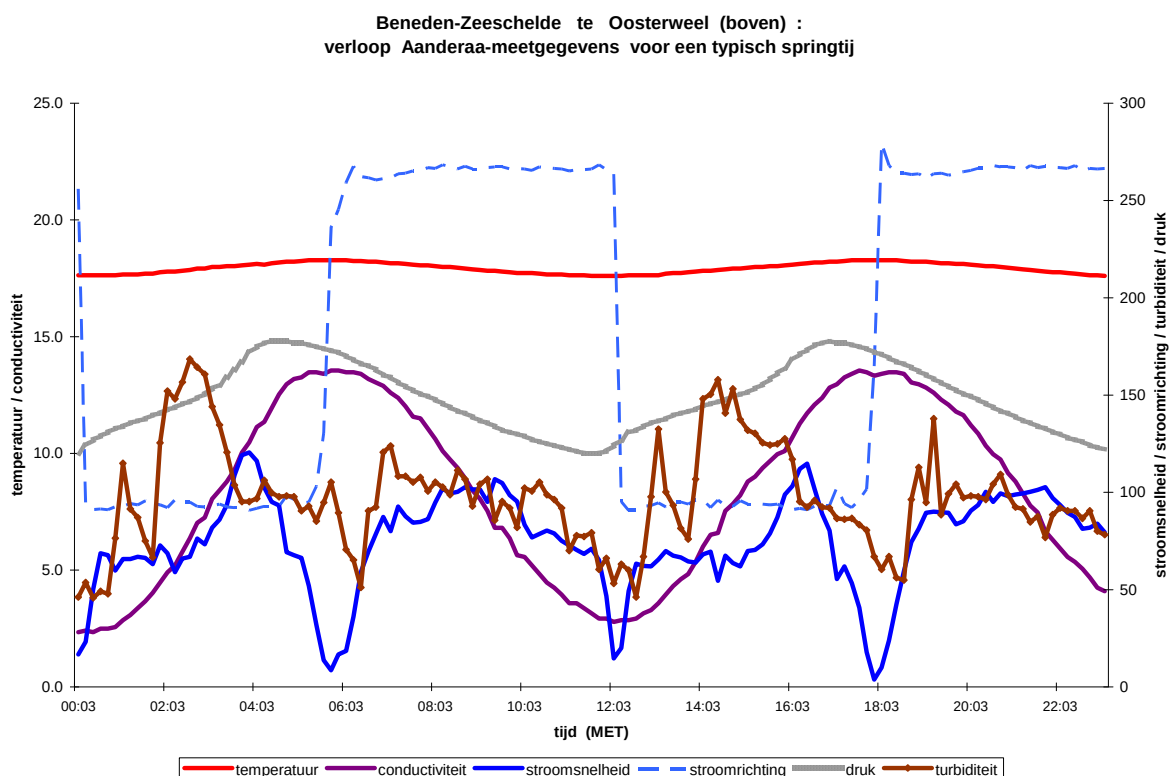
- temperatuur (de rode lijn bovenaan de grafiek): het cosinusidaal verloop heeft maxima bij de maxima van het drukverloop, dus bij hoogwater. Minima treden op bij minima van het drukverloop dus bij laagwater. Wat meteen niet juist is: de extrema van het temperatuurverloop vallen nogal exact op de momenten van plaatselijke kenteringen. In dit voorbeeld is de temperatuur lager bij KLW, doch dit hangt af van locatie en van seizoenen. In Westerschelde en in de afwaartse Beneden-Zeeschelde is het wél steeds duidelijk: vloed brengt altijd kouder water aan, eb altijd warmer water. Bij KHW is de watertemperatuur dan ook kleiner dan bij KLW. Maar in het opwaartse deel van de Beneden-Zeeschelde en in de Bovenschelde is het doorgaans omgekeerd. Oosterweel ligt net tussen die beide zones in, zodat het temperatuursbeeld doorheen de seizoenen wisselt.

- conductiviteit (de paarse lijn): hier heerst een duidelijk cosinusidaal verloop, maar met extrema die steeds en overal duidelijk gelinkt zijn aan KHW en KLW: onafhankelijk van het temperatuursverloop stroomt zout water steeds vanuit zee naar land; de afvoer van het hydrografisch bekken van het tijgebied is arm aan chloriden, terwijl het in zeewater abundant is. Het aandeel van de chloriden in zeewater is, ook aan onze Noordzeekust, ongeveer constant, nl. 19.5 g op 35.5 g totale zeezouten, maar beide waarden schommelen al naargelang de locatie aan onze kust en al naargelang de seizoenen. Maar de verhouding van 55% chloride op 100% zeezout blijft nagenoeg constant. Dit is niet meer het geval als het zeewater in zijn weg naar opwaarts met landwater wordt verdund. Dan komen ook andere ionen bij, en bvb. wordt het aandeel van carbonaten groter dan in zeewater het geval is. De verhouding van chloride op totaal opgeloste zouten (waarvan een deel "zee"-zouten doch naar opwaarts meer en meer "land"-zouten) wordt kleiner. Het geldt vrij uniform dat de parameter chloride sterk aanwezig is in Westerschelde doch naar opwaarts toe verkleint, om in Beneden-Zeeschelde sterk te verkleinen, en dan verder opwaarts zeer klein te blijven. Ook geldt uniform dat binnen één getij het maximum van chloride-gehalte valt op praktisch exact KHW, en het minimum op KLW. Het op een locatie aanwezig zijn van chloride is gebonden aan het aan- of afstromen van zout water, dus niet op de extrema van de waterstand doch op de kenteringen. Aangezien in de Beneden-Zeeschelde het chloride veruit het meest voorkomende ion is, is het verloop van de conductiviteit er ten volle een afspiegeling van.

- **turbiditeit** (in bruine lijn): de turbiditeit is een maat voor de aanwezigheid van vaste deeltjes in het water. In onderhavig geval handelt het om het gehalte aan suspensiemateriaal, en omdat het in de waterkolom van de Beneden-Zeeschelde meestal gaat om fijn materiaal, wordt het vaak aangegeven als slibgehalte. Dat begrip weze best niet overal aangehouden, gezien enige pejoratieve bijklank, doch ook omdat het niet geheel samenvalt met de 63 (64) micrometer die in grondmechanica granulometrisch het onderscheid tussen "slib" (eigenlijk "silt") en "fijn zand" maakt. In estuariene morfologie wordt nl. ook gerekend met rheologische klassen, en uitgaande van het feit dat "fijn zand" er zich tot grootte van (afgerond) 100 micron rheologisch als "silt" gedraagt, wordt de grens van 63 micron vaak verlegd naar 100 micron. De met Aanderaa-mettoestellen gemeten turbiditeit moet ook in die zin begrepen worden. Indien via ijkmonsters en filtering van turbiditeit naar concentratie aan suspensiemateriaal wordt overgegaan, geschiedt ook geen eerdere scheiding op 63 micron, maar worden grote korrels, als ze duidelijk een aparte korrel te midden van "het slib" zijn, wat al eens kan voorkomen, en ook ongerechtigheden zoals "pakbaar" organisch materiaal, er eerst uit gehaald. Buiten de granulometrie moet aangegeven worden dat turbiditeit ook de kleuring van het water zelf inhoudt. Aangezien het meten van de turbiditeit geschiedt via laser-backscattering, telt ook de vorm van de granulen. Kleur en vorm verschillen van seizoen tot seizoen; het gehalte aan suspensiemateriaal uiteraard ook. Turbiditeit wordt uitgedrukt in NTU, "Nephelometric Turbidity Unit", wat een universele maat is. De omzetting van turbiditeit naar gehalte aan suspensiemateriaal is echter een seizoenaal en lokaal gegeven, dat regelmatige ijking vergt. Tot daar enige uitleg over het soms verwarrende begrip "turbiditeit". Op de figuren 57 en 58, bij doottij resp. springtij, is het grillige verloop van turbiditeit te zien, met beduidend grotere waarden bij springtij, en in eenzelfde type tij grotere waarden bij steeds dezelfde momenten binnen het tijverloop zelf. Doch dergelijke zaken zijn zeer plaatsgebonden. Algemeen kan gesteld dat grotere waterstromingen ook grotere waarden aan turbiditeit geven, en aangezien de grootte van de watersnelheid ook verbonden is aan de maat van stijging of daling per tijdsperiode (bvb. tien minuten) van het tijwater, is turbiditeit ook verbonden aan het tijverloop.



Figuur 57 - typisch verloop van de tienminuut-metresultaten van Aanderaa-mettoestellen met name temperatuur, conductiviteit, stroomsnelheid, stroomrichting, druk en turbiditeit en zulks bij een doottij (gedurende één etmaal)



Figuur 58 - typisch verloop van de tienminuut-meetresultaten van Aanderaa-meettoestellen met name temperatuur, conductiviteit, stroomsnelheid, stroomrichting, druk en turbiditeit en zulks bij een springtij (gedurende één etmaal)

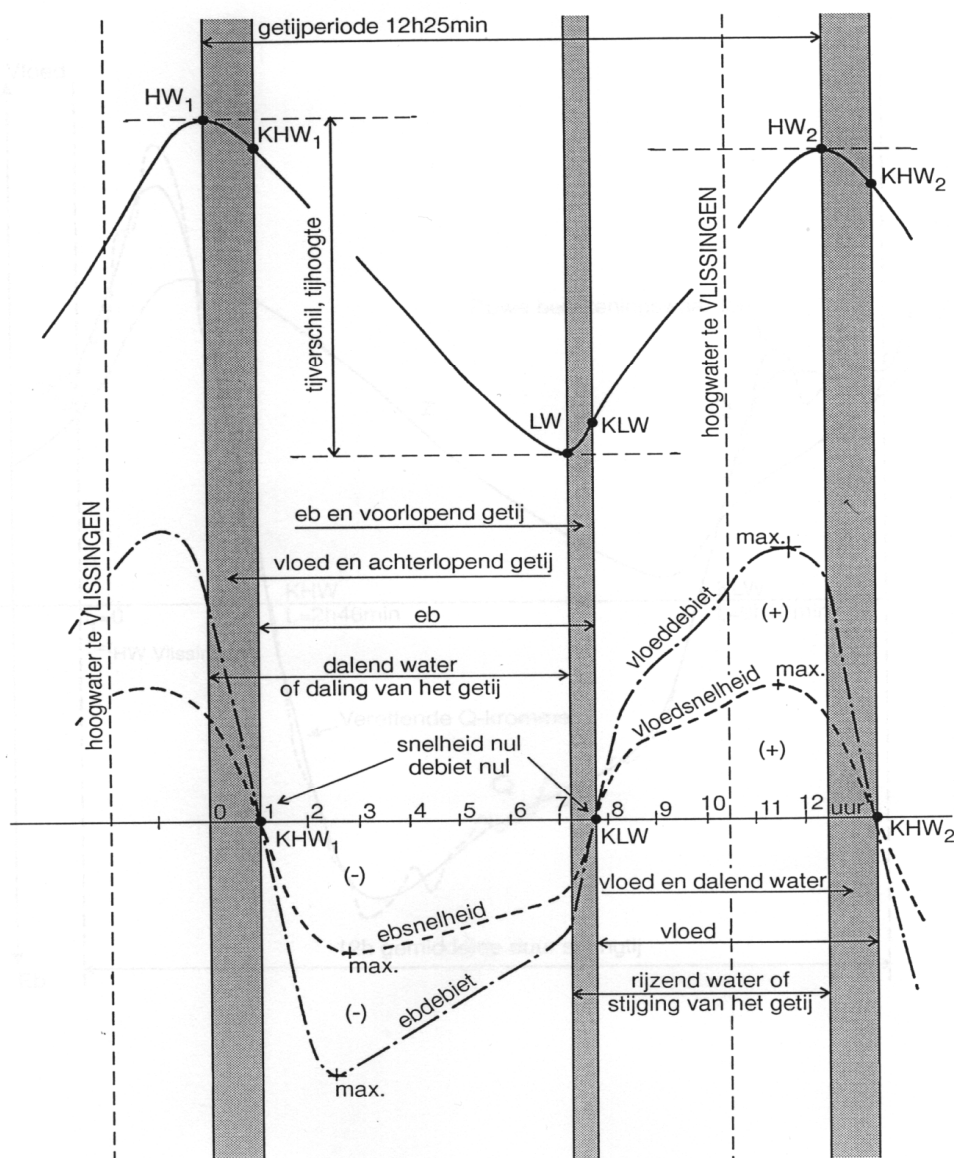
Nogmaals: de waarden van en het verloop gedurende een tij, van druk, stroomsnelheid en stroomrichting, turbiditeit, en van de duur van kenteringen, hangt af van de locatie, van de diepte onder waterlijn of vanaf bodem, van het type tij (doodtij/middeltij/springtij), van de seizoenen (invloed bovendebiet Schelle op bvb. turbiditeit en conductiviteit) (invloed luchttemperatuur), enz. De op vorige bladzijden getoonde beelden zijn dus niet universeel geldig. Bvb. of de stroomsnelheden bij vloed inderdaad steeds of doorgaans groter zijn dan deze bij eb, hangt af van de plaats in de dwarssectie, eigenlijk van het algemeen stroombeeld van dat vak ten aanzien van de invloed van bochten in de rivier. Zo wordt onderscheid gemaakt tussen wat heet vloed-dominante plaatsen tegen eb-dominante.

Figuur 59 geeft een algemeen (gemiddeld) beeld van het tijverloop te Antwerpen, maar geldt voor de regio Vlissingen-Dendermonde, mits aanpassingen in tijd en hoogte qua waterstand, of in grootte qua debiet en snelheid. Daarom is de zgde y-as niet getalmatig uitgedrukt. De figuur wil enkel een algemene schets geven, en enkele benamingen juist stellen. Het is ook geen beeld van een meetpunt (x,y,z) ergens in de rivier, maar geeft het verloop van waterstand, snelheid en debiet aan zoals geldt over een ganse dwarssectie.

Toch zijn de typische trekken goed geschetst: na hoogwater heerst er een relatief lange kenteringsduur, waar na KHW een vrij gelijkmatige daling van de waterstand optreedt (tijdens de kentering zelf was die nl. relatief matig per tijdseenheid), met een op een kwart van eb grootste ebsnelheid en grootste ebdebiet, waarna eb-snelheid en -debiet verkleinen doch relatief groot blijven, tot LW zelf, en pas dan maar snel tot nul reduceren. Een relatief korte kenteringsduur na laagwater geeft wel al een behoorlijke stijging van het waterpeil te zien, doch de vloed-snelheid en -debiet zetten pas een uur na LW flink in, om gestaag te vergroten tot ongeveer een uur voor HW : "maximum-vloed" genaamd. Maar opmerkelijk: bij HW zelf heerst er nog een zeer grote vloodsnelheid, weliswaar iets kleiner (relatief) dan bij maximum-vloed.

Tijdens de kenteringsduur verkleinen vloed-snelheid en dus -debiet van nog grote waarden tot nul, volgens een lineair verloop.

In principe zou turbiditeit dat verloop van snelheid volgen, de omgevingsfactoren zoals aanvoer van bovendebieten daar gelaten. Het verloop van temperatuur en conductiviteit gaat van kentering naar kentering, met daarbij schommelingen die afhankelijk zijn van het debietverloop, nl. de tij-gerelateerde aanvoer of afvoer van warmer/kouder of zouter/zoeter Scheldewater.



Figuur 59 - typisch verloop van het tij: verloop van de waterstand (bovenaan), het debiet doorheen de ganse dwarssectie (zie ebdebiet en vloeddebiet), en de gemiddelde waterstroomsnelheid door de ganse dwarssectie (zie ebsnelheid en vloedsnijheid).

Buiten druk (dus waterstand), stroomsnelheid en stroomrichting, hebben ook temperatuur, conductiviteit en turbiditeit hun typische verlopen in functie van het tij, zie figuren 57 en 58 voor de locatie Oosterweel, voor een gemiddeld doottij resp. een gemiddeld springtij.

Zoals al hoger vermeld, volgen de verlopen van temperatuur en conductiviteit (en dus ook van chloridegehalte) het tijverloop van kentering naar kentering. Conductiviteit (en chloridegehalte) is bij KHW steeds groter dan bij KLW. Temperatuur kan groter zijn bij KHW als bij KLW, of omgekeerd, al naargelang locatie en seizoen, hoewel het in de Beneden-Zeeschelde afwaarts Kallo wél éénduidig is: met vloed komt tot Kallo steeds kouder water naar opwaarts en met eb gaat steeds warmer naar afwaarts, zodat de temperatuur bij KHW steeds kleiner is dan bij KLW. Het verschil tussen die waarden bij KHW en KLW, bvb. dag op dag of week op week genomen, of met het feit van nieuwe berekeningsmethode van de afvoer van het Zeescheldebekken (bovendebieten Schelde te Schelle) op vijfdaagse basis en met inrekening van tijdsvertraging, per opeenvolgende vijfdaagse periode, ... het verschil tussen die waarden bij KHW en KLW is niet constant, noch absoluut noch procentueel. Het hangt af van de seizoenen, en uiteraard per locatie. In ieder geval is het regel dat het verschil tussen de waarden van temperatuur en conductiviteit (en dus chloridegehalte) mee gaat met het tijverschil, dus dat het verschil kleiner is bij doottij dan bij middeltij, en dat het bij springtij groter is dan bij middeltij.

Het verloop van de turbiditeit is ingewikkelder. In principe moet het -andere omstandigheden gelijk blijvend- mee gaan met de stroomsnelheid. Aangezien de stroomsnelheden per tij afhankelijk zijn van het tijverschil, hoort ook hier een nauwe band met doottij, middeltij en springtij. Normaliter is (op een vloed-dominante meetlocatie) het verloop bij een gemiddeld springtij: na laagwater komen rond éénkwart en tweekwart van vloed, periodes voor met piekwaarden, en daalt de turbiditeit na maximum-vloed. Bij dit gezegde moet evenwel voorzichtigheid geboden worden en mag niet veralgemeend worden; deze zaken zijn zeer plaatsgebonden, niet alleen waar in de rivier, maar ook de wijze van ophangen/opstellen van het meettoestel: ofwel op constante diepte onder watervlak ofwel op constante hoogte boven bodem, geeft beduidende invloed. Het verloop van de turbiditeit is inderdaad de moeilijkste om te vatten, zowel om metingen uit te werken, kenmerkende waarden van te bepalen, en het onderwerp goed te presenteren.

3.1.4 normale verlopen van "fysische parameters" in functie van de seizoenen

Sommige verlopen van zgde "fysische parameters" van Scheldewater zijn schijnbaar te triviaal om te vernoemen, en toch. Dat de watertemperatuur meegaat met de beter gekende luchttemperatuur, is algemeen bekend. Dat daarbij een na-ijling optreedt, is ook nog ruim bekend. Toch blijft de temperatuur een basis-parameter bij quasi alle monitoringen.

Zoals hoger al ruim kon begrepen worden, is er -overigens al vele jaren- een continue meting (om tien minuten) op de locatie Oosterweel. Ook in 2009 hingen twee Aanderaa-toestellen op constante hoogte boven de bodem, nl. één met sondes op ongeveer een meter boven de bodem, en het andere op ongeveer 4,5 meter boven de bodem, dus ongeveer een meter onder laag-laagwaterpeil. Beide toestellen meten met dezelfde frequentie dezelfde parameters.

Voor stroomsnelheid, druk en turbiditeit is er uiteraard een fysisch verklaarbaar beduidend verschil tussen de meetwaarden van het bovenste en het onderste meettoestel. Voor temperatuur en conductiviteit is er geen of slechts weinig verschil, gezien de zeer goede menging van het Scheldewater en gezien de kleine verschillen op eenzelfde ogenblik in die regio, eender aan linker- dan wel aan rechteroever, dan wel bovenaan als onderaan de verticale.

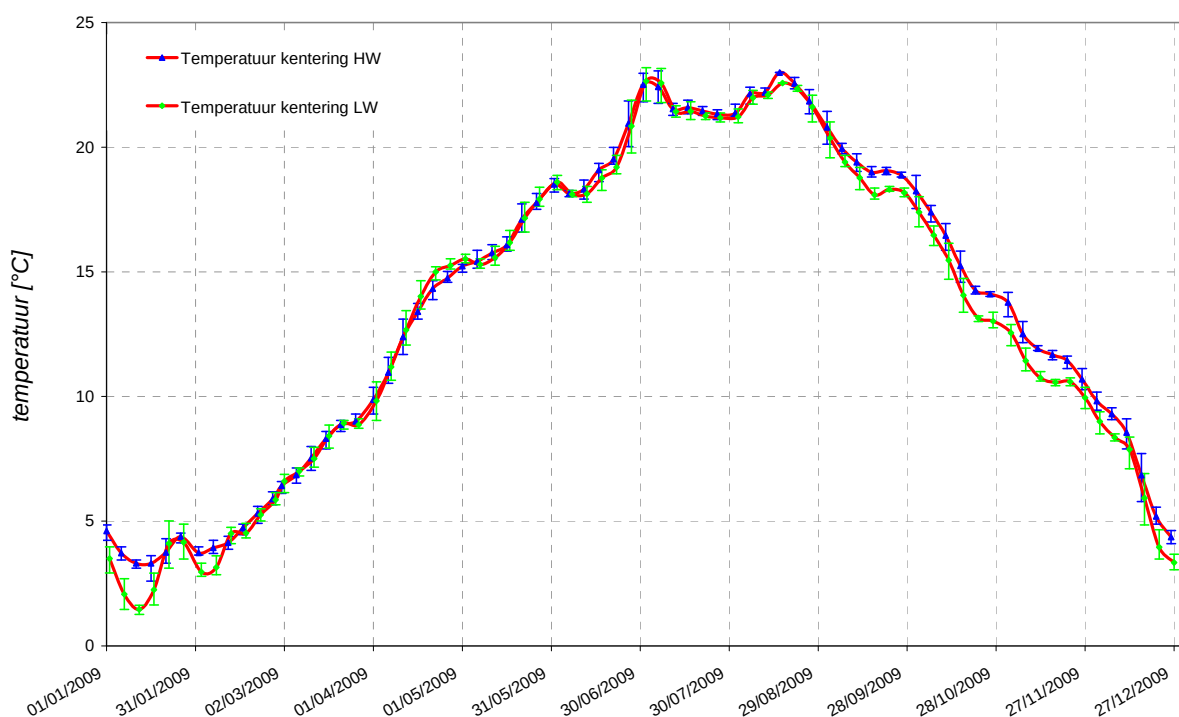


Figuur 60 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: foto van de meetdukdalf met aan linkerkant (opwaartse zijde) de twee kranen elk dragend een Aanderaa-RCM9-meettoestel en aan rechterkant (afwaartse zijde van de dukdalf) de meethut met tij- en meteo-meting

Aldus kan figuur 61 met het jaarverloop 2009 van de watertemperatuur te Oosterweel bij enerzijds kentering van hoogwater en anderzijds kentering van laagwater begrepen worden. Zoals hoger aangegeven komen de tij-afhankelijke extrema van temperatuur (zoals van conductiviteit) voor bij KHW en KLW.

In die figuur 61 is het verloop over het jaar gegeven per waarde van vijfdaagse periode, identiek aan de vijfdaagse perioden zoals hoger gedefinieerd bij het berekenen van de bovendeelten van "de Schelde te Schelle", ook al doet dat bovendeelte in dit geval van watertemperatuur niet correlatief terzake. Per meetwaarde is ook de spreiding per vijfdaagse periode naar grootste en kleinste waarde aangegeven.

Alleszins geven de waarden per vijfdaagse periode een goed beeld. De temperatuur tussen KHW en KLW verschilt iets van nature, en de mate waarin is afhankelijk van de seizoenen. In voorjaar en zomer is het verschil klein, doch in winter en herfst kan het temperatuursverschil tussen deze bij KHW en de naburige KLW's tot een tweetal °C oplopen. Wat ook kan gemerkt worden, is dat het te Oosterweel niet éénduidig is dat het Scheldewater bij KHW steeds kouder is dan deze bij KLW zoals in de Westerschelde en in de Beneden-Zeeschelde afwaarts Kruisschans wél steeds het geval is. Hier is er een seizoenale afhankelijkheid, nl. dat in winter en in de jaarperiode waarbij het Scheldewater algemeen kouder wordt, de temperatuur (te Oosterweel! want dat is plaatsafhankelijk!) bij KHW groter is dan bij KLW. Daar speelt het "warmtehart" van de Beneden-Zeeschelde: de thermische lozingen van elektriciteitscentrales en vanuit diverse vnl. petrochemische industrieën, speelt een rol. Dat mag evenwel niet zomaar veralgemeend worden tot temperatuursmetingen op andere locaties.



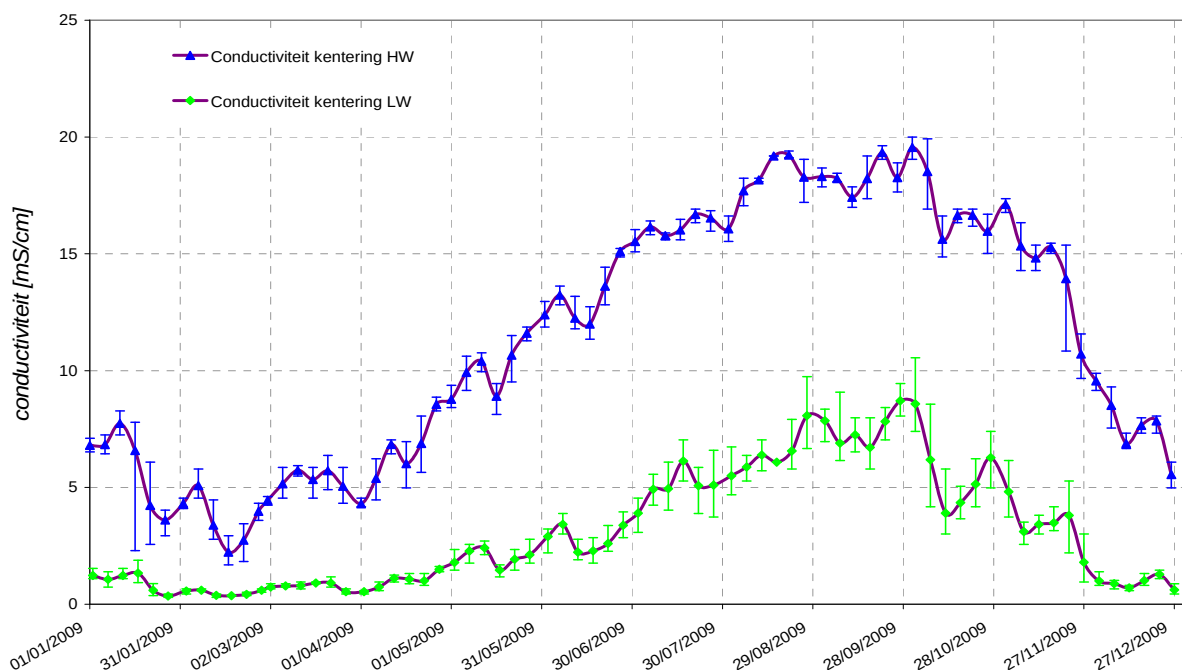
Figuur 61 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop 2009 van de watertemperatuur per vijfdaagse periode, met onderscheid naar de temperatuur bij KHW en bij KLW

De volgende figuur toont het jaarverloop in 2009 van de conductiviteit van het Scheldewater te Oosterweel. Dat verloop geldt typisch voor alle locaties in de Westerschelde en in het Zeescheldebekken. De conductiviteit hangt -zie hoger- in hoofdzaak af van het gehalte aan zeewater zegge chloride, en gezien het in figuur 62 handelt om de conductiviteit bij heersende temperatuur, hangt het ook af van die watertemperatuur (doch in Westerschelde en in Beneden-Zeeschelde is dat in mindere mate dan van chloride).

Alleszins is het bij KHW steeds conductiever dan bij KLW, zonder uitzondering. Het verschil tussen de grotere conductiviteit bij KHW en de lagere bij KLW, is wel veranderlijk doorheen het jaar. Het is relatief klein tot vrij klein in de winter, en groot tot flink groot in voorjaar, zomer en na-zomer. De precieze periodes van ofwel kleiner dan wel groter verschil hangt af van de grootte van het bovendebiet van "de Schelde te Schelle", dat immers een grote rol speelt in het aandeel zeewater op een locatie, en van de temperatuur. Mooie nazomers (kleine bovendebieten, grote dag- en nacht-temperaturen) geven aanleiding tot een langdurig grote waarde van de conductiviteit bij KHW en ook doch in iets mindere mate, althans hier te Oosterweel, bij KLW. De locatie Oosterweel ligt qua het verloop van chloridegehalte dus conductiviteit, in een brakke overgangszone, daar waar mooie nazomers in Westerschelde (en beperkter in Beneden-Zeeschelde afwaarts Kruisschans) aan-houdend grote waarden (bijna "zee"-waarden) van conductiviteit geven zowel bij KHW als bij KLW.

Dat het verschil tussen conductiviteit bij KHW en bij KLW in een tij-dag zo groot kan worden, is opmerkenswaardig en typisch voor de brakke overgangszone waarin Oosterweel ligt. KLW geeft in wezen een achtergrondwaarde terwijl KHW aanleiding geeft tot uiteenlopende waarden, van niet veel groter bij flinke afvoer van het Zeescheldebekken, tot veel groter bij kleine (vooral aanhoudend kleine) afvoer.

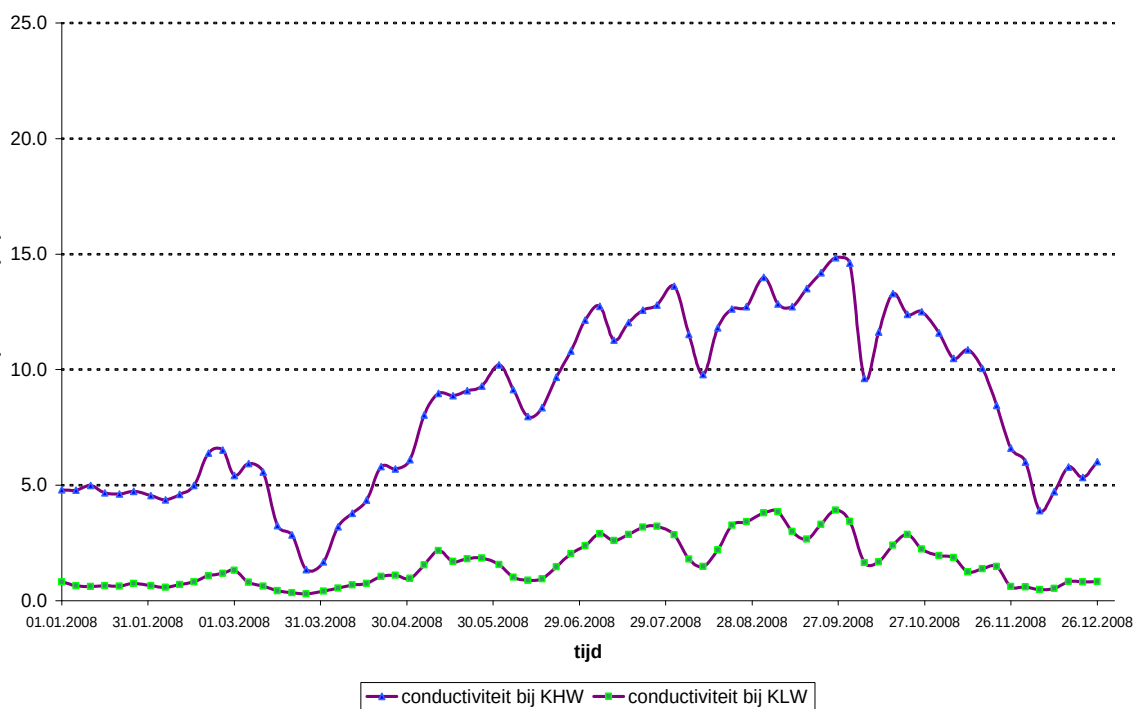
Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: verloop conductiviteit 2009 gedurende het jaar



Figuur 62 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop **2009** van de conductiviteit per vijfdaagse periode, met onderscheid naar de conductiviteit bij KHW en bij K LW

en ter vergelijking het verloop van het jaar daarvoor :

Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: verloop conductiviteit 2008 gedurende het jaar



Figuur 63 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel: jaarverloop **2008** van de conductiviteit per vijfdaagse periode, met onderscheid naar de conductiviteit bij KHW en bij K LW

Met opzet zijn op vorige bladzijde twee jaargrafieken van het verloop van de conductiviteit te Oosterweel gegeven, met name (bovenaan) over 2009 en (onderaan) 2008.

Wanneer 2009 meteorologisch gekenmerkt was door zowel een langdurig vrij warme zomerperiode als een ook langdurige zomer- en nazomer-periode van zeer weinig neerslag, vertaalt zich dat in alsdan zeer kleine bovenafvoer van zoetwater naar het Zeescheldebekken en dus aan "de Schelde te Schelle". Die beide meteorologische kenmerken (langdurig vrij warm plus tegelijk -en zelfs nog langer- langdurig weinig neerslag) kunnen aangemerkt worden als ééns om de 25 jaar te gebeuren. Dergelijk "recordmatig" fenomeen moet zich dan ook uiten in de conductiviteit en het chloridegehalte van het Scheldewater in de Beneden-Zeeschelde.

Het voorbeeld van beide grafieken van vorige bladzijde geldt de meetlocatie te Oosterweel. Voor 2008 is een vrij normaal verloop van de conductiviteit te zien; maximumwaarden bij KHW zijn rond en om 14 à 15 mS/cm (d.w.z. tot bijna 6 g/l chloridegehalte) en deze duren elk maar twee à drie weken. In 2009 werd de waarde van 15 mS/cm gedurende bijna 20 (!) weken aanhoudend overschreden, met een maximum van 20 mS/cm. Dat is een waarde die bij gemiddelde meteorologische omstandigheden van temperatuur en neerslag, voorkomen te Prosperpolder, toch 20 km afwaarts gelegen, wat onderstreept dat in 2009 vrij recordmatige waarden van conductiviteit en chloridegehalte te Oosterweel zijn opgetreden. Uiteraard geldt dat niet alleen te Oosterweel, want geldt het voor de ganse Beneden-Zeeschelde, en deint het uit tot in het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde en in de Rupel, waar normaal bijna zoet water heerst doch de omschrijving "brak" gedurende weken op zijn plaats is geweest.

Bovenstaand verhaal over zeer grote waarden in zomer en nazomer van conductiviteit en van chloridegehalte bij kentering van hoogwater, geldt ook voor evenzeer grote waarden bij kentering van laagwater. Het voorbeeld van het jaarverloop te Oosterweel van 2008 versus 2009 spreekt voor zich: als in 2008 geen enkele waarde van conductiviteit bij KHW groter is dan 5 mS/cm, was er in 2009 een periode van liefst 17 weken dat die waarde wél werd overschreden, met een maximum van iets meer dan 10 mS/cm.

Nogmaals: dit voorbeeld gaat over de meetlocatie te Oosterweel, maar moet in zijn betekenis zondermeer uitgebreid worden over de ganse Beneden-Zeeschelde en zelfs tot in (het afwaartse deel van) de Boven-Zeeschelde en in de Rupel. De mate waarin zal plaats per plaats verschillen, o.m. door -in langsas bekeken- de helling in ogenblikkelijk verloop van de conductiviteit en van het chloridegehalte, zo moment per moment, als per KHW of per KLV. Die helling is beduidend groter in de regio Kallo-Antwerpen dan afwaarts en opwaarts ervan. Opwaarts verkleint dat "langs-verhang" in chloride dermate en wordt uiteindelijk zeer flauw, zodat er geen groot verschil meer is tussen conductiviteit of chloridegehalte bij KHW en bij KLV.

Blijft dat 2009 naar conductiviteit en chloridegehalte is gekenmerkt door uitzonderlijk grote waarden, zegge met kans op optreden van ongeveer ééns om 20 à 25 jaar.

3.2 verloop 2009 stroomsnelheid- en richting meetlocaties Zeeschelde

3.2.1 verloop van stroomsnelheid

In vorige paragrafen werd al het verloop van stroomsnelheid en -richting doorheen een tij-dag en doorheen een springtij/doodtij-cyclus aangegeven. De waarden van stroomsnelheid rond en om de kenteringen zijn zeer klein tot bijna nul, en blijken op zich geen fysische betekenis te hebben om er jaarbeelden of evoluties van aan te maken.

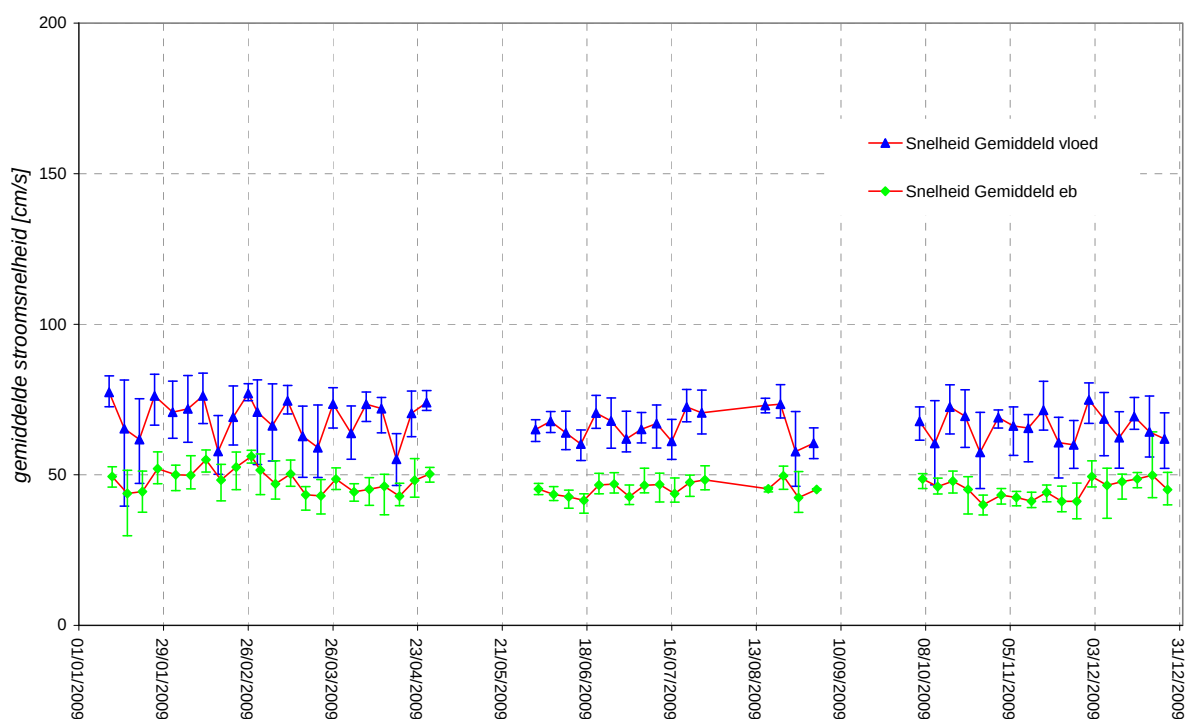
Worden rond en om het moment van de kenteringen, de stroomsnelheden tussen een bepaalde (kleine) tijdsduur voor kentering tot een andere bepaalde (ook kleine) tijdsduur na kentering, niet beschouwd, dan kunnen gemiddelde stroomsnelheden voor de overgebleven tijdsduren van vloed resp. eb bepaald worden. Deze hebben wél een fysische betekenis: bij springtij zijn ze groter dan bij middeltij die dan weer groter zijn dan bij doortij. Bij stormtij kunnen die stroomsnelheden beduidend groter zijn. In wezen is de stroomsnelheid vooral een functie van het tijverschil. Vraag is of doorheen het jaarverloop, het omgaan met tijdsduren rond en om de kenteringen om de aldan kleine of nul-stroomsnelheden buiten beschouwing te laten, handig is. Gekozen is om niet met dergelijke tijdsduren te werken, doch met een snelheidsminimum: stromingen met kleinere snelheden worden buiten beschouwing gelaten, enkel de grotere worden -apart per vloed en per eb- behandeld. Men kan bvb. (en dit gaat af op ervaring én proberen) een minimumsnelheid van 0,20 of 0,25 m/s nemen, in dit rapport 20 cm/s. Tenminste: indien het gaat om meetpunten waar de morfologie niet van belang is. Is deze immers wél van belang, bvb. stroomsnelheden over slikken en platen, dan kunnen grotere minimumwaarden genomen worden, beneden dewelke de morfologische effecten op die slikken en platen nl. (te) klein zijn.

Buiten de aldus bepaalde "gemiddelde" stroomsnelheden bij vloed en bij eb, gelden ook de "maximum" stroomsnelheden bij vloed en eb als fysisch kenmerkend. Ook hier speelt het tijverschil dé rol van betekenis, dus is er grote afhankelijkheid van doortij, middeltij, springtij, stormtij.

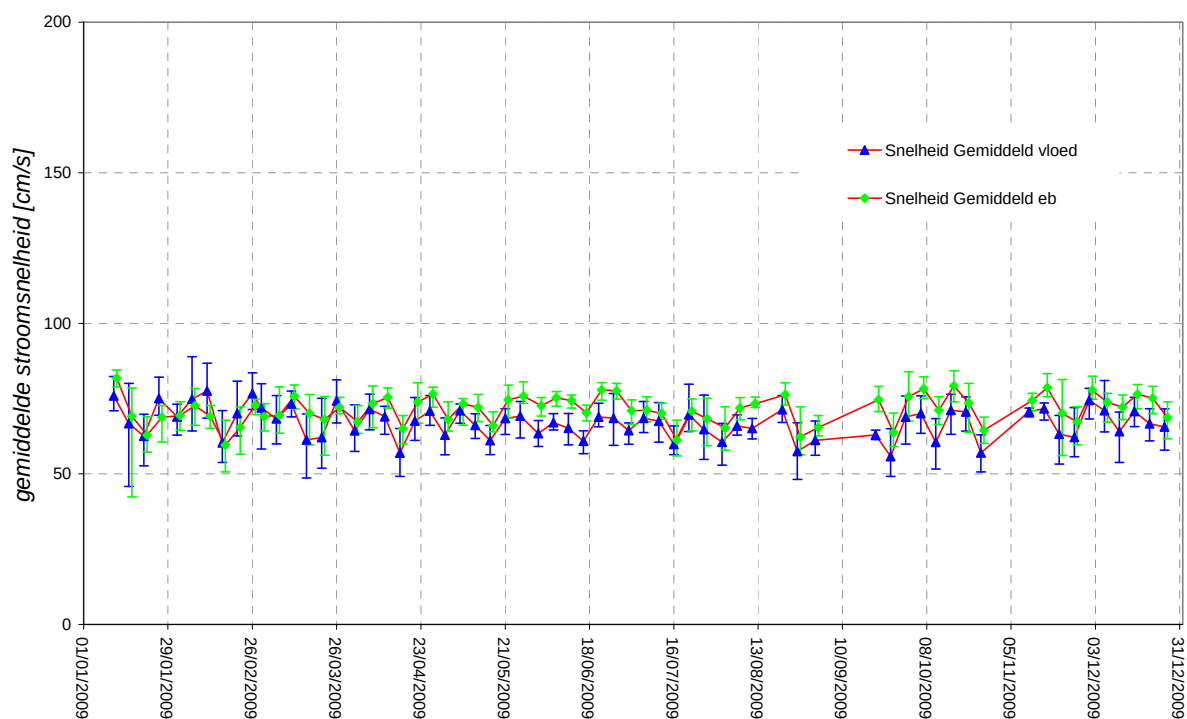
In de vier navolgende figuren 64 t/m 67 zijn resp. de gemiddelde (fig. 64 en 65) stroomsnelheden bij vloed en bij eb, en de maximale (fig. 66 en 67) stroomsnelheden bij vloed en bij eb weergegeven voor resp. de locaties Boei 84 en Oosterweel. De verlopen tonen de gemiddelde resp. maximale waarden aan per vijfdaagse periode (nl. de blauwe en groene punten, verbonden door rode lijnen) alsook de minimale waarde en de maximale waarde in elke vijfdaagse periode (als een soort van verticale fouten-balk doch hier zijnde een bereik-balk).

De conclusies zijn duidelijk: steeds is het patroon van doortij/middeltij/springtij te herkennen. De stroomsnelheden bij vloed zijn ook groter dan bij eb, zowel gemiddelde stroomsnelheden als maximale stroomsnelheden, al is het verschil te Oosterweel kleiner dan aan Boei 84. Dat is een plaatsgebonden resultaat; de maximale stroomsnelheden zijn duidelijk altijd groter.

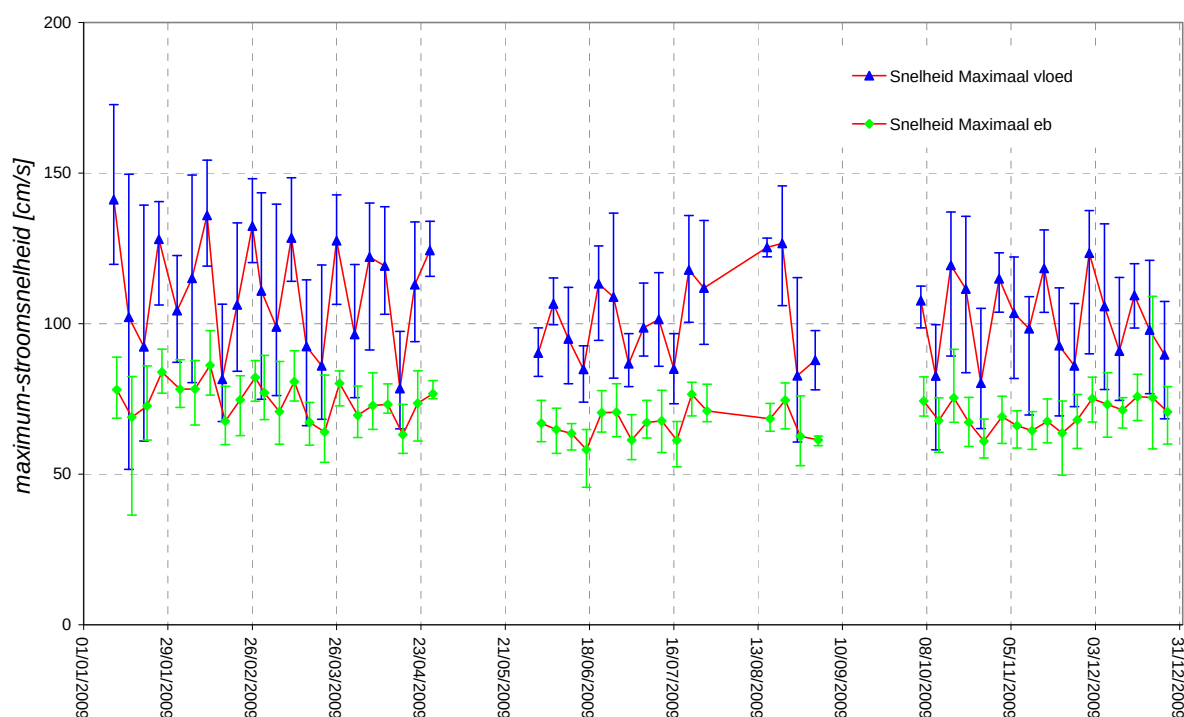
Rond en om de gemiddelde waarden per vijfdaagse periode, zijn flinke variaties in het bereik mogelijk.



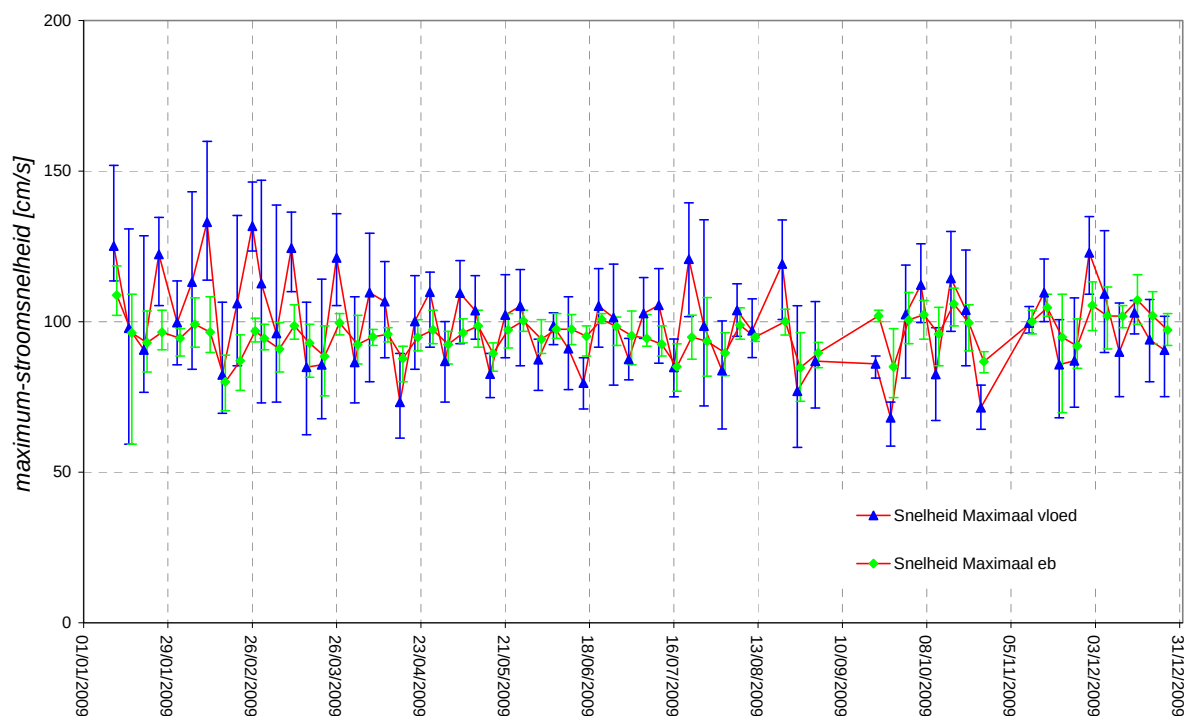
Figuur 64 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 : (bovenste meettoestel)
jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb



Figuur 65 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel : (bovenste meettoestel)
jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de gemiddelde stroomsnelheid over vloed en over eb



Figuur 66 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 : (bovenste meettoestel)
jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de maximale stroomsnelheid over vloed en over eb



Figuur 67 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel : (bovenste meettoestel)
jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de maximale stroomsnelheid over vloed en over eb

3.2.2 verloop van stroomrichting

De Aanderaa-RCM9-multiparametertoestellen meten de vectoriële watersnelheid in een horizontaal vlak, tot een drietal meter rondom de meetsonde. Buiten de absolute grootte van snelheid is dus ook de stroomrichting gekend. Deze geldt in het horizontale vlak, en wordt klassiek uitgedrukt in 360-delige graden t.o.v. Noord.

Noot: de water-stroomrichting duidt de zin aan waarnaar de stroming gaat, in tegenstelling tot windrichting.

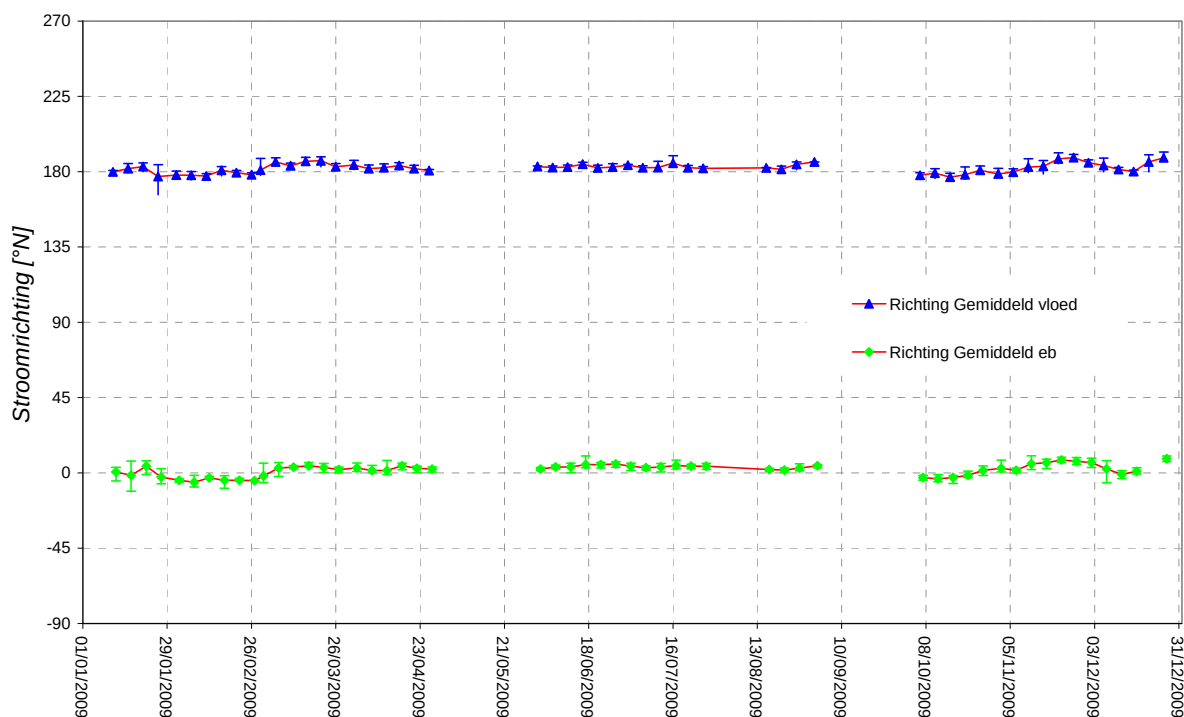
De twee volgende figuren tonen de stroomrichting over het jaar 2009. Zoals verwacht is er een vrij éénduidige stroomrichting bij vloed, en een andere evengoed vrij éénduidige bij eb, en is er een verschil tussen beide van ongeveer 180°. De stroomrichting per locatie en dan per vloed resp. eb, varieert voorts niet (of amper) gedurende de seizoenen. De grafieken 68 en 69 spreken voorts voor zich.

Het gaat telkens over de gemiddelde stroomrichting per vloed resp. eb, en dan nog staat één grafiekpunt voor een vijfdaagse periode. Het bereik per vijfdaagse periode is door verticale streepjes aangeduid.

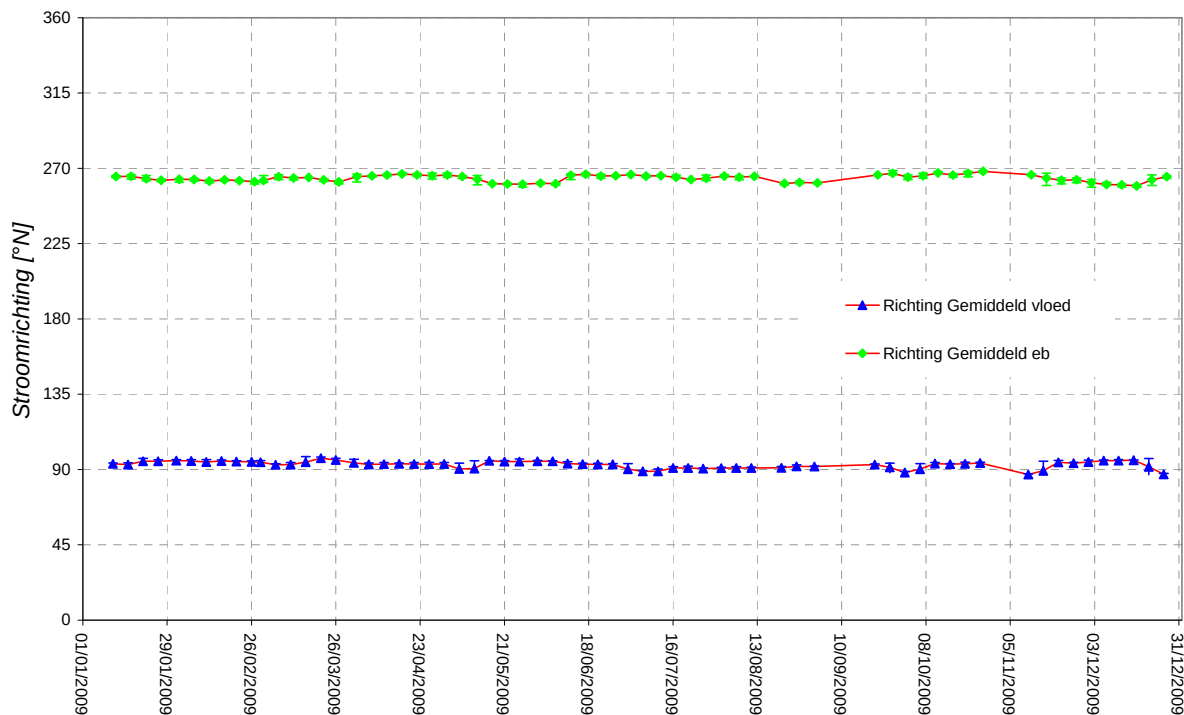
In werkelijkheid is het ook zo: vloed gaat voor ongeveer 95% van zijn tijd volgens één richting plusminus enkele graden. Idem voor eb. Het verschil tussen vloed-richting en eb-richting is ongeveer 180°.

Er is in de Beneden-Zeeschelde aan Boei 84 of te Oosterweel geen verschil in stroomrichting volgens vloed resp. eb tussen het type tij (doodtij/middeltij/springtij). Dat is in de Westerschelde op vele plaatsen anders, gezien het feit van slikken en platen, en van hoofd-, zij- en dwarsgeulen. Dat geeft trouwens ook aanleiding tot variatie van de stroomrichting gedurende een vloed en gedurende een eb. In de Beneden-Zeeschelde zijn er ook dergelijke locaties, bvb. nabij de strek- en leidammen tussen de grens en Doel.

De buiten die 95% resterende tijden zijn deze bij de kenteringen, waarbij de stroomrichting soms zeer variabel kan zijn, en het rondgaan van de vloedrichting naar de ebrichting (of omgekeerd) soms "twijfelend" gebeurt, doorgaans wel -locatie per locatie- volgens eenzelfde draaizin (bvb. met of tegen de klok). Maar dat handelt dus enkel om het moment van kenteren, waarbij de stroomsnelheden bijna nul zijn, en de tijdsduren ervan zeer kort, dus niet over zegge 95% der tijd.



Figuur 68 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 : (bovenste meettoestel)
jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de gemiddelde stroomrichting over vloed en over eb



Figuur 69 - Beneden-Zeeschelde te Oosterweel : (bovenste meettoestel)
jaarverloop 2009 per vijfdaagse periode van de gemiddelde stroomrichting over vloed en over eb

3.3 verloop 2009 temperatuur continue meetlocaties en langsvaarten

3.3.1 verloop van temperatuur op continue meetplaatsen Zeeschelde

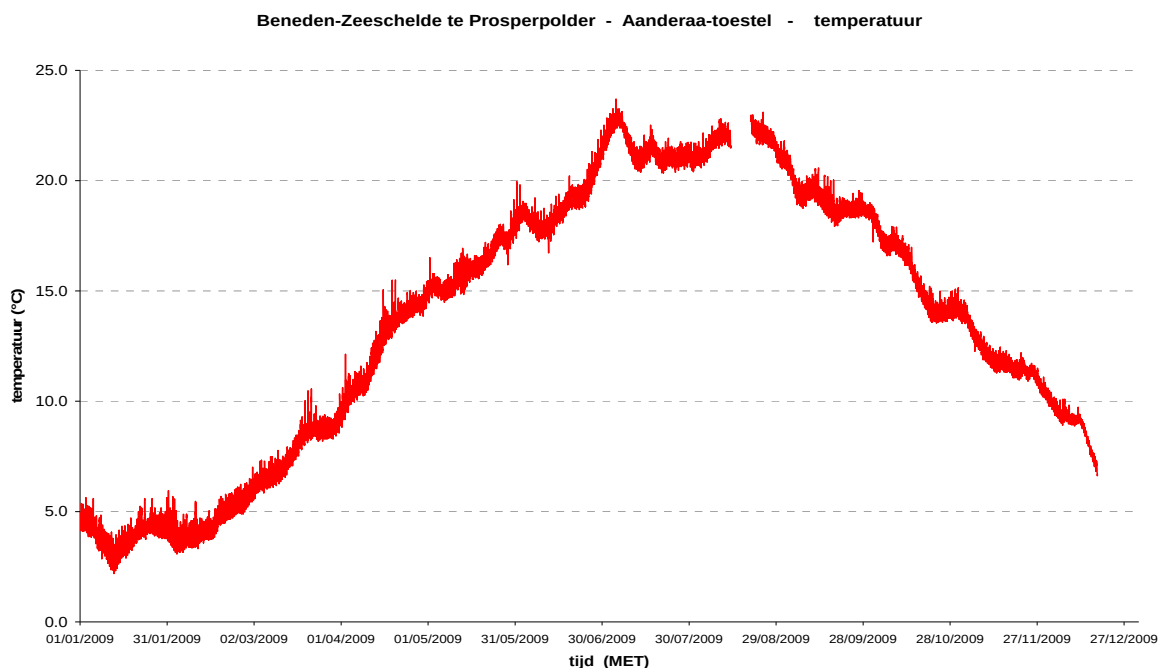
Zowel te Prosperpolder, Boei 84, Oosterweel als Driegoten wordt de watertemperatuur continu gemeten. Zoals al hoger aangehaald, betekent "continu" een meting om de tien minuten. Te Prosperpolder en te Driegoten is er telkens één meettoestel, en aan Boei 84 en te Oosterweel handelt het om twee toestellen op eenzelfde verticale. De meetsondes staan resp. op ongeveer één meter en ongeveer 4,5 meter boven de bodem, dat laatste punt dus ongeveer een meter onder het peil van laag-laagwater. Alhoewel: voor meting van watertemperatuur doen twee of meer metingen over de verticaal weinig. Door de grote menging is er zeer weinig verschil in temperatuur tussen het bovenste en het onderste toestel. Er is wel een verloop gedurende een tij, zie hoger in dit rapport onder de paragrafen 3.1.3 en 3.1.4. Dat maakt dat de temperaturen, net zoals de conductiviteit en het chloridegehalte, bepaald worden bij de kenteringen. Het ongeveer cosinusidale verloop tussen KHW en KLW en dan terug naar KHW, verschilt licht van meetlocatie tot meetlocatie.

Het temperatuursverloop te Prosperpolder en aan Boei 84 is duidelijk: onafhankelijk van de seizoenen is het Schelde-water steeds iets kouder bij KHW dan bij KLW. Het temperatuursverschil is niet constant, en hangt al af van het tijverschil: hoe groter het tijverschil des te groter het verschil in temperatuur bij de kenteringen. Het verschil bij de opeenvolgende kenteringen in een tij, een dag, enz. kent ook een kleine seizoenale invloed, want bedraagt minder in het voorjaar bij opwarming van het Scheldewater, dan in andere periodes. Het temperatuursverloop te Prosperpolder en aan Boei 84 toont daarmee eenzelfde globaal beeld als in de Westerschelde en geldt ook voor de Beneden-Zeeschelde afwaarts Kruisschans: vloed brengt van afwaarts kouder (en ook zouter, doch dat staat hier los van) water aan tot een tijdelijk minimum wordt bereikt waarna het, met eb, weer "warmer" wordt.

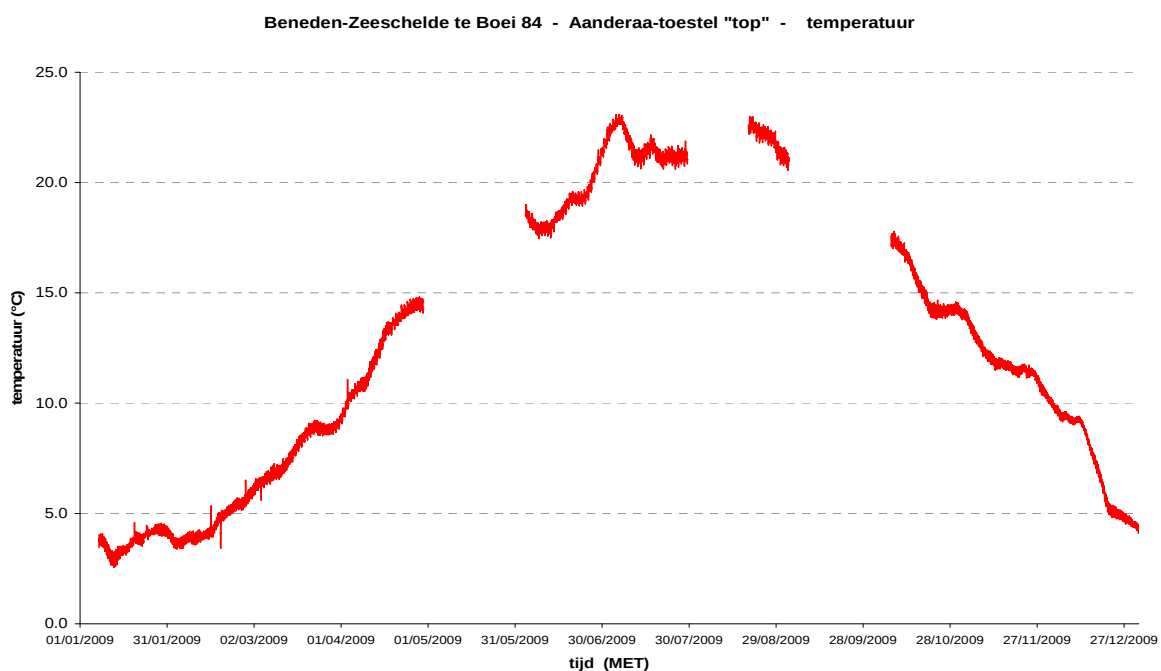
Het temperatuursverloop te Oosterweel wijkt daar iets van af. De reden is dat het om een overgangszone gaat waarbij het feit of het bij KHW iets warmer of iets kouder is dan bij de omringende KLW's, van de seizoenen afhangt. Figuur 61 gaf al de verlopen aan: of KHW warmer dan wel kouder is dan KLW kan niet aan een "warmere" of aan een "koudere" periode worden gerelateerd. Hier is er een seizoenale afhankelijkheid, nl. dat in winter en in de jaarperiode waarbij het Scheldewater algemeen kouder wordt, de temperatuur te Oosterweel bij KHW groter is dan bij KLW. Daar speelt het "warmtehart" van de Beneden-Zeeschelde: de thermische lozingen van elektriciteitscentrales en vanuit diverse vnl. petrochemische industrieën, speelt een rol. Dat mag evenwel niet zomaar veralgemeend worden tot temperatuursmetingen op andere locaties.

Op de twee navolgende bladzijden zijn vier jaargrafieken over 2009 van de watertemperatuur gegeven, resp. te Prosperpolder, aan Boei 84, te Oosterweel en te Driegoten. De figuren zijn op eenzelfde schaal zodat vergelijking zondermeer mogelijk is.

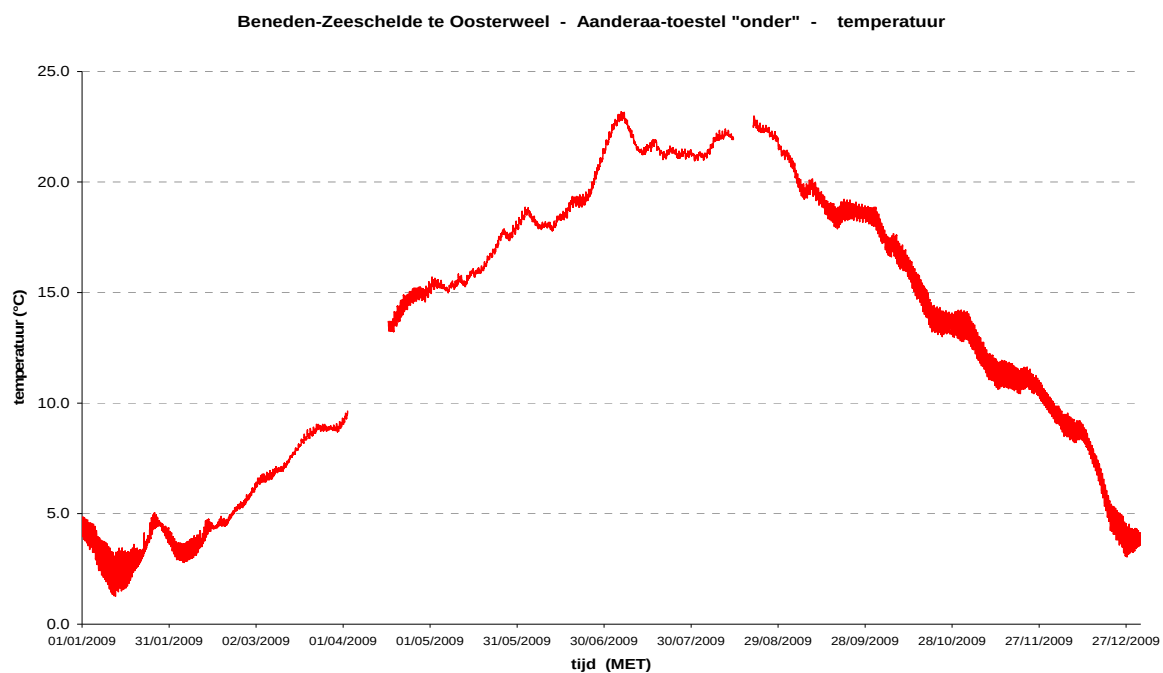
Onderbrekingen in de grafieklijnen zijn veroorzaakt door periodes van het tijdelijk wegnemen van het meettoestel voor calibratie, of door defecten.



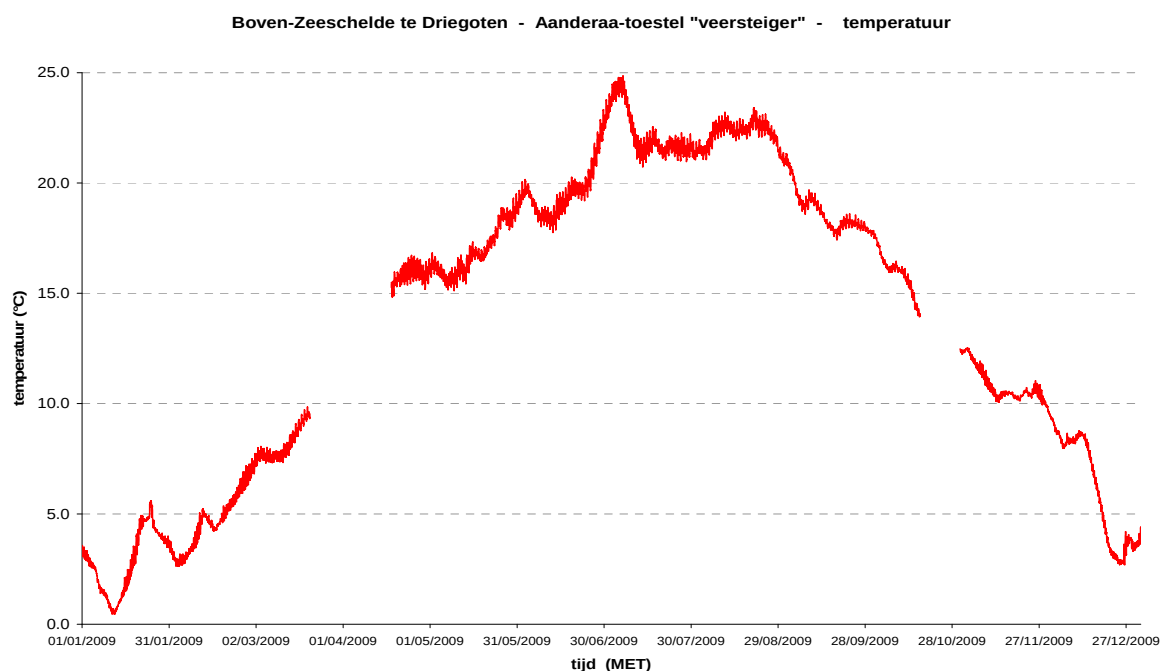
Figuur 70 - Beneden-Zeeschelde te **Prosperpolder** : jaarverloop 2009 van de watertemperatuur



Figuur 71 - Beneden-Zeeschelde te **Boei 84** : jaarverloop 2009 van de watertemperatuur



Figuur 72 - Beneden-Zeeschelde te **Oosterweel**: jaarverloop 2009 van de watertemperatuur



Figuur 73 - Boven-Zeeschelde te **Driegoten**: jaarverloop 2009 van de watertemperatuur

Uiteraard tonen alle vier grafieken eenzelfde globaal jaarverloop. De temperatuurswaarden te Prosperpolder en aan Boei 84 komen bijna geheel met elkaar overeen. Ook deze te Oosterweel stemmen daar grotendeels mee overeen, zeker in het opwarmende deel van het jaarverloop, maar bij daling van de watertemperatuur is het iets kouder te Oosterweel dan op beide afwaarts gesitueerde meetlocaties. Te Driegoten is het in het opwarmende jaargedeelte iets warmer dan op de drie andere plaatsen, en in het afkoelende jaargedeelte iets kouder. Het maximum is te Driegoten ook (tot twee graden) groter dan op de andere locaties. Algemeen stemt dat totaalbeeld overeen met de verwachting, en met het feit van land- tegen zeeklimaat: het zeewater is in najaar warmer dan het landwater, en andersom in voorjaar.

Een karakteristiek onderscheid wordt gemaakt door het "ogenblikkelijk" temperatuursverschil per tij (of per dag of per week zo men bij uitbreiding wil) tussen de opeenvolgende kenteringswaarden. Te Prosperpolder is dat temperatuursverschil per tij (of per dag of per week) groter dan aan Boei 84, en dat over het ganse jaar. Dit ligt aan enerzijds het even koud zijn van de (laagste) temperatuur bij de kenteringen van hoogwater (door aantreden van een abundante hoeveelheid Westerscheldewater, dat als buffer geldt) doch anderzijds het te Prosperpolder bij K LW steeds iets warmer zijn van het Scheldewater dan aan Boei 84, door de thermische lozingen vnl. Kerncentrale Doel. Ook te Oosterweel is het verschil van temperatuur tussen extrema per tij, per dag, per week ..., iets groter dan aan Boei 84, vooral in het afkoelend jaargedeelte. Hier speelt het (hoger reeds aangehaalde) "thermisch hart" van de Beneden-Zeeschelde een rol. Te Driegoten valt dergelijk groter verschil in watertemperatuur tussen extrema per tij, per dag, per week ..., op in het opwarmend jaar-gedeelte en in de zomer.

3.3.2 verloop van temperatuur tijdens langsvaarten

Reeds vijftig jaar lang worden elke maand langsvaarten gedaan van Bath naar Rupelmonde, nl. één bij KHW en één bij K LW. Destijds was de Belgische vaart beperkt over de Belgisch/Nederlandse grens tot Kruibeke, en deed de Nederlandse Rijkswaterstaat er dezelfde dag per maand bij K LW, een analoge vaart tussen Hansweert en de grens. Aan die grens werd een gezamenlijk "internationaal" watermonster genomen, om de meetresultaten kwalitatief op elkaar af te stemmen. Een en ander kaderde in de Belgische vraag om rechte trekking van de Bocht van Bath en om de aanleg van het Baalhoekkanaal. De "Belgische" kenteringsvaarten zijn steeds behouden geworden, en van meet af aan werden ook vaarten bij kentering van hoogwater gedaan.

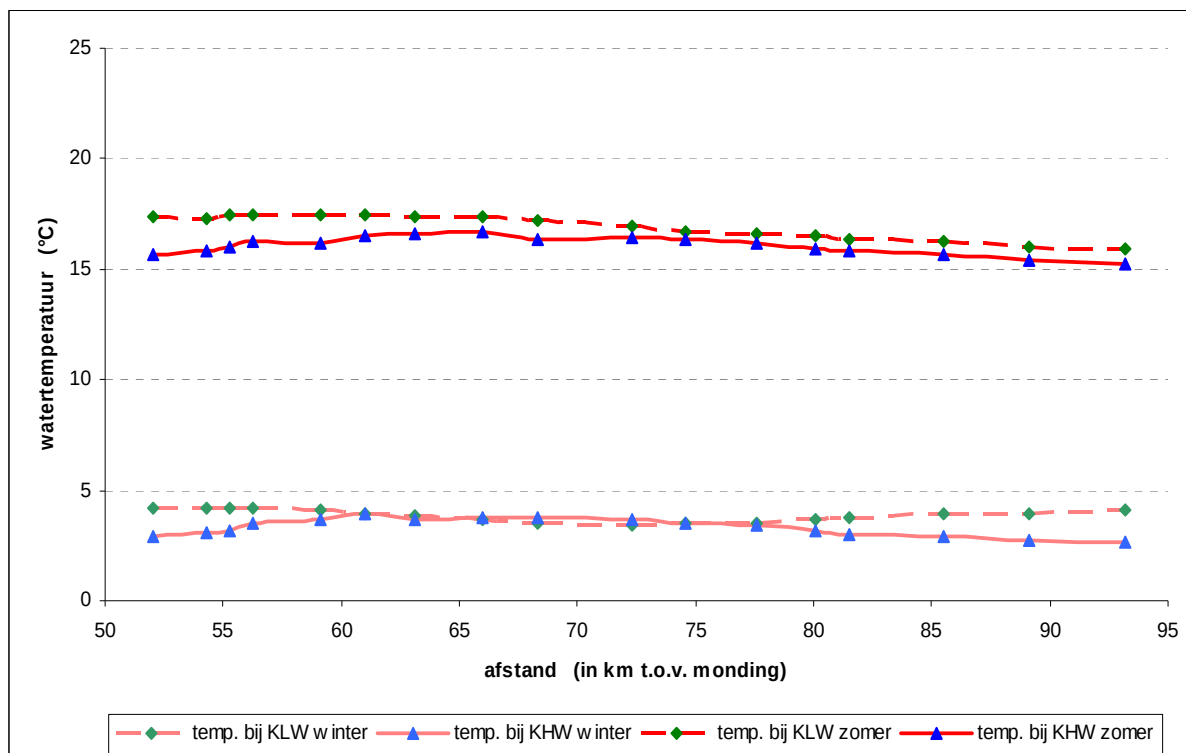
De meetparameters door "Hydrometrie-Schelde" (vanouds het Ministerie van Openbare Werken) zijn de klassiekers: temperatuur, conductiviteit, saliniteit maar eigenlijk chloridegehalte, en zuurtegraad. Door VMM werden bij de maandelijkse vaarten van K LW heel wat parameters gemeten, algemeen fysico-chemische parameters zoals in de monitoring van VMM (destijds het Ministerie van Volksgezondheid) past; deze monitoring is spijtig genoeg vanaf 2009 beëindigd.

De navolgende figuur toont het beeld van vier dergelijke langsvaarten, nl. twee bij KHW en twee bij K LW, waarvan telkens één in een na-zomerse situatie en een winterse periode. Op de x-as zijn de meetlocaties aangeduid in hun kilometrage; de opeenvolgende meetlocaties gaan van Boei 79 (Bath) via grens, Doel, Liefkenshoek, Kruisschans, Kallo, Oosterweel, Antwerpen, Burcht, Kruibeke naar Rupelmonde; onderweg wordt op 17 plaatsen gemeten, telkens op ongeveer één à anderhalve meter onder het wateroppervlak.

Het beeld van het temperatuursverloop over de langsas (van Bath naar Rupelmonde) is niet rigide constant. Uiteraard is er op één langsvaart overdag, relatief weinig temperatuursverschil over die langsas, maar meestal is er een iets grotere temperatuur in het middengedeelte van het gevaren traject, zeker bij KHW-vaarten. Het is weerom een uiting van het "thermisch hart" van de Beneden-Zeeschelde.

In eerste instantie dienden deze vaarten -historisch gezien- om de langstrajecten te kennen van het chloridegehalte, wat immers 1) van maritiem belang is want impact heeft op de densiteit van het water dus de inzinking van zeeschepen, en 2) op de mogelijkheden van gebruik van het Scheldewater als koelwater, m.n. i.v.m. corrosie van dergelijke installaties.

Uiteraard zijn er langsverlopen tussen beide koppels van navolgende figuur, m.n. de periode van winter naar zomer opwarmend en omgekeerd afkoelend; hier zijn eigenlijk de "extreme" koppels getoond.



Figuur 74 - Westerschelde en Zeeschelde tussen Bath en Rupelmonde : langsvaart bij kentering laag- en hoogwater op typische winter- en zomer-omstandigheden 2009 - verloop van de watertemperatuur

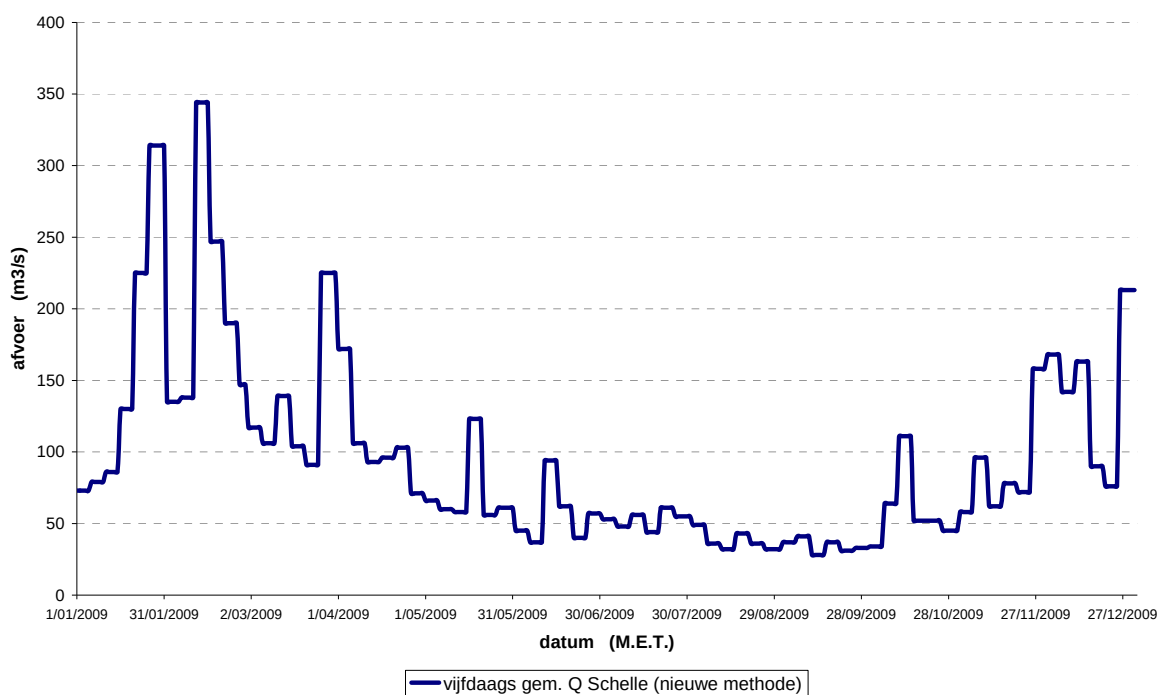
3.4 verloop 2009 conductiviteit en chloridegehalte continue meetlocaties en langsvaarten

3.4.1 verloop van conductiviteit en chloridegehalte continue meetlocaties

De conductiviteit van het Scheldewater in de Beneden-Zeeschelde hangt af van vooral het gehalte aan zeewater (zegge het chloridegehalte), en van de watertemperatuur. Herhaald weze dat in dit rapport met conductiviteit steeds de absolute conductiviteit bedoeld wordt, dus deze bij heersende watertemperatuur, dus niet een herleide conductiviteit naar een standaard-temperatuur (bvb. 15, 20 of 25 °C).

Het is dan ook duidelijk dat de conductiviteit bij elk KHW groter is dan bij de in tijd omringende KLV's, en dat de conductiviteit kleiner wordt naar opwaarts. Seizoenaal is de hoofdbepalende invloed buiten de luchttemperatuur, deze van het bovendebiet van "de Schelde te Schelle". Deze afvoer van het Zeescheldebekken naar zee, heeft immers een zeer grote invloed op het chloridegehalte op een plaats. Die afvoer varieert flink doorheen het jaar, en bedroeg in 2009 en op vijfdaagse basis gemiddeld 95 m³/s doch een kleinste waarde van slechts 28 m³/s (!) (in september) en een grootste waarde van 344 m³/s (in februari). Vanzelfsprekend is een jaarverloop van die afvoer van het Zeescheldebekken naar zee, steeds per jaar te herbekijken, want hangt helemaal af van wat droge of natte jaren, seizoenen en maanden worden genoemd.

Fluviatiele afvoer van het Zeescheldebekken 2009 :
gemiddelde vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle"



Figuur 75 - Zeescheldebekken: afvoer volgens vijfdaagse gemiddelde bovendebieten "Schelde te Schelle" over het jaar 2009 (nieuwe methode)

Dé hoofdpijk van die afvoer van het Zeescheldebekken naar zee, situeerde zich in 2009 in de derde vijfdaagse periode van februari. In de jaarverlopen van de conductiviteit te Oosterweel en aan Boei 84 is het gevolg te zien. Zie de twee desbetreffende volgende figuren 76 en 77 met de jaarverlopen van de conductiviteit (via rechter-y-as) én het jaarverloop van de pentade-afvoer van "de Schelde te Schelle" (via linker-y-as). De conductiviteitslijnen tonen elk een flink dieptepunt en dat bijna ogenblikkelijk (in dagen bekeken). Te Oosterweel blijft de conductiviteit bij K LW weliswaar steeds klein, doch ook daar is dat gevolg toch te zien. Bij de verlopen van conductiviteit bij K HW is het gevolg uiteraard duidelijker.

Verdere vermeldenswaardige, relatieve pieken in grootte van de afvoer van het Zeescheldebekken naar zee, waren er:

- qua grote afvoeren: laatste pentade in januari (met Q Schelle tot 314 m³/s), laatste pentade maart (225 m³/s), vierde pentade mei (123 m³/s), derde pentade oktober (111 m³/s) en vanaf einde november (tot 213 m³/s);
- qua kleine afvoeren: enkele relatieve kleine periodes maar bovenal geldt de zéér lange droogteperiode van einde mei tot bijna einde november, de pentade half oktober niet te na gesproken.

Enkele van deze pieken van afvoer zijn absoluut niet zo groot te noemen, doch relatief, ten overstaan van voorgaande en navolgende pentades, wél; daarom zijn ze vernoemd geworden.

Elk van deze flinke verhogingen in de afvoer van het Zeescheldebekken naar zee, heeft vrij snel een grote repercussie op de conductiviteit, zowel te Oosterweel als aan Boei 84. Die repercussie komt aan Boei 84 in bijna steeds dezelfde vijfdaagse periode voor als te Oosterweel, want de tijds-décalage van passeren van de afvoer van het Zeescheldebekken tussen beide locaties is ongeveer een dag, mix van enerzijds de resulterende materiële verplaatsing van waterdeeltjes (met vloed en eb) en anderzijds de tij- en afvoer-golfbeweging (met de opeenvolgende hoog- en laagwatergolven).

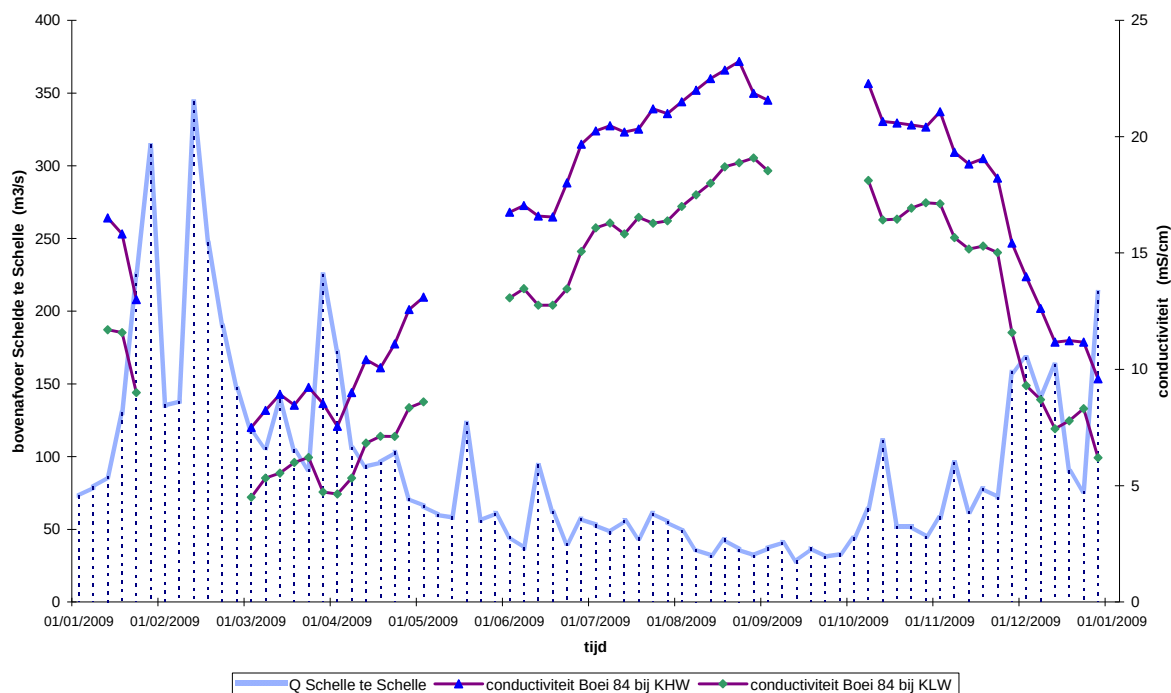
Minder makkelijk te zien is dat -globaal- bij het verminderen van de afvoer van het Zeescheldebekken naar zee, de conductiviteit minder snel groter wordt dan dat zij bij vergroting van die afvoer vrij snel verkleint. Het is een bekend en typisch verschijnsel.

Er kan ook gewezen worden op het verschil tussen de conductiviteit bij K HW met deze bij K LW in eenzelfde tij, dezelfde dag, of dezelfde bvb. vijfdaagse periode. Te Oosterweel blijft de conductiviteit bij K LW (in alle relativiteit met deze bij K HW, of met de kenteringswaarden aan Boei 84) relatief klein, met enige variatie in functie van de afvoer van het Zeescheldebekken naar zee. De variatie bij K HW is groot, zeer groot. Aan Boei 84 zijn de variaties zowel bij K LW als bij K HW zeer groot, en bovendien nogal vrij congruent.

Het is dan logisch dat het verschil tussen de conductiviteit bij K HW en bij K LW in eenzelfde periode, zeer groot is te Oosterweel doch relatief "constant" is aan Boei 84. Dat is regio-gebonden. Wat hier te merken is voor de locatie Oosterweel geldt voor een gans riviervak, van bvb. Kallo tot Schelle. Opwaarts de Rupelmonding zijn de tijdsverlopen van conductiviteit bij K HW en bij K LW zeer congruent aan elkaar, met trouwens een heel klein conductiviteitsverschil tussen beide: de conductiviteit schommelt weinig in functie van het tijverloop.

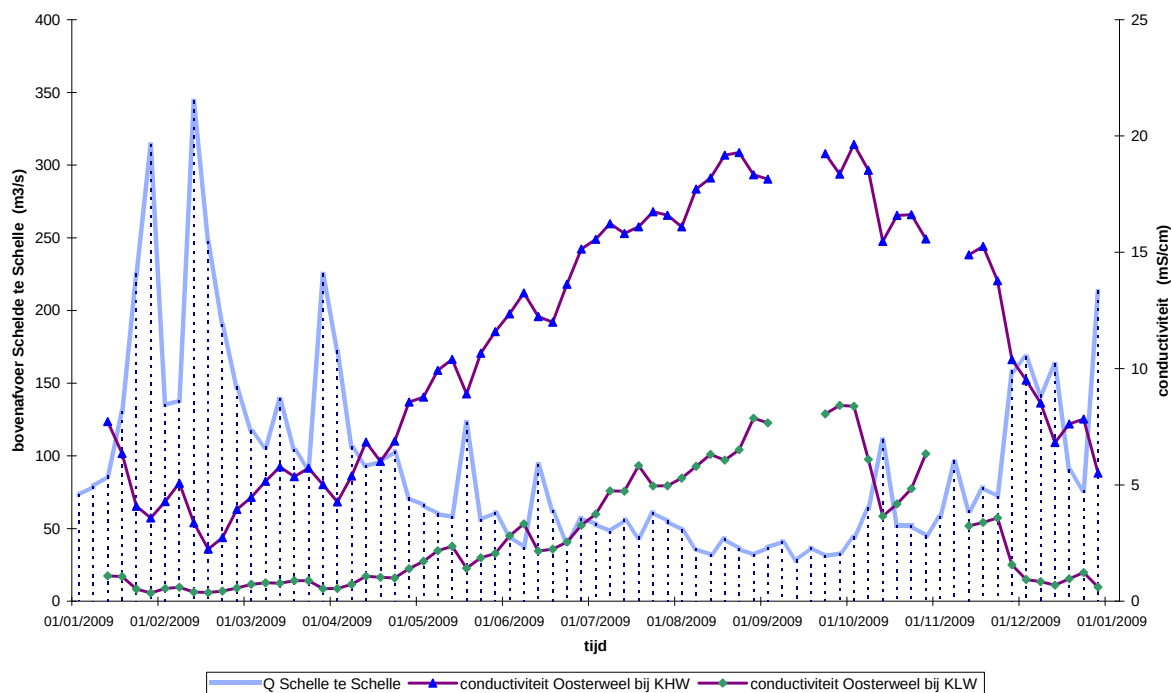
Aan de andere kant is het beeld aan Boei 84 representatief voor het vak Bath-Kallo, zelfs naar afwaarts uitbreidbaar tot Hansweert. Nog verder naar afwaarts verkleinen de tij-gebonden verschillen van conductiviteit en chloridegehalte danig.

Zeeschelde te Boei 84 : verloop conductiviteit bij KHW en KLW met verloop bovenafvoer "Schelde te Schelle" - jaar 2009



Figuur 76 - jaarverloop 2009 van conductiviteit bij KHW en bij KLW te **Boei 84** en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd

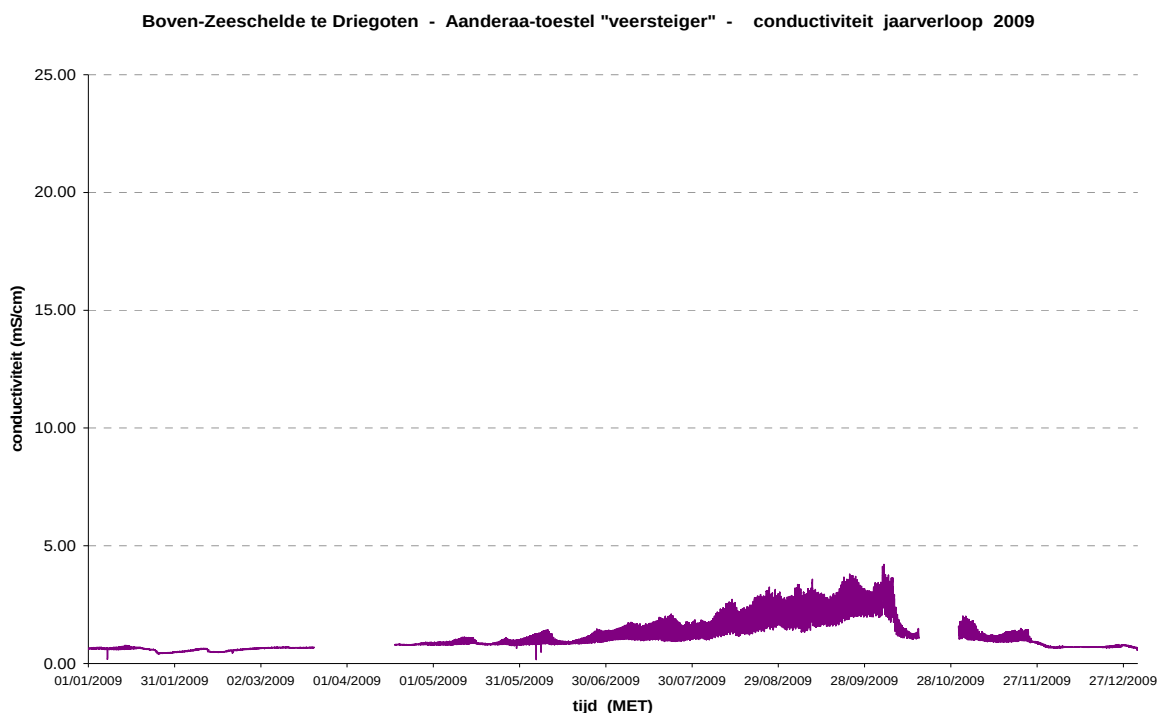
Zeeschelde te Oosterweel : verloop conductiviteit bij KHW en KLW met verloop bovenafvoer "Schelde te Schelle" - jaar 2009



Figuur 77 - jaarverloop 2009 van conductiviteit bij KHW en bij KLW te **Oosterweel** en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd

Op eenzelfde locatie genomen, is het verschil in conductiviteit over de verticale, dus tussen een nabij de bodem gesitueerd meettoestel en een meting net onder laag-laagwaterpeil of op-en-neergaand met het waterpeil, zeer klein. Dat kan in bepaalde gevallen anders zijn, als bvb. in de Beneden-Zeeschelde een locatie gekozen wordt waar dichtheidsstromingen over de bodem aandrijfkraft zijn van ware densiteitstromingen zegge hooggesuspendeerde waterlagen boven de bodem.

In de Boven-Zeeschelde is er in periodes van gewone, kleine en zeer kleine bovenafvoer, slechts een kleine conductiviteit. Er mag bij aangegeven worden dat deze conductiviteit mede een toch bepaalde grootte heeft, door de aanwezigheid van andere ("land"-)ionen bovenop deze afkomstig van zeezouten. De bovenafvoer van het Zeescheldebekken brengt inderdaad bvb. (en vrij abundant) calcium, sulfaten en carbonaten aan doch omzeggens geen chloriden of natrium. Dit zorgt voor een "scheeftrekking" van de voor conductiviteit verantwoordelijke ionen t.o.v. zeewater. Daar waar voor de Westerschelde in de zomer het aandeel van de verschillende ionen ongeveer dat van zeewater is, om in de winter opwaarts (vanaf) Hansweert toch al een verminderd aandeel (massa van een bepaald ion t.o.v. totale massa aan opgeloste ionen) van bvb. chloride en natrium te zien door de aanvoer van bovendebiet, verkleint het aandeel (aandeel !) chloride aan de Belgisch/Nederlandse grens al met (ongeveer) 5% 's zomers tot 20% 's winters (gemiddelde waarden, nog beïnvloed door lange periodes van droogte resp. veel neerslag). Aan bvb. de Rupelmonding is het aandeel van het chloride verder verkleind, tot amper een vijfde van het aandeel in zeewater. Binnen het totale pakket aan opgeloste stoffen in het Scheldewater aan de Rupelmonding, is het chloride ongeveer 10 à 15% al naargelang seizoenen. Ook het aandeel van natrium verkleint fel van zee naar Rupelmonding, tot ongeveer en gemiddeld een kwart. Daarentegen brengt de bovenafvoer calcium, sulfaten en carbonaten aan, dermate dat deze drie ionen aan de Rupelmonding ongeveer driekwart van de totale hoeveelheid opgeloste stoffen uitmaken; het chloride is daar nog maar ongeveer 10 à 15 % van. Te noteren is ook dat de totale hoeveelheid van opgeloste stoffen in het water, dat die totale massa ook erg verkleint van zee naar bvb. de Rupelmonding, met een factor die -om enig idee te geven- tot 50 kan oplopen, alhoewel in zomers mét nazomers waarin het langdurig warm en zeer droog blijft, die factor toch verkleint tot bvb. 15. In dat laatste geval komt het er zelfs op aan om onderscheid te maken tussen de totale massa opgeloste stoffen bij KHW tegen deze bij KLW, wat 's winters niet hoeft.



Figuur 78 - jaarverloop 2009 van conductiviteit bij KHW en KLW te **Driegoten**, per pentade beschouwd

Bovenstaande figuur geeft het jaarverloop 2009 weer van de conductiviteit te Driegoten (ongeveer 103 km opwaarts Vlissingen, of ongeveer 27 km opwaarts Oosterweel, om met de voorlaatste figuur te kunnen vergelijken). 's Winters en in voorjaar is er slechts een kleine conductiviteit, vergelijkbaar met deze over de ganse Boven-Zeeschelde (het verhang in conductiviteit is er omzeggens nul, toch in een "grove" benadering met "g/l"). Pas bij behoorlijke periodes van kleine bovenafvoer vergroot de conductiviteit, te beginnen met deze bij KHW daar waar deze bij KLW even klein blijft. Pas bij zeer langdurige periodes van warmte en vnl. zeer kleine bovenafvoer vergroten de waarden bij KHW en KLW flink, tenminste: relatief voor deze locatie. Ten overstaande van de waarden te Oosterweel, blijven deze te Driegoten bij KHW beperkt tot een vijfde, en bij KLW tot een derde. Wat -kortweg gezegd- wijst op een behoorlijker toename van de achtergrondwaarde van conductiviteit, waarboven opstoten bij KHW. Deze opstoten geven wel bijna een verdubbeling van conductiviteit bij KHW t.o.v. bij KLW, alles in eenzelfde periode bvb. pentade genomen.

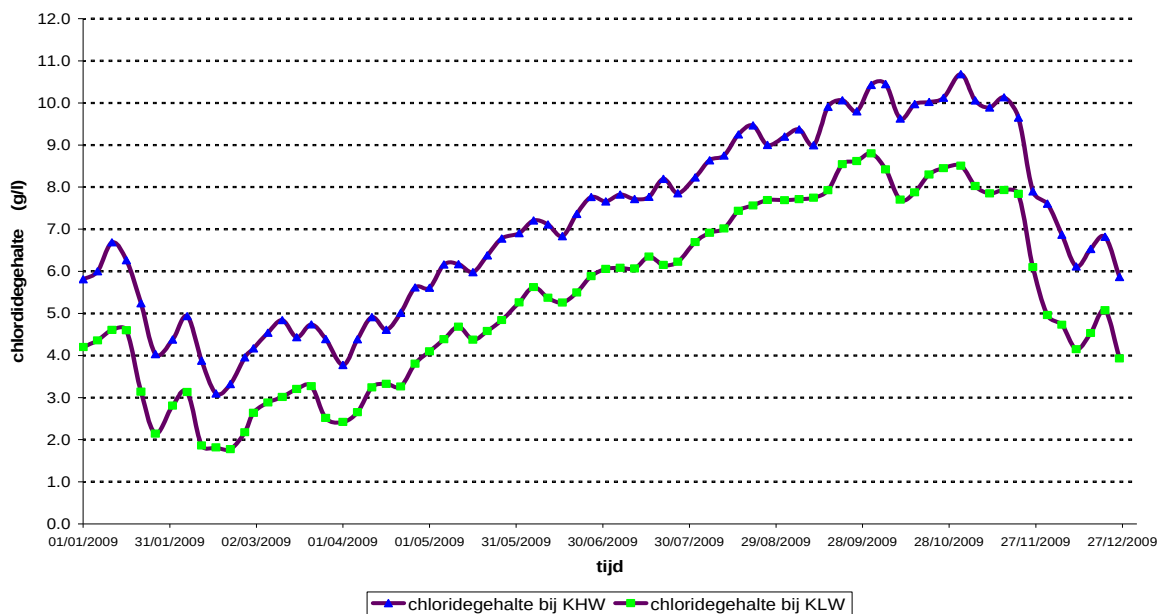
Met het verloop van de conductiviteit van het Scheldewater gaat in hoofdzaak de saliniteit mee. Gezien het bij dat alles om de (absolute) conductiviteit (dus bij heersende temperatuur) gaat, en die watertemperatuur ook een flinke invloed op de absolute conductiviteit heeft, moeten én absolute conductiviteit én temperatuur gebruikt worden om de saliniteit te bepalen. Overigens: ook in naburige landen, en bij ons gezien lange historiek, wordt dat zeezoutgehalte niet als dusdanig berekend, gemeten en aangegeven, doch wél het chloridegehalte (Cl⁻). In "gemiddeld" zeewater zijn rond en om 35 g/l zeezouten opgelost. Het chloride-aandeel in de meeste zee- en oceaanwateren is een vrij constant aandeel van het totale zeezoutenpakket, nl. 19.4 g/l of ongeveer 55% al weze beter de klassieke zgde "oude" formule van Knudsen gebruikt: saliniteit is 1.8053 maal chloridegehalte, plus 0.03 (alles in g/l). Ondertussen geldt wereldwijd de zgde "Unesco"-formule.

Alleszins spreekt het verloop van het chloridegehalte in het Scheldewater, inzonder de Beneden-Zeeschelde, veel meer dan de waarde van de conductiviteit. Daarom zijn op navolgende bladzijden grafieken die het chlorideverloop geven over het jaar 2009, en dat voor de locaties Boei 84, Oosterweel en Driegoten. Boei 84 en Oosterweel liggen in dat deel van de Beneden-Zeeschelde waar er doorgaans een flinkere variatie heerst in het chloridegehalte bij kentering van hoogwater (zouter) dan bij kentering van laagwater (minder zout). Te Oosterweel is het chlorideverloop tijdens "natte" maanden zelf vrij egaal bij kentering van laagwater; pas bij een bepaalde grootte (of liever: "kleinte") is te Oosterweel en beduidend verschil in chloridegehalte tussen KHW en KLW. Te Driegoten is er gedurende een half jaar bijna geen verschil, tot bij klein bovendebiet, dus bij het naar land oprukken van de saliniteit vanuit Westerschelde naar Beneden-Zeeschelde en dan voort in het afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde, dat er te Driegoten een beduidend verschil kan heersen.

Het jaar 2009 was gekenmerkt door een warme nazomer doch hydrologisch gezien, nog meer door een zeer lange periode van klein tot zelfs zeer kleine bovenaanvoer van "zoet" water naar de zoute zee: het daggemiddelde "bovendebiet" van "de Schelde te Schelle" tekent dat verloop uiteraard zeer goed, zie de figuren 75, 76 en 77 op voorgaande bladzijden.

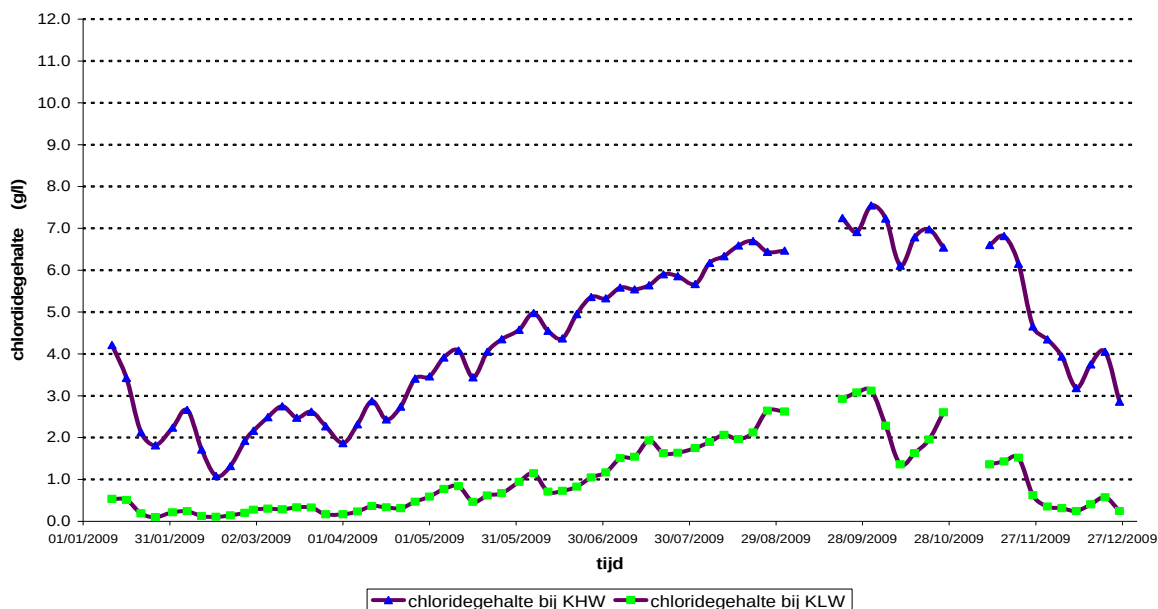
Als de meteorologische omstandigheden zo waren dat zomer en nazomer 2009 gekenmerkt zijn door uitzonderlijk kleine tot zeer kleine bovenafvoer aan "de Schelde te Schelle", van een rangorde van ééns per 20 à 25 jaar, **zijn ook conductiviteit en chloridegehalte in zomer en nazomer 2009, weken lang recordmatig groot geweest.** Op zich is dat hét merkwaardigste van alle in het Zeescheldebekken gemeten parameters die in dit Moneos-rapport worden voorgesteld, gezien tij, bovendebiet en andere fysische parameters, in 2009 niet zo opmerkenswaard zijn.

**Beneden-Zeeschelde te Boei 84 :
verloop chloridegehalte bij KHW en KWL gedurende het jaar 2009**



Figuur 79 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en bij KWL te **Boei 84** per pentade beschouwd

**Beneden-Zeeschelde te Oosterweel :
verloop chloridegehalte bij KHW en KWL gedurende het jaar 2009**



Figuur 80 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en bij KWL te **Oosterweel** per pentade beschouwd

De beide grafieken op voorgaande bladzijde, geven het jaarverloop van het chloridegehalte in 2009 voor de meetlocaties Boei 84 en Oosterweel. Zoals bij het verloop van de conductiviteit, zijn er verschillende tijdsgebonden schommelingen in die verlopen, gerelateerd aan variaties binnen relatief klein tijdsbestek (zegge enkele pentades) van de bovenafvoer van de "Schelde te Schelle". Alle voorgestelde waarden zijn per pentade genomen, per figuur enerzijds een grafiek bij KHW en anderzijds deze bij KLW, en uiteraard de bovenste grafieklijn steeds bij KHW.

Zoals hierboven al gesteld, is 2009 zeer gekenmerkt door een mooie zomer en een mooie nazomer, "mooi" in de betekenis van warm en zeer droog. Het bovendebiet van de "Schelde te Schelle" was dan ook zeer lange tijd zeer klein, van einde mei tot bijna einde november, enkele pentades niet te na gesproken.

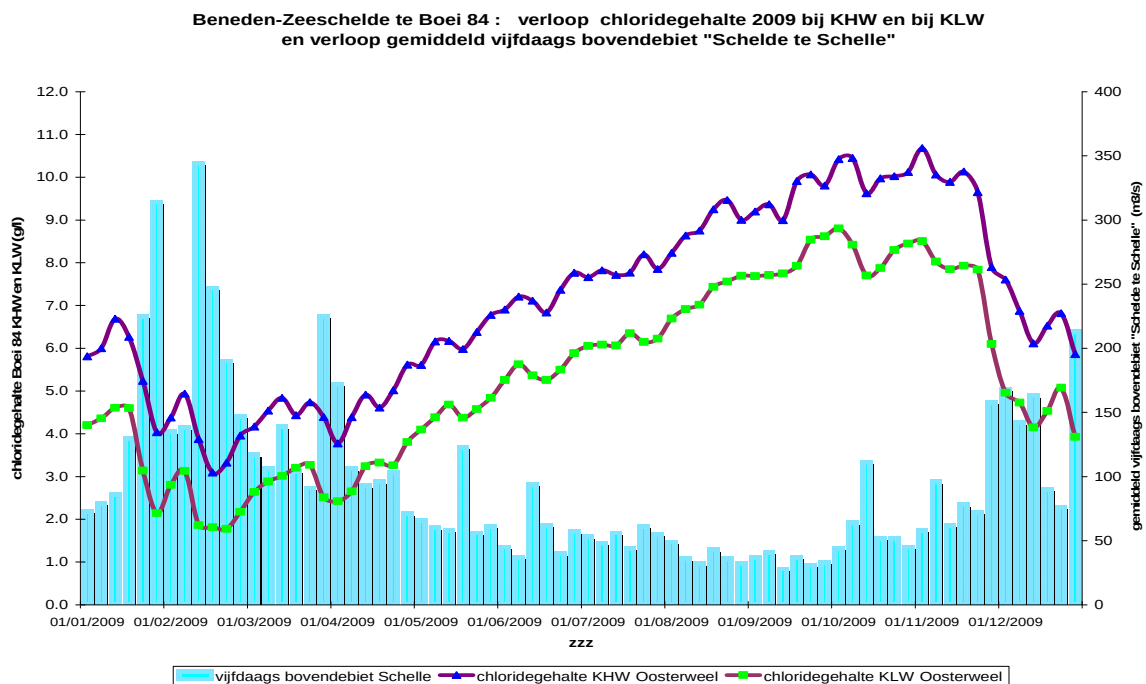
Zo werden vrij recordmatige grote waarden van chloride bekomen, bvb. aan Boei 84 tot bijna 11 g/l bij KHW, wat overeenkomt met 56% van de waarde in zeewater! En toch 62 km van Vlissingen! Te Oosterweel ging het chloridegehalte tot ruim 7,5 g/l, overeenkomend met bijna 40% van de waarde in zeewater, toch op 76 km van Vlissingen. In gemiddelde meteorologische zomers en nazomers komen deze maxima-waarden tot iets van een vijfde tot een kwart kleiner.

Daar waar het absolute verschil in chloridegehalte tussen KHW en KLW aan Boei 84 relatief constant gedurende de seizoenen bleef, is dat te Oosterweel anders: een kleine waarde in winter en voorjaar, tot een fel vergrootte waarde in zomer en nazomer. Dat zijn op zich klassieke fenomenen. Het bevestigt de grootte van het verhang van conductiviteit en chloridegehalte over de langsas: die is bij tijdstip van LW en KLW veel groter dan bij moment van HW en KHW.

De vier figuren van beide navolgende bladzijden tonen opnieuw het jaarverloop 2009 van het chloridegehalte te Boei 84 resp. Oosterweel, telkens bij KHW en KLW, doch nu aangevuld met het jaarverloop van de bovenafvoer van de "Schelde te Schelle", alles per pentade genomen. Enerzijds gaat het over het grafisch "positief" voorstellen van dat verloop van bovenafvoer, anderzijds is dat verloop "negatief" ("omgekeerd", van boven naar onder gezind) genomen. Deze laatste voorstelling toont beter dat bij periodes van grote bovenafvoer, het chloridegehalte kleiner tot veel kleiner wordt, al naargelang duur en maat waarin het bovendebiet groot is. En omgekeerd: bij kleine afvoer vergroten de waarden van het chloridegehalte fel, alles in verhouding tot duur en maat van de kleinte van die bovenafvoer. Klemtoon: niet enkel de grootte van die bovenafvoer heeft belang, ook de duurtijd dat die grootte aanhoudt.

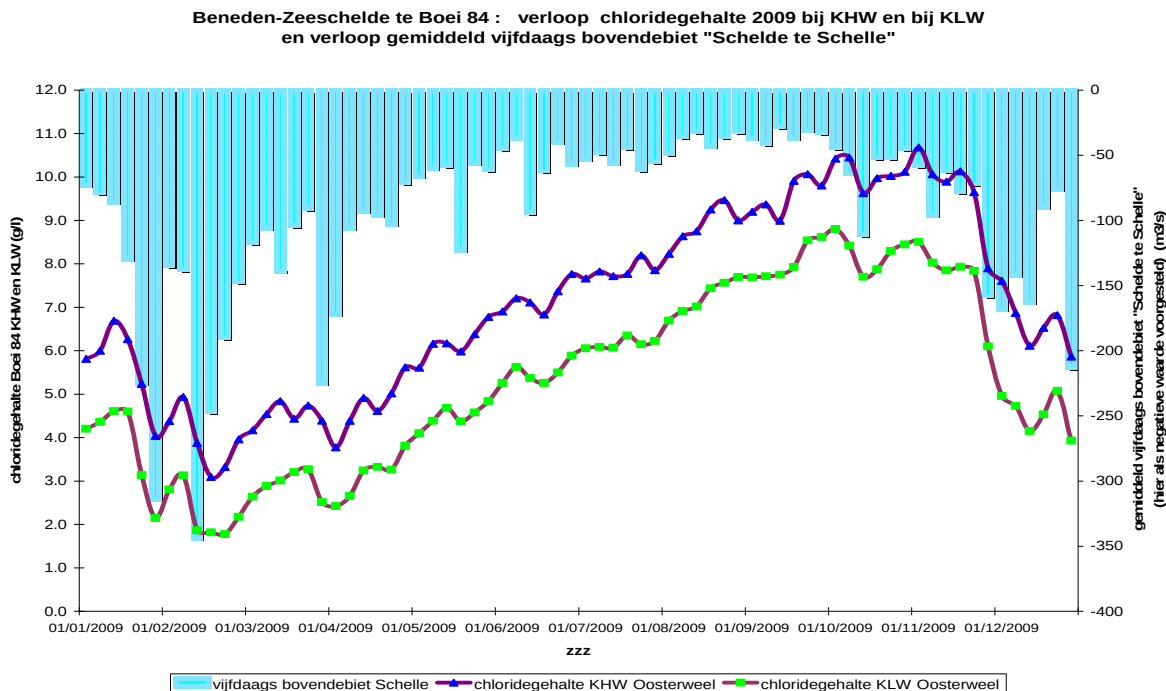
Daarbij moge het telkens ook opvallen dat de responstijd vrij klein is. Het gaat wel om de afvoer van bovendebieten van het Zeescheldebekken ter hoogte van Schelle genomen, dus vlakbij het opwaartse einde van de Beneden-Zeeschelde, zodat het geen dagen duurt eer een verkleining of vergroting van die bovenafvoer invloed op conductiviteit en chloridegehalte heeft.

Voor het overige spreken die figuren voor zich, zie ook de beschouwingen bij de paragrafen over conductiviteit.

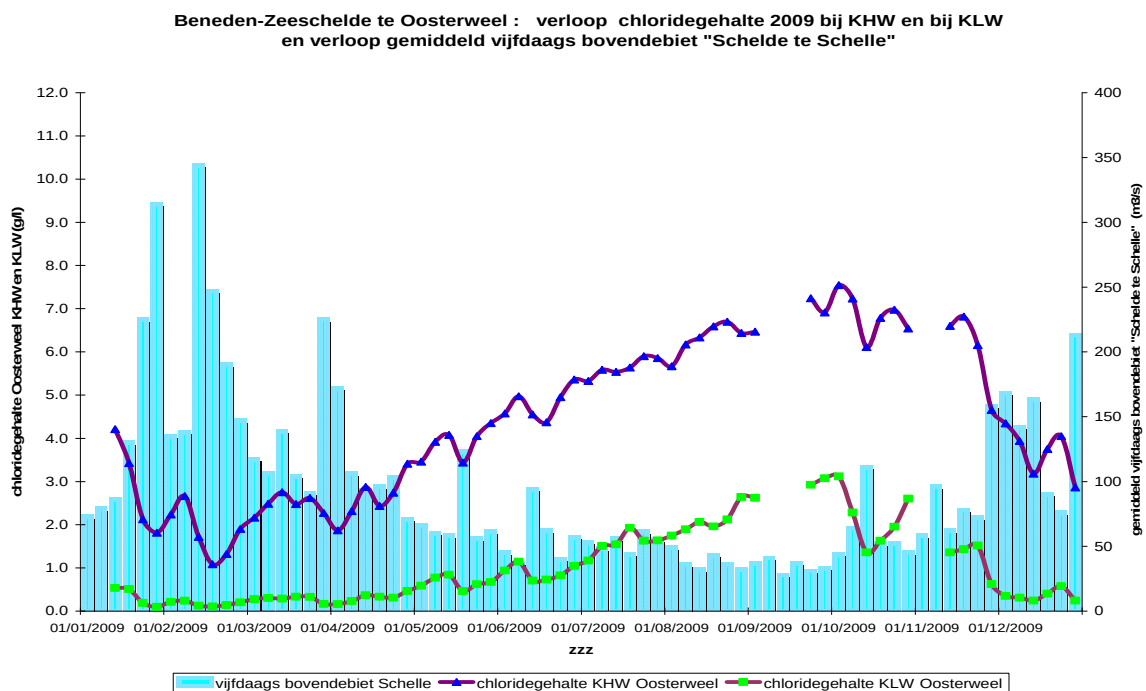


Figuur 81 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en bij KWL te **Boei 84** en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd

en nu met de rechter-y-as van "afvoer te Schelle" in "omgekeerde" ("negatieve") zin ... :

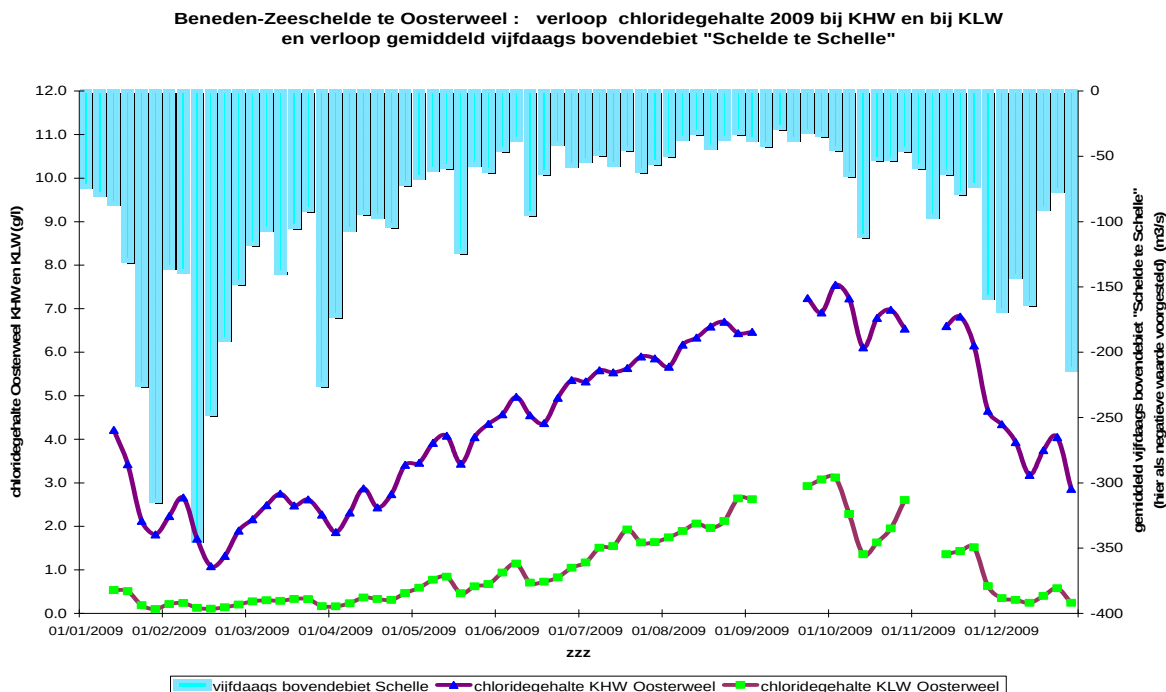


Figuur 82 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en bij KWL te **Boei 84** en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd, en met verloop van afvoer Schelle in omgekeerde y-as



Figuur 83 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en bij KLW te **Oosterweel** en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd

en nu met de rechter-y-as van "afvoer te Schelle" in "omgekeerde" ("negatieve") zin ... :



Figuur 84 - jaarverloop 2009 van het chloridegehalte bij KHW en bij KLW te **Oosterweel** en jaarverloop van afvoer te Schelle, per pentade beschouwd, en met verloop van afvoer Schelle in omgekeerde y-as

3.4.2 verloop van conductiviteit en chloridegehalte tijdens langsvaarten

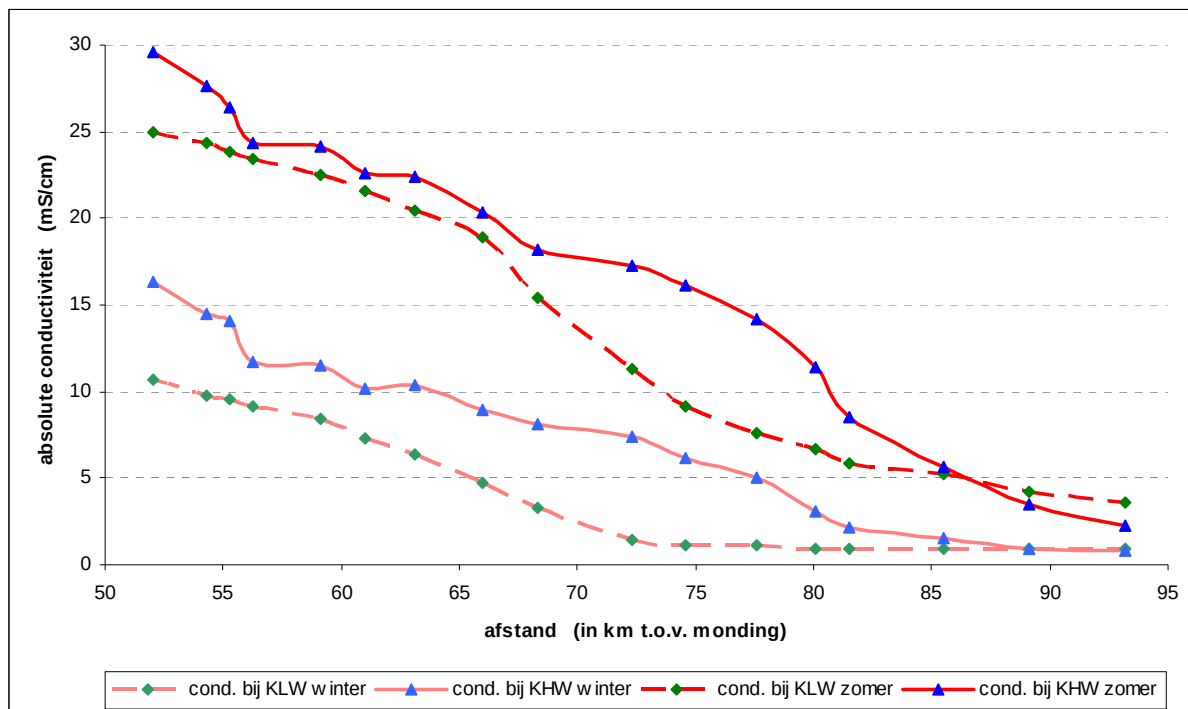
Zoals als hoger uitgelegd, is er een duidelijk afnemend verloop van conductiviteit en van chloridegehalte van af- naar opwaarts, en zijn conductiviteit en chloride-gehalte bij KHW steeds groter dan bij KLW in dezelfde periode (een tij, een etmaal, een vijfdaagse periode).

Per locatie blijvend is er een duidelijke grote invloed van de afvoer van het Zeescheldebekken naar zee op conductiviteit en chloridegehalte. Tijdens periodes van verkleinende afvoer van het Zeescheldebekken, nemen conductiviteit en chloridegehalte op een locatie blijvend, gestaag toe, relatief "traag", doch als plots grote bovendebieten aankomen, verkleinen conductiviteit en chloridegehalte snel. Dat algemene beeld wordt uiteraard teruggevonden in de maandelijkse langsvaarten bij KHW en bij KLW.

Bij alle kenteringsvaarten bij KHW valt op dat het langsverloop van conductiviteit in het afwaartse gedeelte, alsook te Kallo, schommelt. Dit is te wijten aan het tussen Bath en Doel bestaan van scharen, weliswaar omlijnd door een strek- of leidam, doch dat laatste speelt bij hoogwater minder aangezien die dammen dan al telkens enkele uren "verdrongen" zijn. De schommeling is algemeen en typisch, al jaren, en hangt ten dele ook af aan het feit dat systematisch een (opwaartse) kenteringsvaart wordt gevaren langs de rechterkant van de vaargeul. De langsvaart doorkruist dan stromingspatronen die door scharen en geulen mede gevormd worden.

Dat beeld is enigszins ook in het chlorideverloop terug te vinden, doch uiteraard in mindere mate (de getalmatige waarden zijn kleiner). Bij de in dit rapport gegeven voorbeelden (zie bvb. figuur 85) kan gewezen worden op de (niet constante zijnde) schuinte van het langsverloop van conductiviteit en van chloridegehalte. Bij de vaarten in september vallen de typische langshellingen van bvb. het conductiviteits-verloop op: een flauwere helling aan afwaartse kant van het gevaren traject, een sterke helling in het middendeel, en een zeer flauwe helling in het opwaartse deel. Bij de vaart bij KLW is dat beeld zeer uitgesproken. Nogmaals: de langsverlopen zijn zeer typisch, elke keer terugkomend, elk jaar.

Het naar op- of afwaarts verschuiven van de zone met sterke helling (groot verschil van conductiviteit en chloridegehalte per lopende kilometer volgens de langsas) gaat mee met de "zoete" bovenafvoer van het Zeescheldebekken naar zee. Dit verschuiven van langsverhang in conductiviteit is aanleiding tot wat het jaarverloop van conductiviteit te Oosterweel te zien gaf, zie hoger, nl. bij hoogwater ligt de meetplaats "Oosterweel" net binnen een zone van hoge conductiviteit en groot chloridegehalte, en bij laagwater in eenzelfde periode (tij, dag, ...) ligt Oosterweel er opwaarts van. Hier heerst dus een ander beeld rond en om HW en KHW dan rond en om LW en KLW.



Figuur 85 - Westerschelde en Zeescheldebekken tussen Bath en Rupelmonde :
langsvaart bij kentering laag- en hoogwater op typische winter- en zomer-omstandigheden 2009 -
verloop van de conductiviteit

De figuren met de langsverlopen bij kenteringsvaarten tonen ook dat 's winters er wegens aanhoudend grote tot zeer grote afvoer van het Zeescheldebekken naar zee, de schuimte van het langsverloop van conductiviteit en uitgesprokener van chloride-gehalte, vanaf Kallo naar opwaarts vrij klein is en blijft.

3.5 verloop 2009 turbiditeit en suspensiegehalte meetlocaties Zeeschelde

3.5.1 verloop 2009 van turbiditeit continue meetlocaties

Via laser-backscattering-technologie wordt op de meetlocaties Boei 84 en Oosterweel op twee hoogten over de verticale, turbiditeit gemeten. Op de meetlocatie Driegoten is er één toestel. Al deze metingen zijn continu, d.w.z. om tien minuten. Hierna volgt een voorstelling van de meetresultaten over het jaar 2009, op eenzelfde manier als hoger voor andere "fysische parameters" werd gedaan.

Voor de parameter turbiditeit blijken -uit de lange rij van alle tienminuut-waarden- drie hoofdkenmerkende waarden te kunnen worden afgeleid:

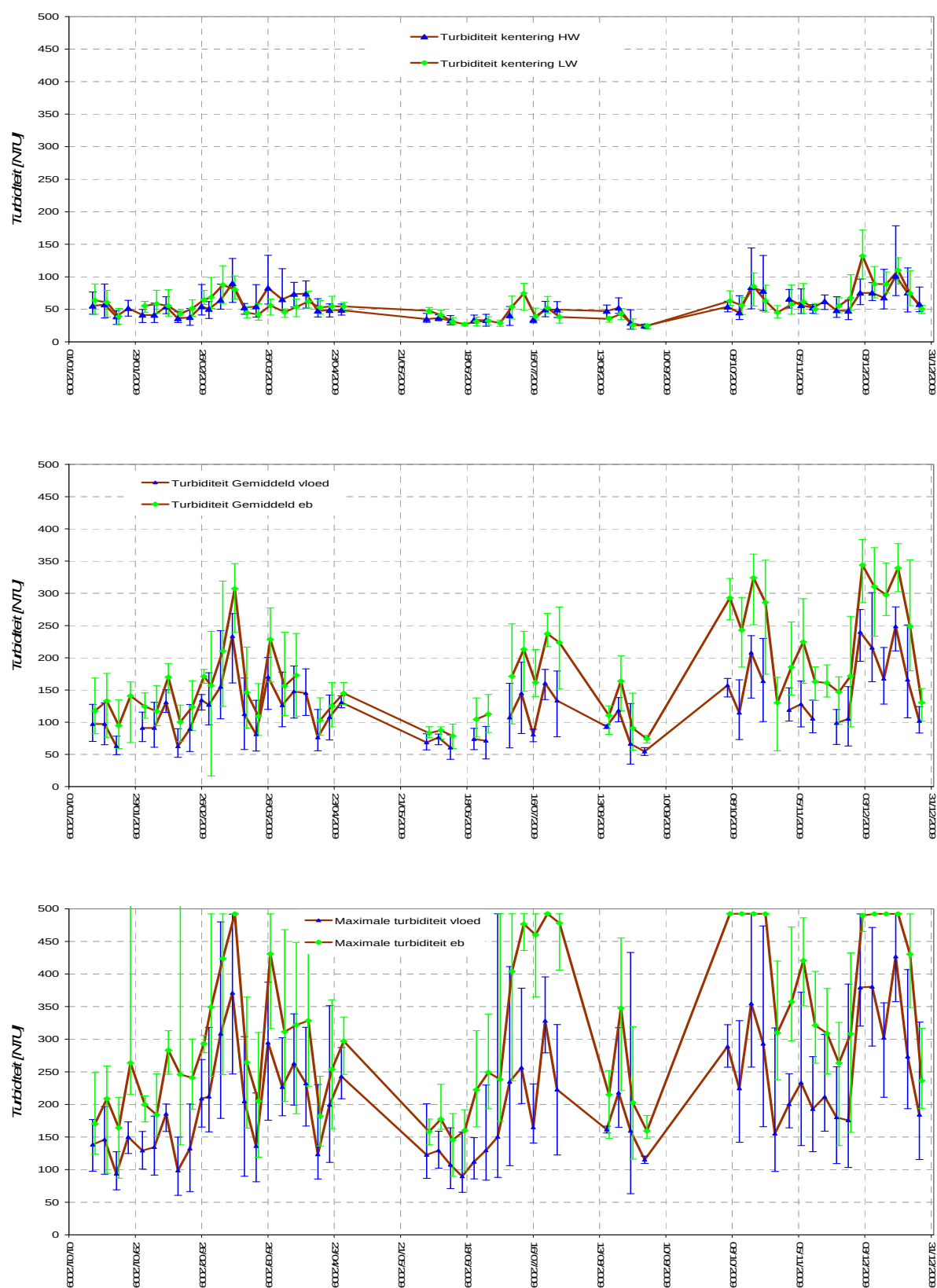
- de waarde bij de kenteringen, waarbij turbiditeit het kleinst is tijdens het tijverloop, *maar dat zinnig als een "achtergrondwaarde" kan worden beschouwd*;
- de gemiddelde waarde over vloed en over eb;
- de maximum waarde over vloed en over eb.

De volgende figuren tonen achtereenvolgens deze hoofdkenmerkende waarden voor Boei 84 en Oosterweel, en zoals op vorige bladzijden met de andere parameters, per vijfdaagse periode beschouwd, met telkens het aangeven (als een soort verticale "foutenbalk") van het "bereik" (en dus geen "fout") waarover de beschouwde parameter in de betrokken pentade zaken werd waargenomen.

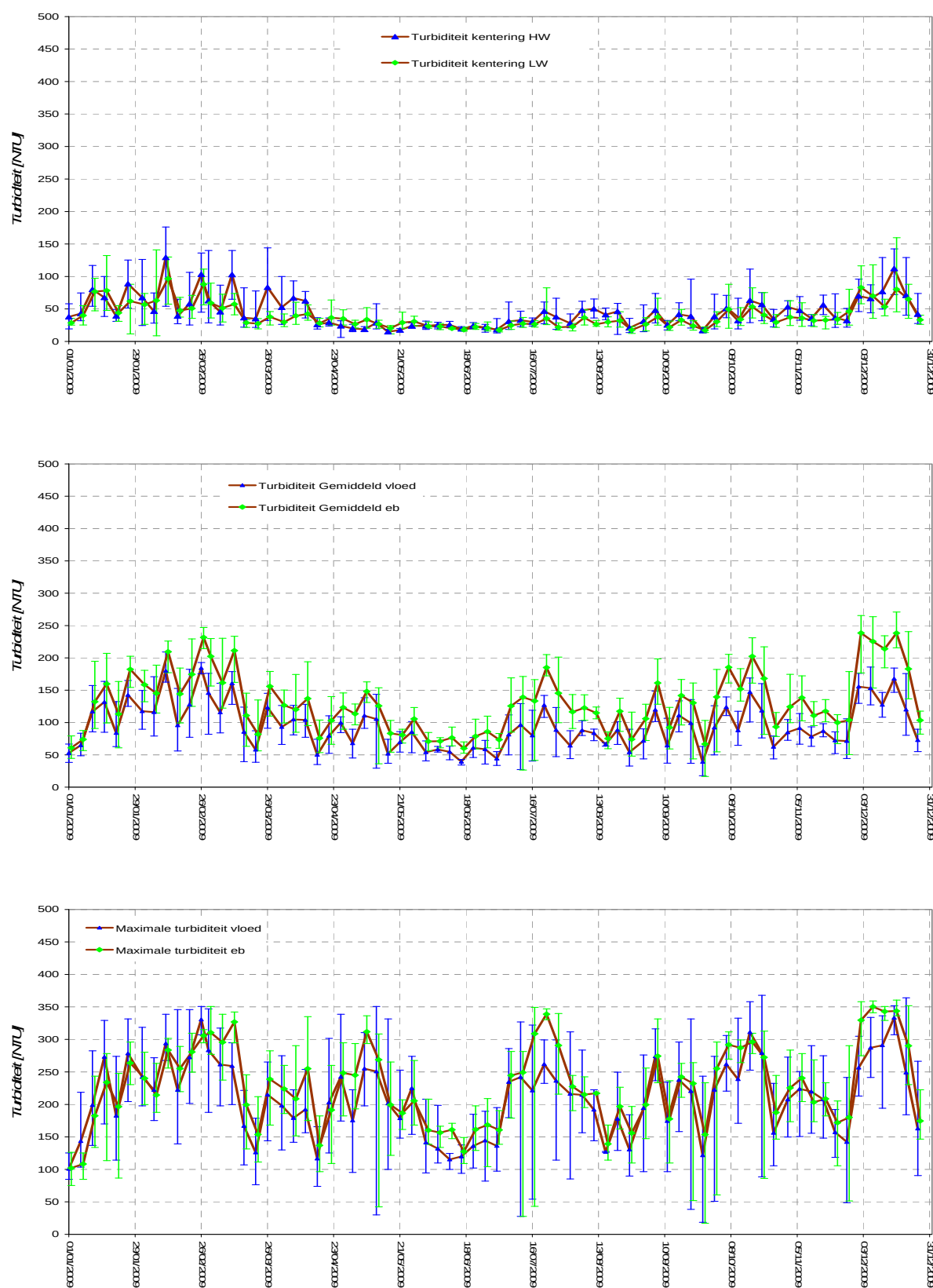
Het is bekend dat zich tussen Antwerpen en Doel, een zone van zgde "maximum-turbiditeit" voordoet, die volgens de langsas naar op- of afwaarts verschuift al naargelang de grootte van de afvoer van het Zeescheldebekken naar zee, net zoals de brakke zone.

Het is daarom niet verbazend, maar uit het jaarverloop van de turbiditeit te Oosterweel blijkt het treffend, dat de turbiditeit, zowel deze bij de kenteringen als de gemiddelde en maximale waarden over vloed en eb, periodes van grote waarden en periodes van kleine waarden kent, die dikwijls goed samenvallen met periodes van kleine resp. grote afvoer van het Zeescheldebekken naar zee. Ook voor deze parameter blijkt Oosterweel aan de rand van een rivierzone te liggen, net zoals al bij de conductiviteit en het chloride-gehalte kon worden opgemerkt, ... een zone waar de afvoer van het Zeescheldebekken uitmaakt of aan die plaats tijdelijk de opwaartse grens van de zone van "maximum-turbiditeit" raakt of die grens zelfs nog meer naar opwaarts gaat, dan wel dat die zone duidelijk afwaarts van Oosterweel blijft.

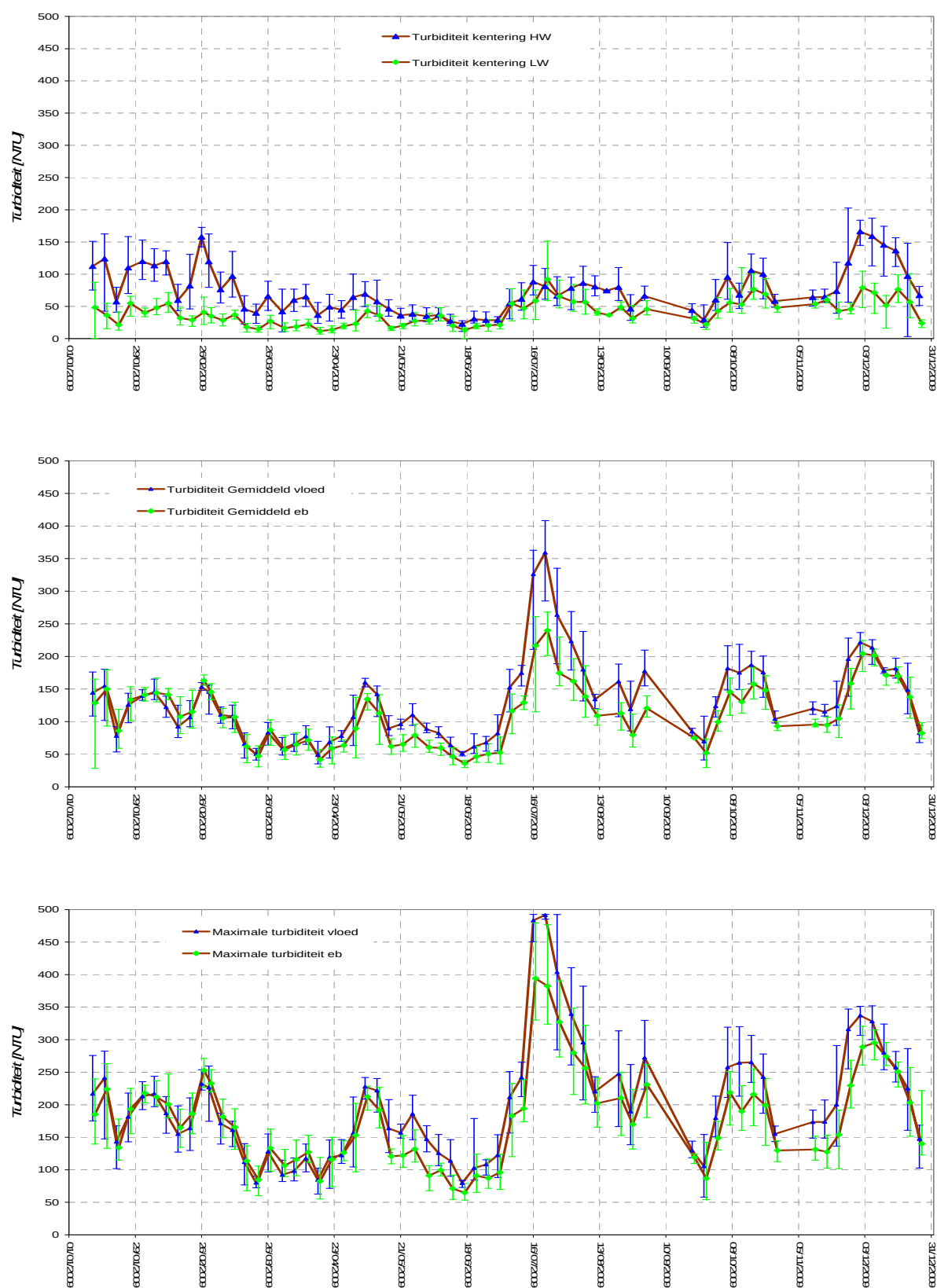
Het verloop van de turbiditeit bij de kenteringen te Oosterweel (figuren 88 en 89) komt inderdaad dikwijls goed overeen met het verloop van het bovendebiet van "de Schelde te Schelle" (zie figuur 75): grote waarden bij kleine bovendebieten waardoor de zone van maximum-turbiditeit naar opwaarts, tot voorbij Oosterweel, verschuift, en omgekeerd kleine waarden van turbiditeit bij periodes van grote bovendebieten. Zowel de waarden van turbiditeit bij vloed als bij eb, bij gemiddelde als bij maximale waarden, hebben deze relatie. Op deze wijze zijn de grote turbiditeitswaarden in januari, in februari, in de maandovergang van maart naar april, en in december 2009 uit te leggen. Maar: er zijn nog andere periodes van kleine en van grote turbiditeit ...



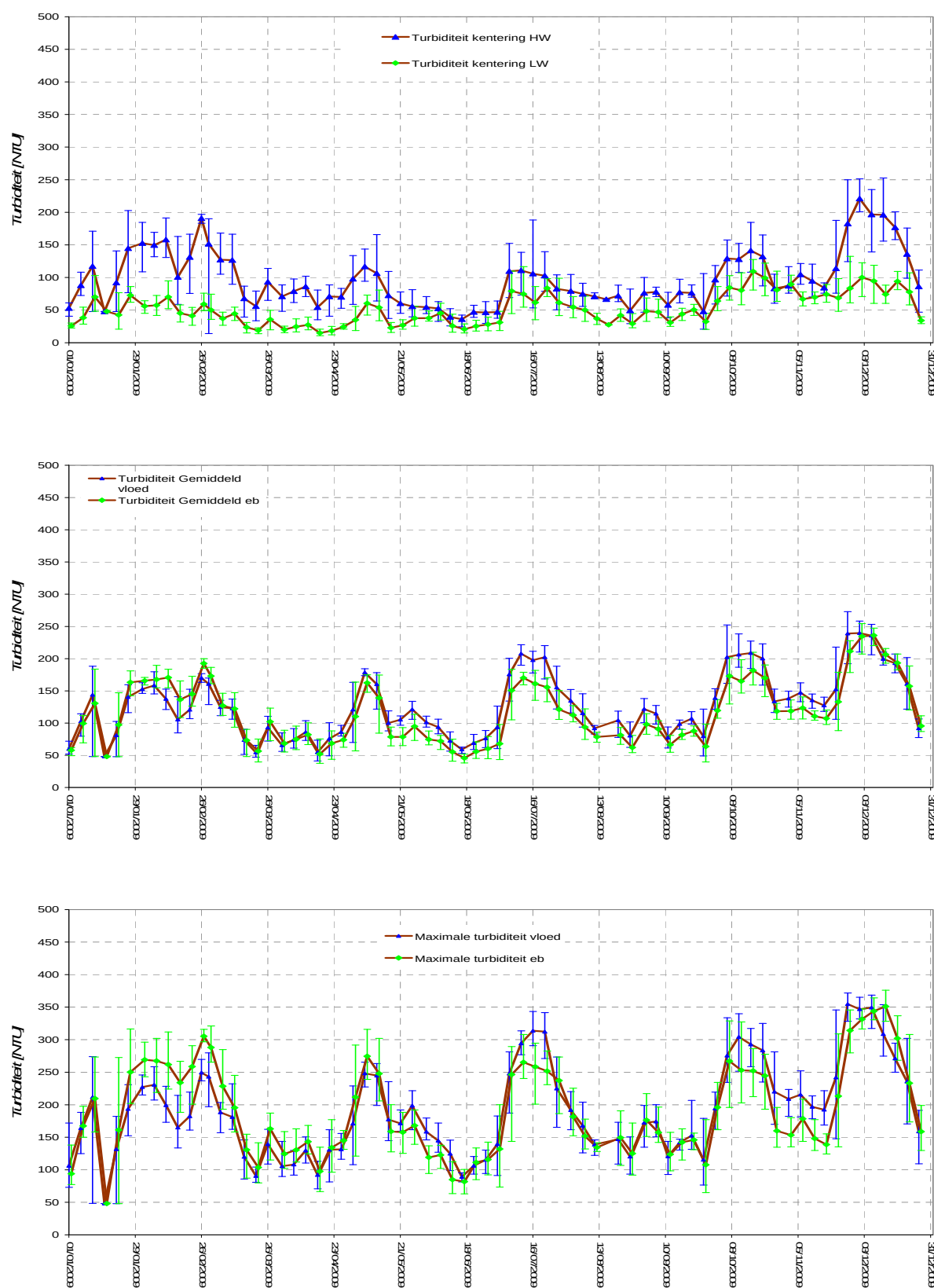
Figuur 86 - Beneden-Zeeschelde te **Boei 84**: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit **bovenste toestel** - bij KHW en bij KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb



Figuur 87 - Beneden-Zeeschelde te **Boei 84**: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit **onderste toestel** - bij KHW en bij KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb



Figuur 88 - Beneden-Zeeschelde te **Oosterweel**: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit **bovenste toestel** - bij KHW en bij KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb



Figuur 89 - Beneden-Zeeschelde te **Oosterweel**: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit **onderste toestel** - bij KHW en bij KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb

Te Oosterweel zijn zaken dus vrij duidelijk: er heerst een zone van maximum-turbiditeit tussen (ongeveer) Antwerpen en Doel, die bij kleine bovenafvoer van het Zeescheldebekken, in opwaartse zin verschuift zodat de opwaartse "grens" van die zone Oosterweel passeert. Bij grote en zeer grote afvoer naar zee, verschuift de zone van maximum-turbiditeit naar afwaarts, waarbij de opwaartse grens van die zone duidelijk afwaarts van Oosterweel gaat.

Aan Boei 84 is deze relatie ook te herkennen bij het jaarverloop van maximum-waarden van turbiditeit over vloed en over eb, doch minder tot soms amper bij de gemiddelde turbiditeit of bij de turbiditeit bij de kenteringen, en dan minder net boven de bodem dan bij het bovenste meettoestel (dat iets onder laag-laagwaterpeil op vaste hoogte boven bodem is opgesteld).

Bij beschouwing van het jaarverloop van de bovenafvoer van het Zeescheldebekken, en bij vergelijking met het jaarverloop van de turbiditeiten, kunnen vele periodes van kleine of van grote turbiditeit gecorreleerd uitgelegd worden. Een uitzondering daarop is de periode van juli tot half augustus 2009, zowel aan Boei 84 als te Oosterweel, en dat uitgesproken bij het bovenste meettoestel. Het is ook duidelijk waarneembaar bij het onderste meettoestel, doch de verschilwaarde in het jaarverloop is daar niet zo groot.

Het eigenaardige bestaat er in dat in die zomerperiode, de grootte (of kleinte) van de bovenafvoer geen rol kan spelen (zie de jaarverlopen) doch dat het fenomeen zich zowel aan Boei 84 als te Oosterweel duidelijk en ferm voordoet.

Er zou kunnen bedacht worden dat afwijkend grote of afwijkend kleine individuele waarden, bvb. bij de gemiddelde turbiditeit en zeker bij de maximum-turbiditeit, zeer groot resp. zeer klein kunnen zijn, zie grafieken, zonder dat daaraan grote fysische betekenis moet gehecht worden. Dan zou kunnen geargumenteed worden dat het uitschieters betreffen die bij turbiditeitsmetingen, zeker continue, sowieso meettechnisch optreden zegge "spikes" zijn. Troostend volgt dan gewoonlijk de klassieke aanvullende redenering dat de technologie van turbiditeitsmetingen de jongste jaren weliswaar sterk is geëvolueerd, maar dat de omstandigheden waarin de meettoestellen drie soms vier weken zonder controle in situ blijven doormeten, veraf staan van mooie labo-omstandigheden of van bvb dertienuursmetingen waarbij de toestellen onder bijna bestendig toezicht opereren.

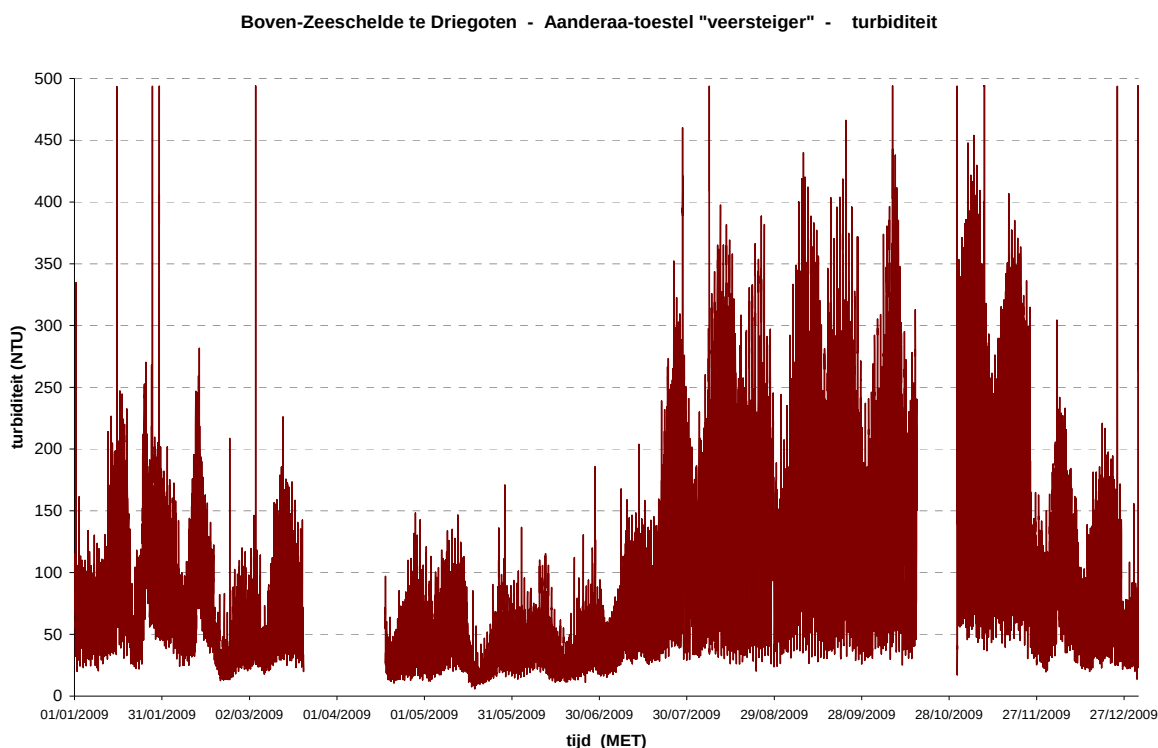
Die ganse uitleg biedt hier geen soelaas. In de periode juli à half augustus 2009 is duidelijk een gestaag zeer grote turbiditeit zowel aan Boei 84 als te Oosterweel gemeten, door vier meettoestellen, onafhankelijk van elkaar. Een verdere uitwerking van de problematiek zal getracht worden te schetsen bij de komende paragraaf over het suspensiegehalte, een parameter die uiteraard zeer dicht bij deze van turbiditeit aanleunt doch fysisch veel sprekender is.

Gans anders voorgesteld geven volgende twee figuren het jaarverloop van de turbiditeit op de meetlocatie te Driegoten. Hier is maar één toestel opgesteld, ongeveer een meter à anderhalve meter onder het ogenblikkelijk waterpeil, dus met het tij mee.

De grafiek is niet opgebouwd met enkel waarden bij de kenteringen, of gemiddelde of extreme waarden over vloed en eb, doch bestaat uit alle meetwaarden, dus over het getij mee. Daarom is in wezen een "vlak" voorgesteld, waarvan de bovenste resp. de laagste waarden de grootste resp. kleinste waarden over een getij voorstellen.

Er is een zeer duidelijk verloop over een doortij/springtij-cyclus te zien (dus veertiendaagse periodes) alsmede een seizoenaal verloop waarvan de zeer grote waarden optreden in de periode van aanhoudend zeer kleine bovenafvoer. Het beeld is hier niet geheel congruent met de verlopen aan Boei 84 en te Oosterweel. Ten eerste geldt hier een andere invloed van het bovendebiet, nl. eerder deze van Schelde en Dender, welke 's zomers en in 2009 ook lange tijd in de nazomer, relatief nog kleiner is geweest dan de afvoer van het Rupelbekken, deelbekken waarvan de afvoer wel en ten volle invloed heeft aan Boei 84 en te Oosterweel. Ten tweede is het beeld van het turbiditeitsverloop over de langsas van de Schelde, van zee tot het Gentse, duidelijk in vakken ingedeeld, o.a. de zone van maximum-turbiditeit in de Beneden-Zeeschelde tussen (gewoonlijk) Doel en Oosterweel. De meetlocatie Driegoten ligt duidelijk altijd opwaarts van dat riviervak, en bovendien iets afwaarts van een andere maximum-turbiditeitszone in het Dendermondse.

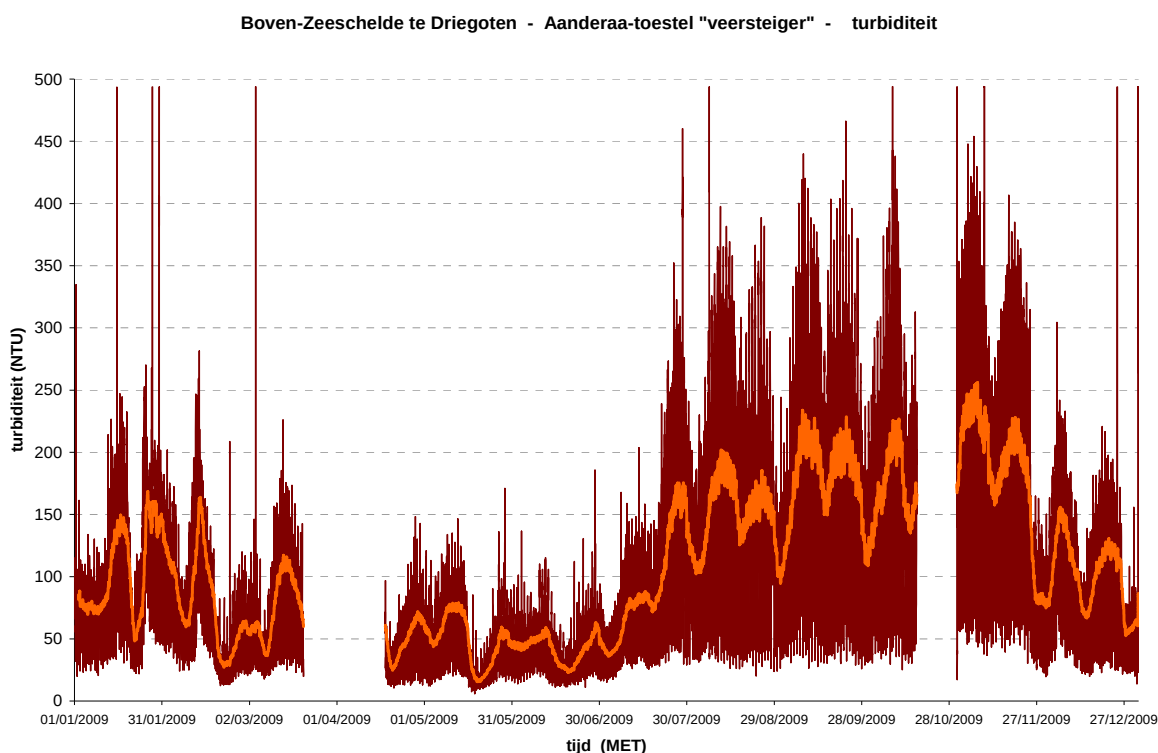
De onderbrekingen in de grafiek zijn periodes waarbij het toestel voor ijking en bijzonder onderhoud van de meetplaats werd weggenomen. Bij aanname dat met de jaren mee er meer toestellen dan meetplaatsen zouden zijn, kunnen dergelijke periodes zonder data vermeden worden.



Figuur 90 - Boven-Zeeschelde te **Driegoten**: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit (de helft van alle opeenvolgende meetwaarden (m.n. om 20 minuten) samen genomen)

Om het jaarverloop in een samengebond beeld te schetsen, werd de vorige figuur in de navolgende herhaald, doch met intekening van een goedgekozen trendverloop, m.n. de turbiditeit over ongeveer een etmaal gemiddeld genomen (zie lichtbruine lijn). Het veertiendaagse verloop (doodtij/springtij-periode) komt zo nog duidelijker tot uiting, en het fenomeen van veel grotere turbiditeit in de periode van aanhoudend zeer kleine bovenafvoer (tijdens zomer én nazomer 2009) komt beter uit.

Zoals ook aan Boei 84 en te Oosterweel al vastgesteld, zijn er zeer grote waarden van turbiditeit gemeten, bvb. geregeld waarden groter dan 300 NTU met uitschieters tot meer dan 400 NTU.



Figuur 91 - Boven-Zeeschelde te **Driegoten**: jaarverloop 2009 per pentade van de turbiditeit (de helft van alle opeenvolgende meetwaarden (m.n. om 20 minuten) samen genomen) plus een (ongeveer) daggemiddelde trendlijn

3.5.2 verloop 2009 van suspensiegehalte continue meetlocaties

Turbiditeitsmetingen vormen een quasi éénduidige maat van enerzijds kleur plus anderzijds "lading" aan gesuspendeerde deeltjes ("slib", lutum, silt, egaal fijn organisch materiaal, ...) van het beschouwde water. Turbiditeit kan wereldwijd volgens een standaard-methode bepaald en geijkt worden, zodat meetresultaten met elkaar kunnen vergeleken worden.

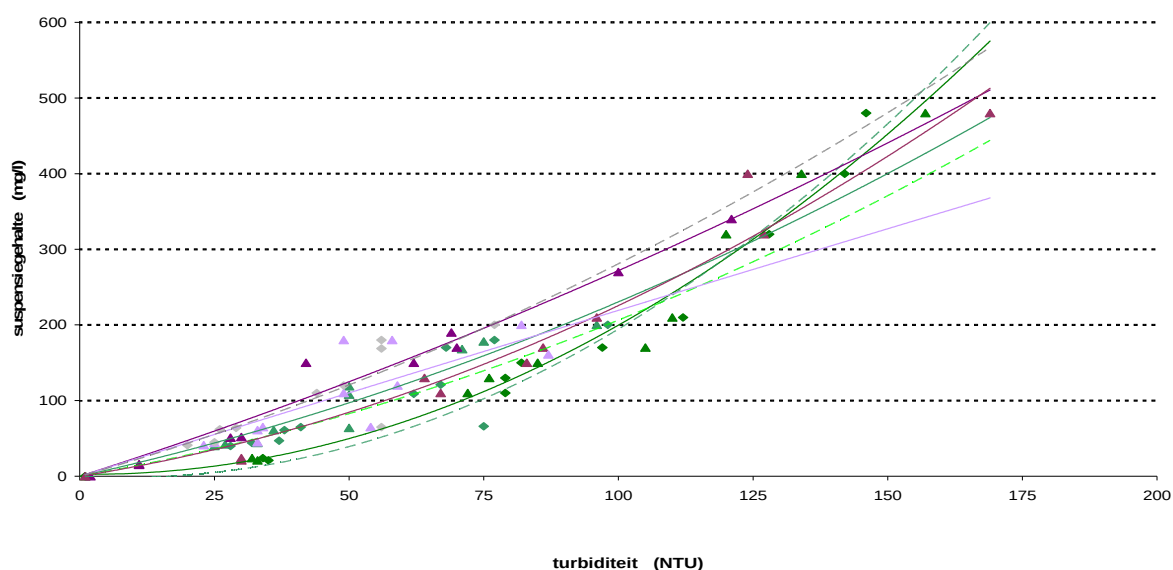
Naar interesse van sedimentologie en morfologie is het suspensiegehalte van het water veel sprekender. De factor "kleur" van het water wordt op die wijze niet mee in beschouwing genomen, en het suspensiegehalte kan zeer fysisch uitgedrukt worden in hoeveel fijne deeltjes (vnl. sediment, doch ook fijn organisch materiaal) er in het water aanwezig zijn. Dikwijls wordt dit nog als "slibgehalte" aangeduid, hetgeen vooral bij derden pejoratief kan klinken; de algemenere term "suspensiegehalte" geldt meer. De benamingen "zwevende stof" ("ZS") en "S.S.C." ("suspended sediment concentration") zijn ook veel in gebruik. Uiteindelijk gaat het er om hoeveel massa aan dergelijk materiaal er per volume-eenheid van water aanwezig is, met in het Zeescheldebekken de gebruikelijke eenheid "mg/l".

De omzetting van turbiditeit naar suspensiegehalte is -zeker in theorie- niet eenduidig. Ze is zowel locatie- als seizoens-afhankelijk. De beïnvloedende factoren zijn de kleur van het water, wat speelt in turbiditeit doch niet in suspensiegehalte, de aanwezigheid van organisch materiaal, de vorm en grootte van het eigenlijke suspensiemateriaal (lutum, silt, slib, eventueel ook fijn zand ...) en het los van elkaar zijn dan wel het aan elkaar geklit zijn van al dat materiaal, zaak dat beïnvloed wordt door de saliniteit van het water en de seizoenen zegge de temperatuur en de biologische activiteit.

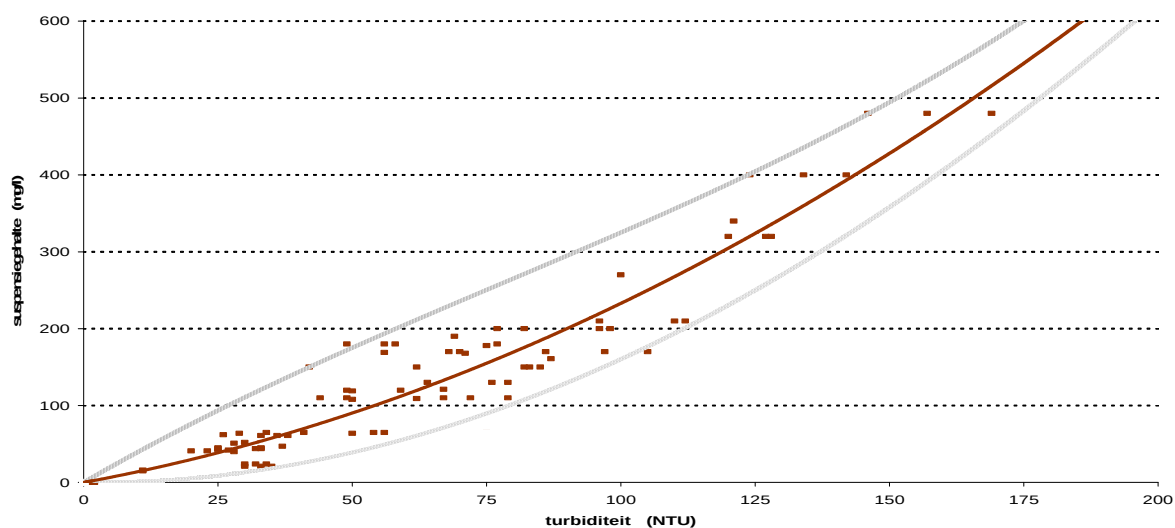
Bij meting van het suspensiegehalte kan aanwezigheid van zandkorrels, zeker fijne zandkorrels, een "storende" factor zijn. Daarbij kan herinnerd worden aan wat eerder in dit rapport reeds is aangegeven: de klassieke scheiding van "silt" en "zand" (dus de grondmechanische verdeling) ligt op 63 (of 64 al naargelang de norm o.a. of openingen in de zeef rond of vierkant zijn ...). Deze scheiding wordt ook zeer vaak klakkeloos in aspecten rond suspensiekorrels in water aangehouden. Evenwel: wereldwijd wordt rheologisch in estuariene sedimentologie en morfologie, de maat van 100 micron aangehouden ter scheiding van fijne (suspensie-)deeltjes en grovere (saltatie- & bodem-)deeltjes. Het is ook zo dat de gebruikte meettoestellen (Aanderaa) turbiditeit meten van kleur van water en van aanwezigheid van fijne (suspensie-)deeltjes en in principe ongevoelig zijn voor grovere (zand-)deeltjes. Bij het verleggen van de maat tussen fijne en grovere deeltjes van 63 (64) micron naar 100 micron, wordt buiten het rheologische aspect, recht gedaan aan wat die meettoestellen "maar" meten, nl. geen zand.

Normaliter worden twee maal jaars, zgd. in een "winter"- en een "zomer"-omstandigheid, de Aanderaa-mettoestellen uit hun meetlocatie weggenomen, en worden ze alle gelijktijdig geijkt in dienstige rivieromgevingen (m.n. waar een variatie aan suspensiegehalte heerst). Deze ijking gebeurt door afweging van de via filtering en weging bepaalde suspensiegehaltes van genomen water-monsters op verschillende plaatsen en dieptes, tegen de overeenkomstige meetwaarden van ogenblikkelijke turbiditeit per toestel en per monstername.

De volgende figuur geeft als voorbeeld, de verzameling van enerzijds de uitgevoerde ijkingen van turbiditeit naar suspensiegehalte, en anderzijds de trendlijnen die door de daarvan overeenkomstig zijnde ijkpunten, nl. per toestel en per seizoen.



Figuur 92 - verzameling van calibratiepunten van opgestelde Aanderaa-meettoestellen en hun respectievelijke trendlijnen (toestel per toestel, en seizoen per seizoen genomen)



Figuur 93 - verzameling van dezelfde calibratiepunten van opgestelde Aanderaa-meettoestellen (zoals in vorige figuur) doch met één enkele algemene trendlijn over alle toestellen en alle seizoenen heen, plus de 5- en 95-percentielen van de spreiding der calibratiepunten omheen die enkele trendlijn

Wat uit die eerste grafiek aan ijkwaarden en (calibratie-)trendlijnen kan afgeleid worden, is de grote spreiding van de afzonderlijke ijkwaarden rond en om de respectievelijke calibratielijnen. In het eerste Moneos-jaarboek (over 2008) zijn daar getalmatige beschouwingen over gegeven.

Buiten een vergelijking van suspensiegehaltes bij bvb. eenzelfde turbiditeitswaarde, nl. deze volgens de betrokken calibratielijijn (toestel per toestel, ijkperiode per ijkperiode) met echte ijkwaarden waaruit die calibratielijnen als trendlijnen zijn bepaald, kunnen ook de andere ijkwaarden, die eenzaam horen bij een bepaalde turbiditeit doch geen naburige te vergelijken waarden kennen, aan de trendlijn worden afgetoetst. In te vele gevallen is het besluit dat de spreiding van de afzonderlijke ijkwaarden rond en om de betrokken trendlijn, zeer groot is.

Worden de ijkpunten per locatie bekeken, alle aldaar geplaatste toestellen en alle seizoenen tezamen, moet dus besloten worden dat de spreiding van de afzonderlijke ijkwaarden van rond en om hun respectievelijke trendlijnen, toch zeer groot is.

Maar: men dient er zich een goed fysisch beeld van te vormen. De gesuspendeerde deeltjes vormen geen homogeen verdeeld veld, overal uniform voorkomend, en men ziet in situ duidelijk dat al dat suspensiemateriaal dikwijls als afzonderlijke "wolken" passeren, en slechts weinig optreden als een iet of wat veld met homogene trekken. Men kan in de Beneden-Zeeschelde wijzen op de grote turbulentie van het Scheldewater, op locale "verstoringen" (invloed wisselende geulen langs en dwars, invloed zijdokken of toegangen tot sluizen, invloed dammen, invloed steigers en dukdalven, enz.) die alle samen het beeld van passerend suspensiemateriaal heterogeen maken. Kenschetsend zijn de "slib-wolken" die vanaf de steiger te Liefkenshoek of aan de toegangsgemaal van Kallosluis kunnen gezien worden: het suspensiemateriaal passeert niet enkel in afzonderlijke wolkenformaties volgens langsas, maar er borrelen duidelijk suspensiewolken verticaal naar het wateroppervlak. In beide soorten "wolken" is het suspensiegehalte makkelijk een vijfvoud van het suspensiegehalte in de tussenin gelegen "suspensie-arme" tijdsgebonden overgangen tussen die "suspensie-rijke" "wolken". Weliswaar worden dergelijke qua sediment-voorkomen extreme locaties als meetlocatie vermeden, en worden de toestellen uitgezet op veel rustiger locaties.

Het is dan ook duidelijk dat als op éénzelfde locatie, op éénzelfde diepte onder watervlak of op éénzelfde hoogte boven bodem, turbiditeit continu wordt gemeten, het per bvb. halve minuut genomen, een sterk variërend beeld geeft. Hoe goed de meetlocaties ook zijn gekozen! De vraag rijst dan wat van al die waarden kan/moet worden onthouden ... een al dan niet gewogen gemiddelde, of het maximum of zoiets als een 90%-percentiel ... ? En dan kan onderscheid gemaakt worden tussen enerzijds het willen voorstellen van een "jaarbeeld" (zoals dit "Moneos"-rapport beoogt) en anderzijds het willen/moeten weergeven van het sterk variërende verloop van suspensiegehalte ten nutte van bvb. twee- of drie-dimensionale mathematische berekeningen, of het willen nagaan van bvb. dichtheidsstromingen of bvb. invloed van stroombeïnvloedende elementen (zoals een CDW = Current Deflecting Wall). In het eerste geval, en dat in dit jaarboek geldt, kan sterk uitgemiddeld worden, en moet het jaarverloop van het suspensiegehalte per locatie uiteindelijk worden getoetst aan het bovendeel van het Zeescheldebekken (m.n. "de Schelde te Schelle") wat nu per vijfdaagse periode wordt bepaald. Het per halve minuten wisselende beeld doet dan weinig ter zake. In het tweede geval is er wél nood aan alle data zonder veel uitmiddeling, ook al zijn de mathematische formules van suspensietransport nog niet zo ver dat zij dat grillige verloop zouden weergeven zonder op hun beurt ook een flinke spreiding tussen meting en mathematica te kennen, spreiding in orde van grootte zoals de ijkpunten waard zijn tegenover hun calibratie(trend-)lijnen.

Met:

- deze (sterk fysisch gerichte) filosofie in het achterhoofd;
 - de bedoeling om een JAARbeeld te geven en niet aan te geven wat mathematische modellen als (?) minutieuze input (?) zouden moeten hebben om uiteindelijk toch ook maar spreidingsvolle berekeningsresultaten te geven;
 - de bedenking dat in alle gevallen een grote spreiding bestaat tussen ijkwaarden en hun trendlijnen, zo toestel per toestel als locatie per locatie als seizoen per seizoen genomen;
 - en gezien het verloop van de afzonderlijke trendlijnen aldus relatief goed naar één gemiddelde (algemene) trendlijn neigt;
- werden in figuur 93 alle ijkwaarden gelijkwaardig uitgezet en die éne algemene trendlijn bepaald. Tevens zijn de 5- en 95-percentielijnen weergegeven.

Binnen de redenering dat een gemiddelde waarde op de calibratielijn staat t.o.v. haar ijkwaarden plusminus een standaarddeviatie, kan uit de grafiek van alle ijkwaarden worden afgeleid dat de turbiditeitswaarden bepaald via die éne algemene calibratielijn, schommelen met een spreiding analoog als dat de ijkwaarden per toestel, per locatie, en per seizoen rond hun aparte betrokken trendlijnen schommelen. Voor een jaarbeeld zal het gebruik van die éne algemene calibratielijn ruim aan de fysica per pentade voldoen.

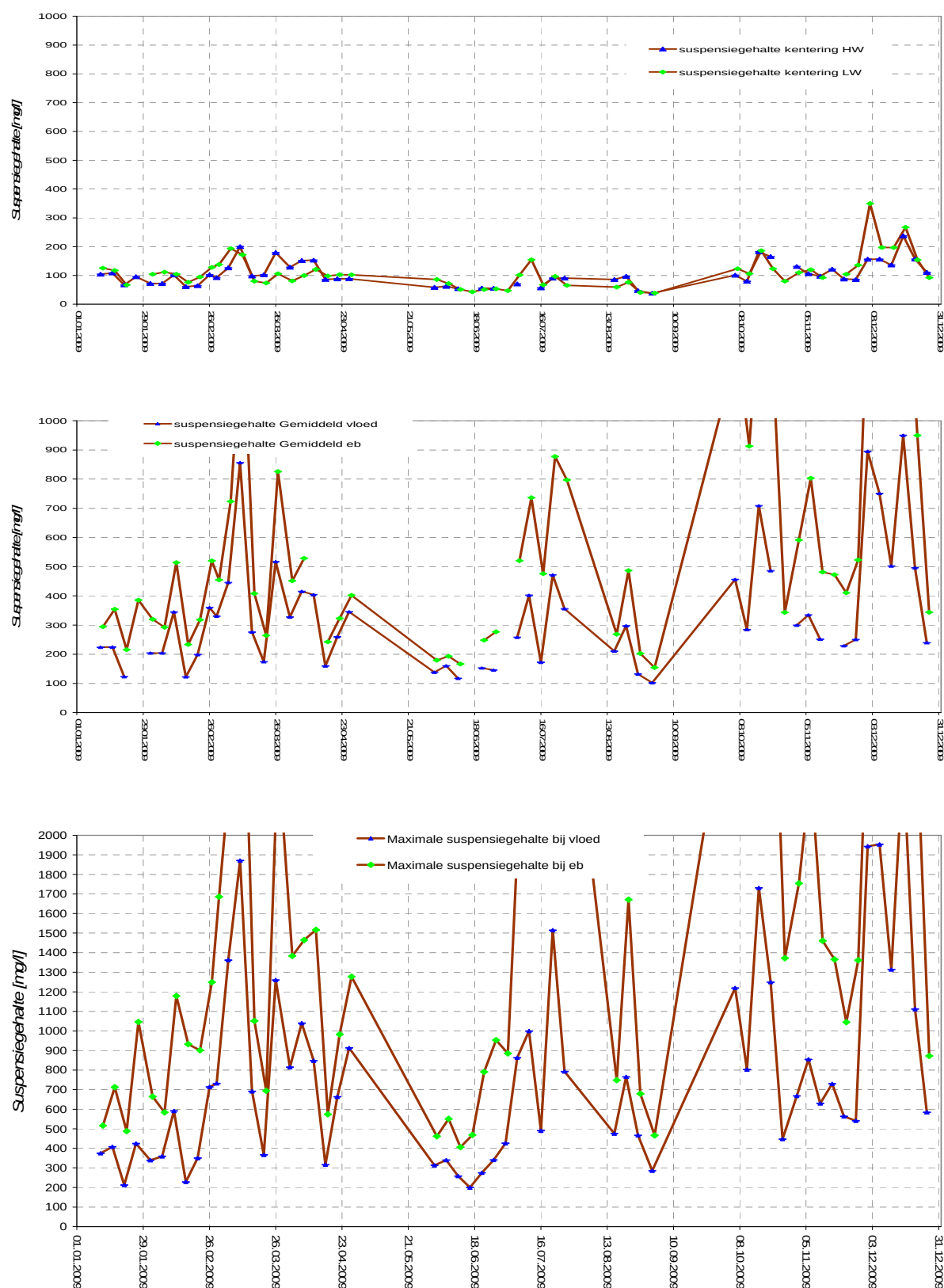
Net zoals bij de voorstelling en bespreking van de parameter "turbiditeit", zullen de metingen aan Boei 84, te Oosterweel en ook te Driegoten aan bod komen. Voor beide eerstgenoemde plaatsen zijn er twee meettoestellen, nl. om het hoogst opgestelde meettoestel ("top" of "boven"), dus op ongeveer een meter onder laag-laagwaterpeil, en deze net boven de bodem ("onder").

Ook analoog worden de waarden beschouwd bij primo de kenteringen van hoog- en laagwater, secundo worden de gemiddelden tijdens vloed resp. eb beschouwd, en tertio de maximumwaarden tijdens vloed resp. eb. Zoals bij de turbiditeit gaat het telkenmale om gemiddelden van de overeenstemmende meetresultaten gedurende een vijfdaagse periode, dus staat elke weergegeven waarde voor het gemiddelde van negen à tien desbetreffende waarden per vijfdaagse. Zo is het in dit rapport bedoelde "maximum tijdens vloed" van een vijfdaagse periode, het gemiddelde van de negen à tien opgetreden maximumwaarden, nl. telkens het maximum van de in die vijf etmalen opgetreden negen à tien vloedten.

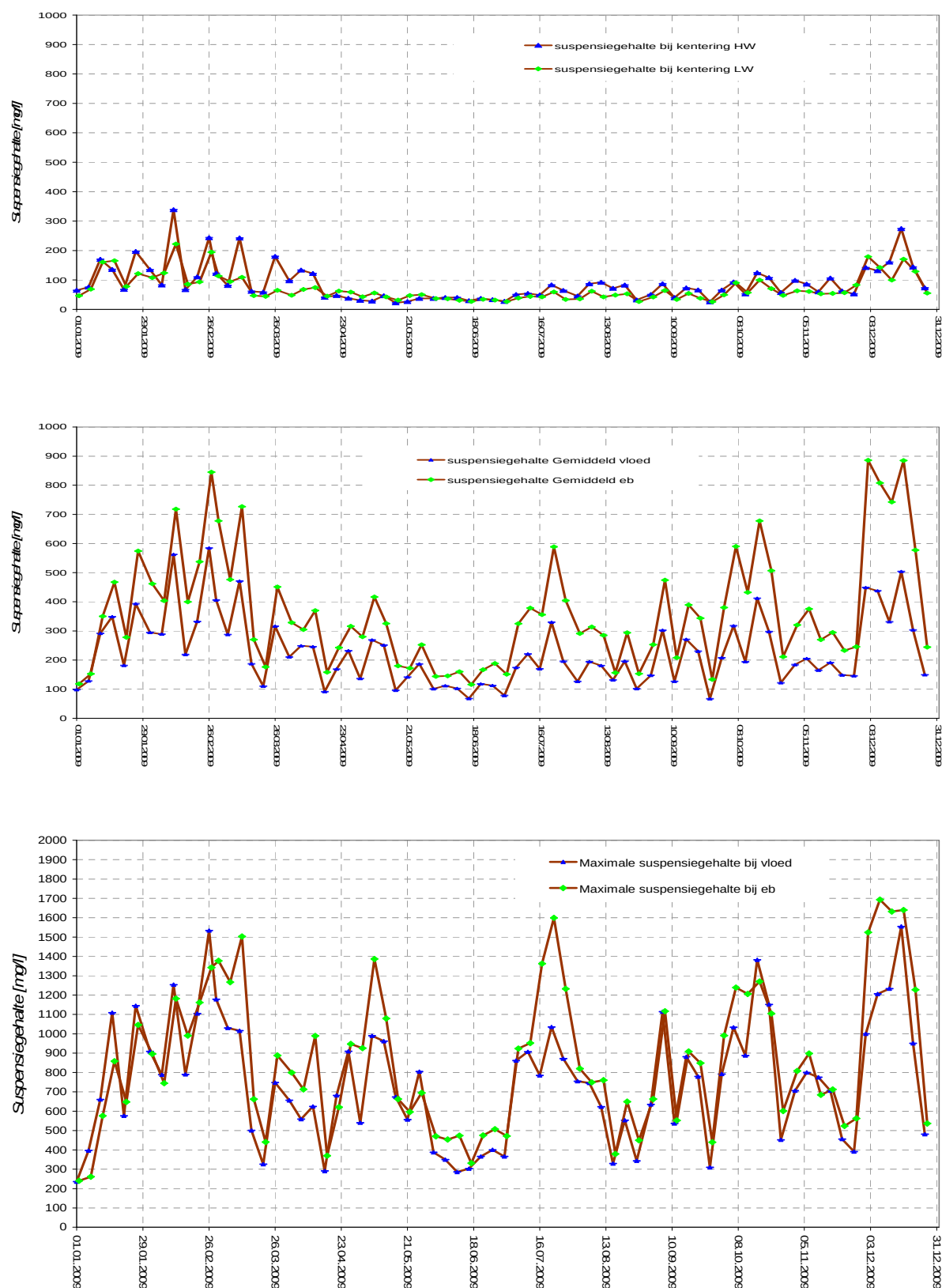
Het feit van de keuze van vijfdaagse periode steunt op het per vijfdaagse periode berekend zijn van de bovenafvoer van het Zeescheldebekken, de bovendebieten van "de Schelde te Schelle", en waarmee inderdaad een zeer grote fysische overeenstemming geldt.

Noot:

De figuren over het suspensiegehalte op volgende vier bladzijden, zijn blad per blad deze van één meetlocatie (resp. Boei 84 boven, Boei 84 onder, Oosterweel boven en Oosterweel onder), met dan per blad telkens van boven naar beneden: het suspensiegehalte bij de kenteringen (KHW en KLW), het gemiddelde suspensiegehalte over vloed en eb, en tenslotte het suspensiegehalte dat tijdens vloed en eb maximum was. Het gaat telkens over gemiddelde resp. uiterste waarden per pentade dus niet over individuele kenteringen of vloed of eb, doch telkens bekeken per vijfdaagse periode. De schaal van de y-as is op telkens de onderste figuur dubbel van deze der beide bovenste !



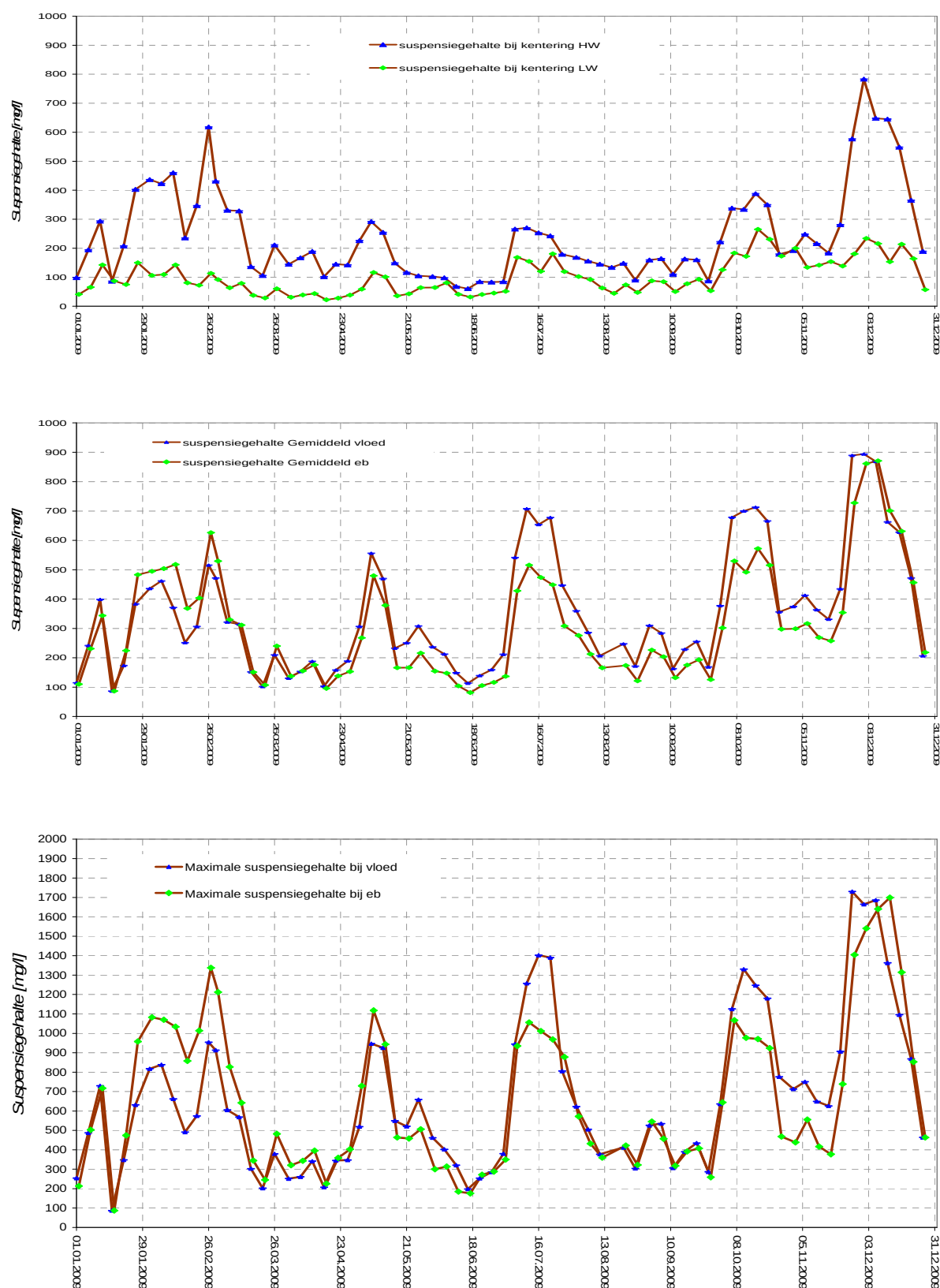
Figuur 94 - Beneden-Zeeschelde te **Boei 84**: jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte **bovenste toestel** - bij KHW en bij KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb



Figuur 95 - Beneden-Zeeschelde te **Boei 84**: jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte **onderste toestel** - bij KHW en bij KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb



Figuur 96 - Beneden-Zeeschelde te **Oosterweel**: jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte **bovenste toestel** - bij KHW en bij KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb



Figuur 97 - Beneden-Zeeschelde te **Oosterweel**: jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte **onderste toestel** - bij KHW en bij KLW, gemiddeld over vloed en eb, en maximaal over vloed en eb

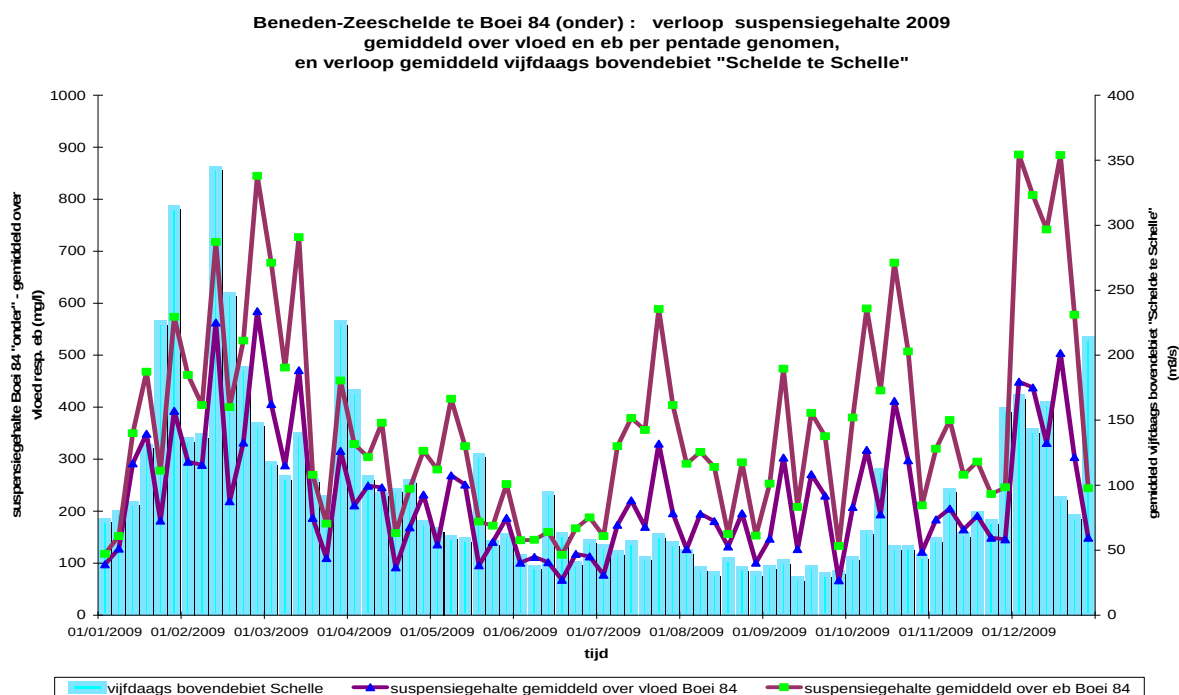
De turbiditeit en dus het suspensiegehalte bij de kenteringen kan als een achtergrondwaarde worden beschouwd, gemeten in telkens die korte tij- en tijd-periode van zeer kleine stroomsnelheden, dus bij -in principe- neerslaan van materiaal. Enig verschil in de waarden aan Boei 84 en te Oosterweel bestaat er in dat de waarden aan Boei 84 bij KLW en KHW aan elkaar ongeveer gelijk zijn, terwijl te Oosterweel de waarden bij KHW duidelijk altijd groter zijn dan bij KLW. Dat kan uitgelegd worden door de duurtijd van de kenteringen aan de meetlocaties: zijn deze tijdsduren kort, dan is de tijd kort dat stroomsnelheden klein zijn alsook de tijd om partikels neer te slaan; er blijft m.a.w. in de waterkolom een grotere turbiditeit (dus een groter suspensiegehalte) dan bij de langer durende kenteringen. Inderdaad is de duurtijd van kentering hoogwater aan het baken van Oosterweel zeer kort, zodat het suspensiegehalte bij KHW flink groter is dan bij KLW. Aan Boei 84 zijn de tijdsduren van kenteringen hoog- en laagwater vrij goed aan elkaar gelijk, en niet zo kort als de duur van de kentering van hoogwater te Oosterweel.

De maximale turbiditeit en dus ook het maximale suspensiegehalte gedurende vloed of eb zijn -ook in principe- deze in een soort van extreme situatie, en waarbij de suspensiegehalten onderling dus sowieso zeer grote variaties moeten kennen. Het kan beschouwd worden als een verzameling uitschieters, soms vrij toevallig zeer groot omwille van een singuliere dus geen algemene reden. Toch is er over een jaar met vijfdaagse waarden een algemeen beeld van te maken m.n. dat de maximum-snelheden aan Boei 84 bij eb groter zijn dan bij vloed, vooral in de waterkolom (zie "bovenste" meettoestel). Te Oosterweel is dat beeld wisselend; bovendien zijn de maximum-stromingen over vloed resp. eb -en zowel bovenste als onderste meettoestel- in tezamen de helft van een jaarperiode ongeveer aan elkaar gelijk.

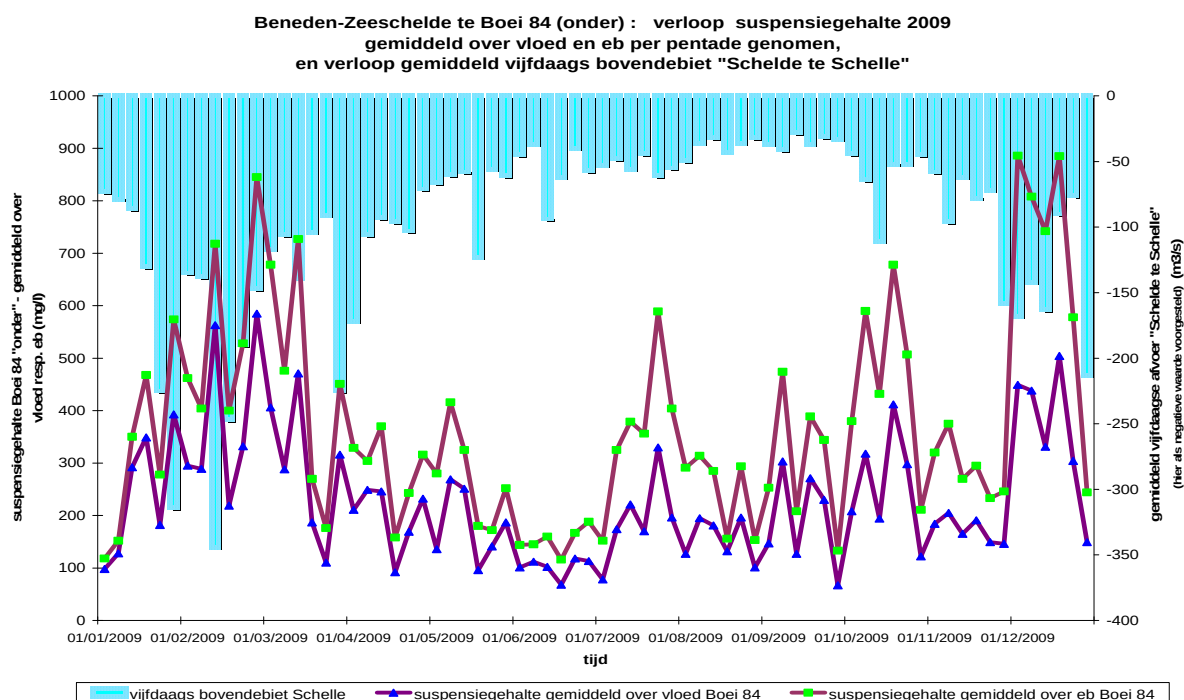
Ongeveer eenzelfde beeld wordt getoond bij de gemiddelde turbiditeiten over vloed resp. eb. Aan Boei 84 zijn deze bij eb duidelijk steeds groter dan bij vloed. Het verschil is soms zeer aanzienlijk, wat te maken heeft met zowel een grotere stroomsnelheid als met de gemiddeld langere duurtijd ervan. Te Oosterweel liggen de gemiddelde turbiditeiten over vloed en eb nauwer bij elkaar, met meestentijds bij vloed iets groter dan bij eb. Enkel in de eerste twee maanden kan het ook anders zijn. De reden is niet duidelijk.

In volgende figuren, waarbij het suspensiegehalte gekoppeld wordt aan de bovenafvoer "Schelde te Schelle", zijn de gemiddelde suspensiegehalten tijdens vloed resp. eb beschouwd. Dus: noch de minder variërende suspensiegehalten (bij kenteringen) noch de (soms te) veel variërende suspensiegehalten (maximum-waarden bij vloed of eb) zijn daarbij figuurgewijs in ogenschouw genomen.

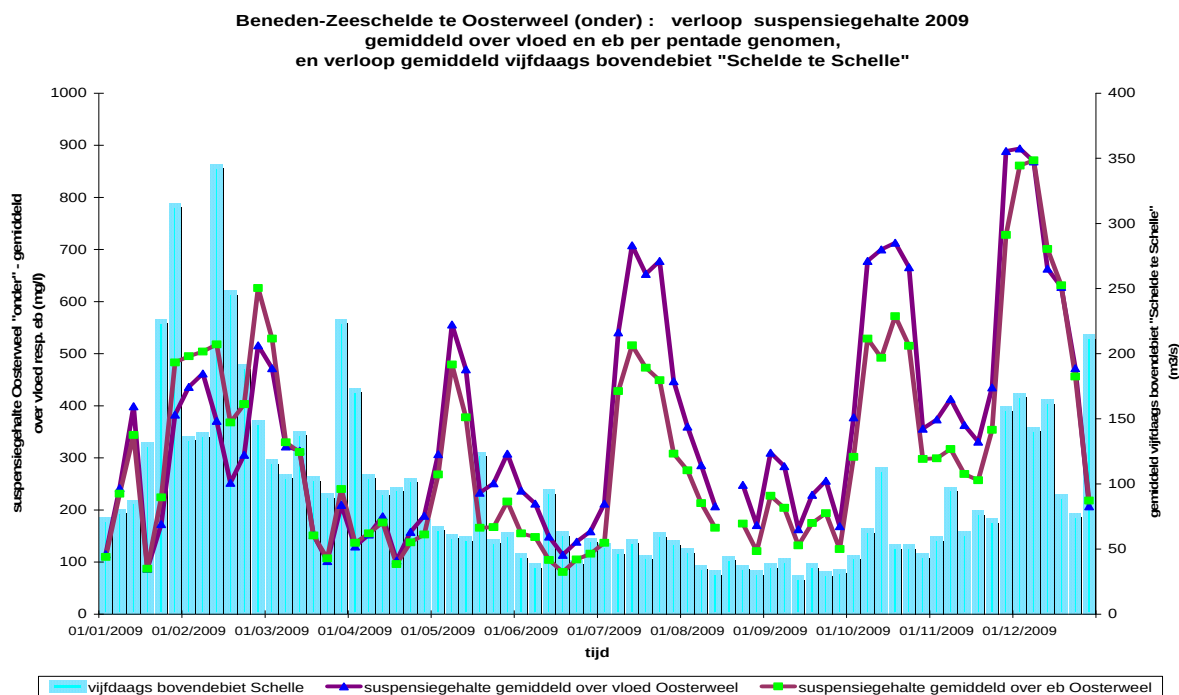
Zoals hoger al gedaan bij de koppeling van chloridegehalten met de bovenafvoer van het Zeescheldebekken, is in volgende vier figuren eerstens dat bovendebiet van "de Schelde te Schelle" volgens een normale, positieve y-as weergegeven, maar gevolgd door een figuur waarbij die as in zin is omgedraaid, waardoor grote waarden van dat bovendebiet meer naar omlaag duiden dan kleine waarden, wat zo overduidelijk bij conductiviteit en chloridegehalte het correlatieve verband sprekend heeft aangegeven. De vraag is of dat met de suspensiegehalten aan Boei 84 en te Oosterweel ook het geval is, alhoewel hier het verband mogelijk anders zou kunnen uitdraaien. Op eerste zicht lijkt er een periode in de zomer te zijn dat in vergelijking met andere periodes niet aan een correlatief verband tussen suspensiegehalte en bovenafvoer voldoet, zodat ook andere elementen moeten opgezocht worden.



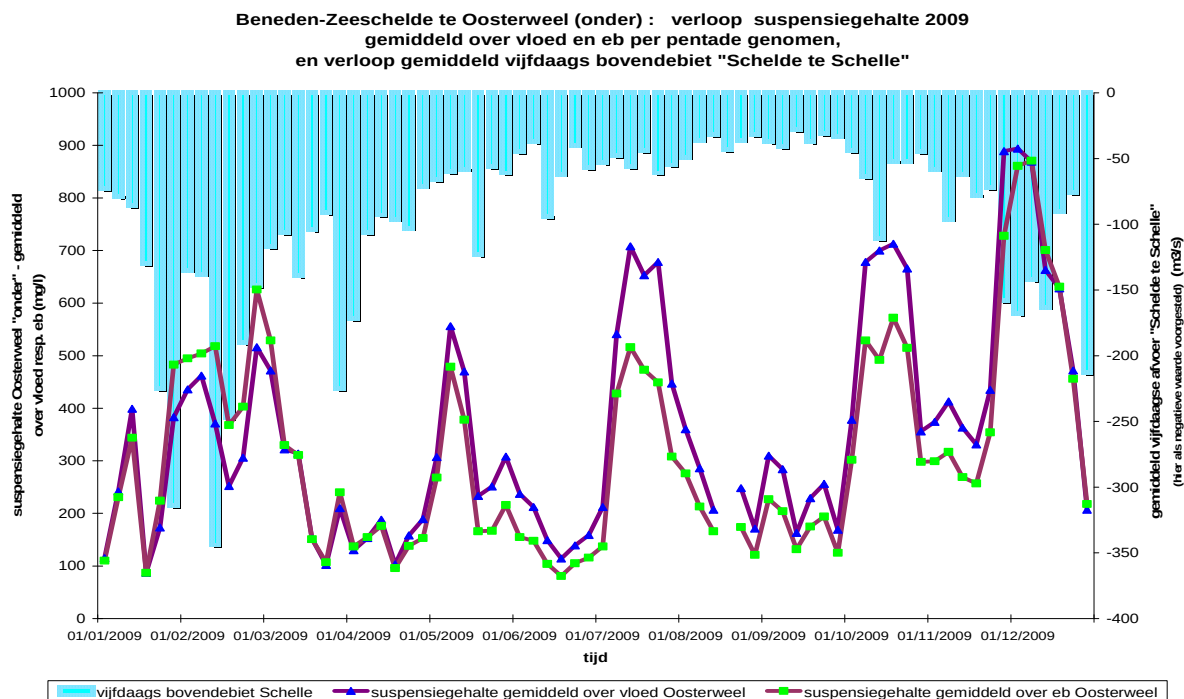
Figuur 98 - Beneden-Zeeschelde te **Boei 84**: jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte **onderste toestel** - gemiddeld over vloed en eb - plus vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle"



Figuur 99 - Beneden-Zeeschelde te **Boei 84**: jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte **onderste toestel** - gemiddeld over vloed en eb - plus vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle"



Figuur 100 - Beneden-Zeeschelde te **Oosterweel**: jaarverloop 2009 per pentade van suspensiegehalte **onderste toestel** - gemiddeld over vloed en eb - plus vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle"



Figuur 101 - Beneden-Zeeschelde te **Oosterweel**: jaarverloop 2009 per pentade van suspensiegehalte **onderste toestel** - gemiddeld over vloed en eb - plus vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle"

De locaties Oosterweel en Boei 84 liggen ongeveer 15 km uit elkaar. Het is dus zeker dat veel druppels Scheldewater, en dus veel korrels suspensiemateriaal, binnen één vloedperiode of binnen één ebperiode beide locaties in dezelfde zin (vloed en eb), doch ook resulterend (over één getij), passeren. Bij een gemiddelde vloodsnelheid van bvb. 1,30 m/s over de bovenste waterlagen en een vloedduur van ongeveer 5u40min, gaat een vloedverplaatsing gepaard van ongeveer 26 à 27 km. Bij een gemiddelde ebsnelheid van bvb. 1,25 m/s over de bovenste waterlagen, en een ebduur van 6u45min, gaat een ebverplaatsing gepaard van ongeveer 30 à 31 km. Wordt de waterverplaatsing niet over bovenste waterlagen maar over ganse sectie genomen, zijn deze waarden kleiner. Bij doottijen zijn deze waarden kleiner dan gemiddeld, bij springtijden groter.

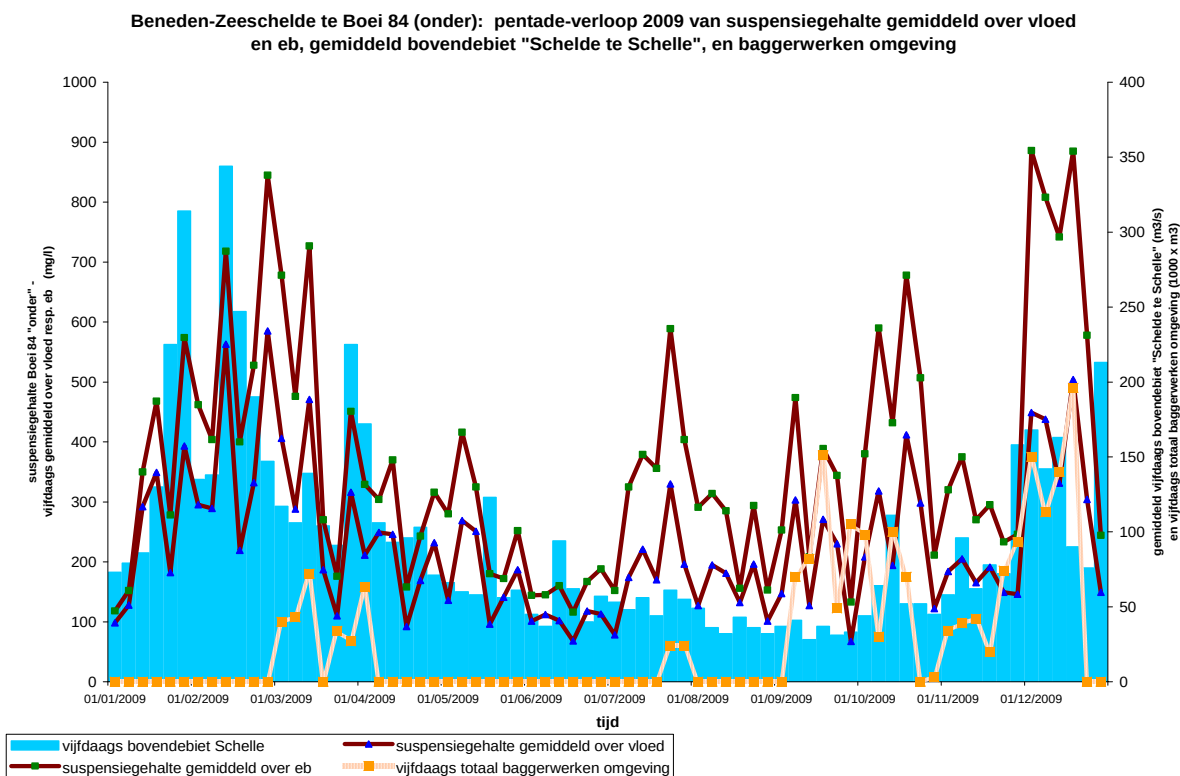
Als het bovendebiet impact heeft op de suspensiegehalten te Oosterweel, is die dus binnen hetzelfde tij ook te zien aan Boei 84; hoogstens zou er in een doottijperiode een afgeronde vertraging van een etmaal (dubbeltij i.p.v. één tij) kunnen zijn. Het congruent of incongruent zijn van de verlopen van suspensiegehalte tussen Oosterweel en Boei 84 betreft niet alleen het feit van de invloed van het bovendebiet op die gehalten, maar ook dat bijna geen verdere vertraging t.o.v. het optreden van het bovendebiet "Schelle" bestaat.

Het valt aldus ook hier (zoals bij bvb. conductiviteit en chloridegehalte, en ook bij turbiditeit) aan Boei 84 en te Oosterweel op hoe flink en hoe snel enige variatie in de bovenafvoer van het Zeescheldebekken naar zee, invloed uitoefent op het suspensiegehalte.

In de zoektocht naar meer uitleg omtrent zaken, en o.m. oorzakelijke verbanden tussen fenomenen, wordt geopperd dat het uitvoeren van baggerwerken aanleiding geeft tot beduidende en langdurige verhoging van de turbiditeit in de directe omgeving. Bij baggerwerken middels sleep-hopperzuigers, zoals in Westerschelde en Beneden-Zeeschelde qua onderhouds- en verruimings-baggerwerken het geval is, wordt de beun van het baggerschip met baggerspecie gevuld, zegge een mengsel van rivierwater, zand en silt. De kunst is een zo groot mogelijk aandeel zand in dat mengsel te hebben, maar het kan niet anders dat -zeker in de Beneden-Zeeschelde- een behoorlijk aandeel silt mee wordt opgebaggerd. Eens de beun van het baggerschip vol met dat mengsel, lopen water en silt terug in de rivier, met bezinking van zoveel als mogelijk van het aandeel aan zand in de beun zelf. Het morswater met silt laat een pluim in de rivier na, en passeert dat een meetstation naar turbiditeit, dan moet zulks opgemerkt worden.

Nu is aan de meetlocatie Boei 84 in 2009 ruim gebaggerd. Enerzijds gaat het om baggerwerken op de Drempel van Frederik, wat bij vloed invloed op de turbiditeit aan Boei 84 zou kunnen geven, en anderzijds in het zgde Vaarwater aan de rand van de Plaat van Lillo, wat bij eb aan het meetstation Boei 84 zou kunnen gemeten worden. Om daarvan grafiekmatig enig beeld van te bekomen, werd het suspensiegehalte aan het meetstation Boei 84, met name het gemiddelde gehalte over vloed resp. over eb, vergeleken met het bovendebiet van "de Schelde te Schelle" zoals in figuur 97 het geval was, doch ook met de totale hoeveelheid aan baggerspecie in dezelfde pentade op zowel de Drempel van Frederik als aan het Vaarwater Plaat van Lillo gewonnen, zie figuur 101.

In lichtbruine geblokte lijn is het vijfdaags totaal van in die directe omgeving gebaggerde specie uitgezet. In 45 pentades (en dat op 72 pentades in één jaar) werd er niet gebaggerd; de lichtbruine blokken-lijn ligt op de tijd-as. In maart en april werd wél gebaggerd, doch de alsdan optredende turbiditeit heeft een verloop dat deels voor-ijlt deels na-ijlt op het verloop van de baggerwerken. Dat schept geen correlatie. Overigens was de turbiditeit in januari en februari 2009 geregeld zeer groot, terwijl er geen baggerwerken werden uitgevoerd; het bovendebiet was wél groot, en er is flinke congruentie tussen de verlopen van turbiditeit en bovendebiet wat hùn correlatie wél onderstreept.



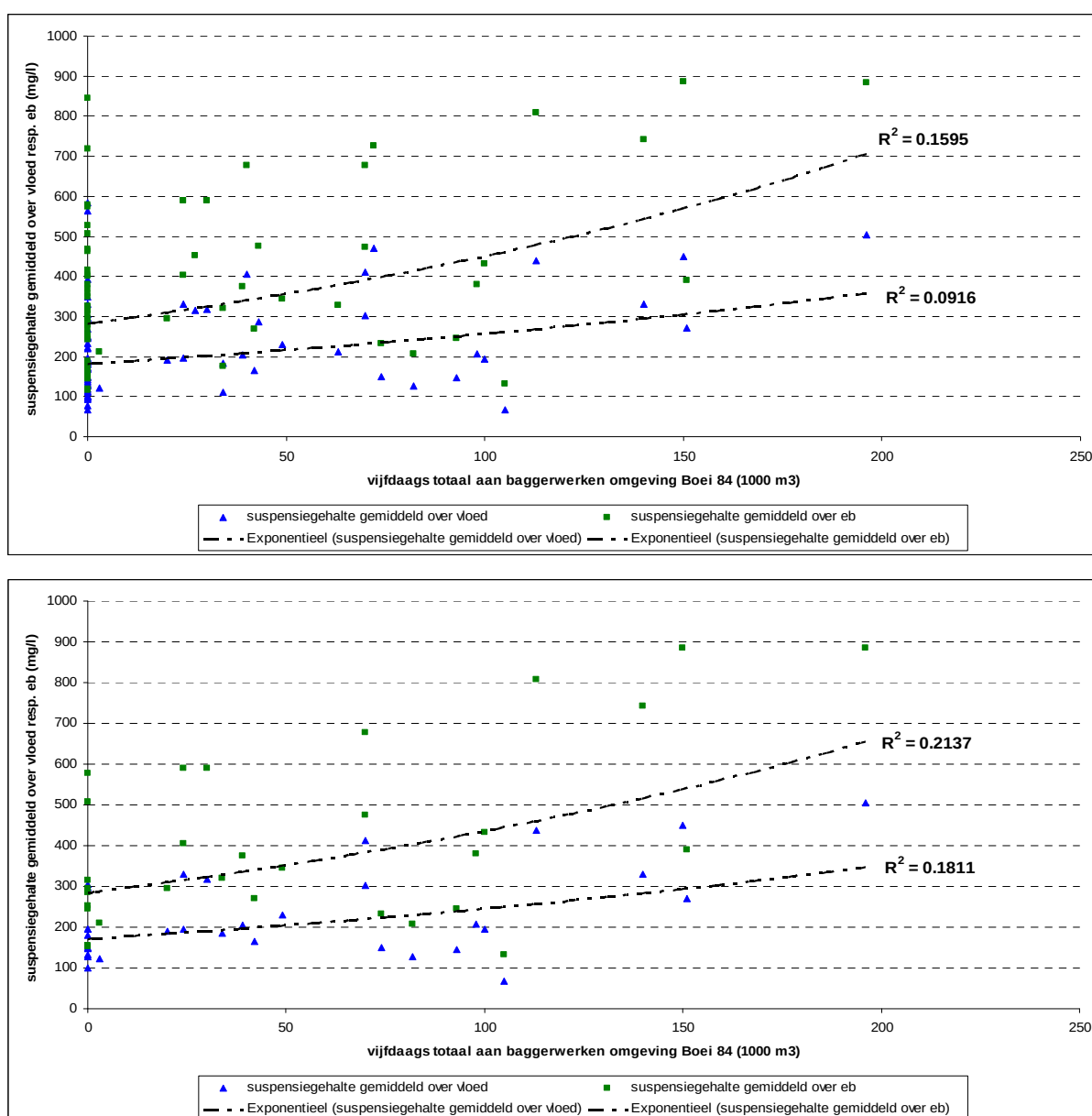
Figuur 102 - Beneden-Zeeschelde te **Boei 84**: jaarverloop 2009 per pentade van suspensiegehalte **onderste toestel** - gemiddeld over vloed en eb - plus vijfdaagse afvoer "Schelde te Schelle" - plus vijfdaags totaal aan uitgevoerde baggerwerken in de directe omgeving

De twee pentades in de maandovergang juli naar augustus 2009, kenden wel baggerwerken, en situeren zich in een tijdelijk vergroten van het suspensiegehalte. Maar de gebaggerde hoeveelheid is vrij klein, terwijl de vergroting van het suspensiegehalte vrij groot is, zodat het één het andere niet meteen doet correleren. Bovendien was het suspensiegehalte al enkele pentades voordien flink aan het vergroten, zodat ook hiermee geen correlatie in de zin van "baggerwerken resulteren in een vergrootte suspensie" kan aangegeven worden.

Van september tot einde 2009 zijn in vele pentades ruime baggerwerken in de nabijheid van Boei 84 uitgevoerd, en zijn er piekwaarden in het suspensiegehalte afgewisseld met "dalen" van kleine waarden, doch zo op eerste zicht af en toe enige congruentie zou kunnen ontdekt worden, geeft de afwisseling van voor- en na-ijling ook hier aan dat het beeld geen correlatief verband doet vermoeden, nog versterkt door -soms- het gelijktijdig optreden van "pieken" in het ene verloop tegen "dalen" in het andere verloop. Let wel: suspensiegehalte, bovendebiet en baggerhoeveelheid zijn in die grafiek gelijktijdig in eenzelfde pentade uitgezet.

Kortom: buiten de zomerperiode is er een mooi verband tussen het optreden van vergrootte en flink grote bovenafvoer van "de Schelde te Schelle" en het suspensiegehalte aan Boei 84, zo naar samengaan in tijd als naar grootte, doch geen met het uitvoeren van baggerwerken. In de zomerperiode zijn de twee periodes van groter suspensiegehalte niet gekenmerkt door een vergrootte bovenafvoer, die op zich klein is en blijft, en over pentades genomen een dalende trend kent.

Het systeem van "nodige en voldoende voorwaarden" is in bewijsvoeringen ruim bekend. In een poging om fenomenen verder uit te spitten, is onderstaand een "nodige voorwaarde" voor enig verband tussen baggerwerken en suspensiegehaltes ruwweg geschetst, doch het betreft nog geen "voldoende voorwaarde". Gehoopt wordt dat de redenering kan worden bijgetreden en dat de werkwijze verder zou worden uitgewerkt. Het handelt daarbij om het zoeken van een goed verband tussen enerzijds de per pentade gemeten suspensiegehaltes gemiddeld over een vloed of over een eb bepaald, en anderzijds de ook per pentade samengetelde hoeveelheid aan baggerwerken in de directe omgeving van Boei 84, dus én Drempel van Frederik én Vaarwater Plaat van Lillo, zowel de aldaar uitgevoerde onderhouds- als verruimingsbaggerwerken in 2009.



Figuur 103 - Beneden-Zeeschelde te Boei 84 - onderste meettoestel : jaarverloop 2009 per pentade van het suspensiegehalte gemiddeld over vloed en eb i.f.v. de in dezelfde pentade uitgevoerde baggerwerken in de directe omgeving, m.n. met alle data van het gehele jaar 2009 in bovenste grafiek en met enkel de data uit het tweede halfjaar 2009 in onderste grafiek

Figuur 102 toont in twee grafieken het uitzetten van het per pentade bepaalde suspensiegehalte aan Boei 84, onderste meettoestel, tegen het in dezelfde pentade totaal aan uitgevoerde baggerwerken in de directe omgeving. In de bovenste grafiek handelt het om alle data van het gånse jaar 2009. De determinatiecoëfficiënt (R^2) is ronduit pover. In de onderste grafiek handelt het om enkel de data uit het tweede halfjaar 2009, omdat er in die periode toch vele pentades zijn mét uitgevoerde baggerwerken (tegen in het eerste halfjaar slechts enkele) én met op eerste zicht enig visueel verband tussen suspensiegehalte en baggerwerken, hoewel -zoals hoger aangegeven- na- en voorijling tussen die beide zaken enig verband danig vertroebelt. Ook in de onderste grafiek is R^2 klein. In diezelfde grafieken komen -uiteraard- vele koppels voor waarbij het totaal aan uitgevoerde baggerwerken per pentade, nul is. Dat verstoort het beeld, alhoewel uitproberen leert dat R^2 zonder die pentades waarbij geen baggerwerken werden uitgevoerd, nog kleiner uitvalt ...

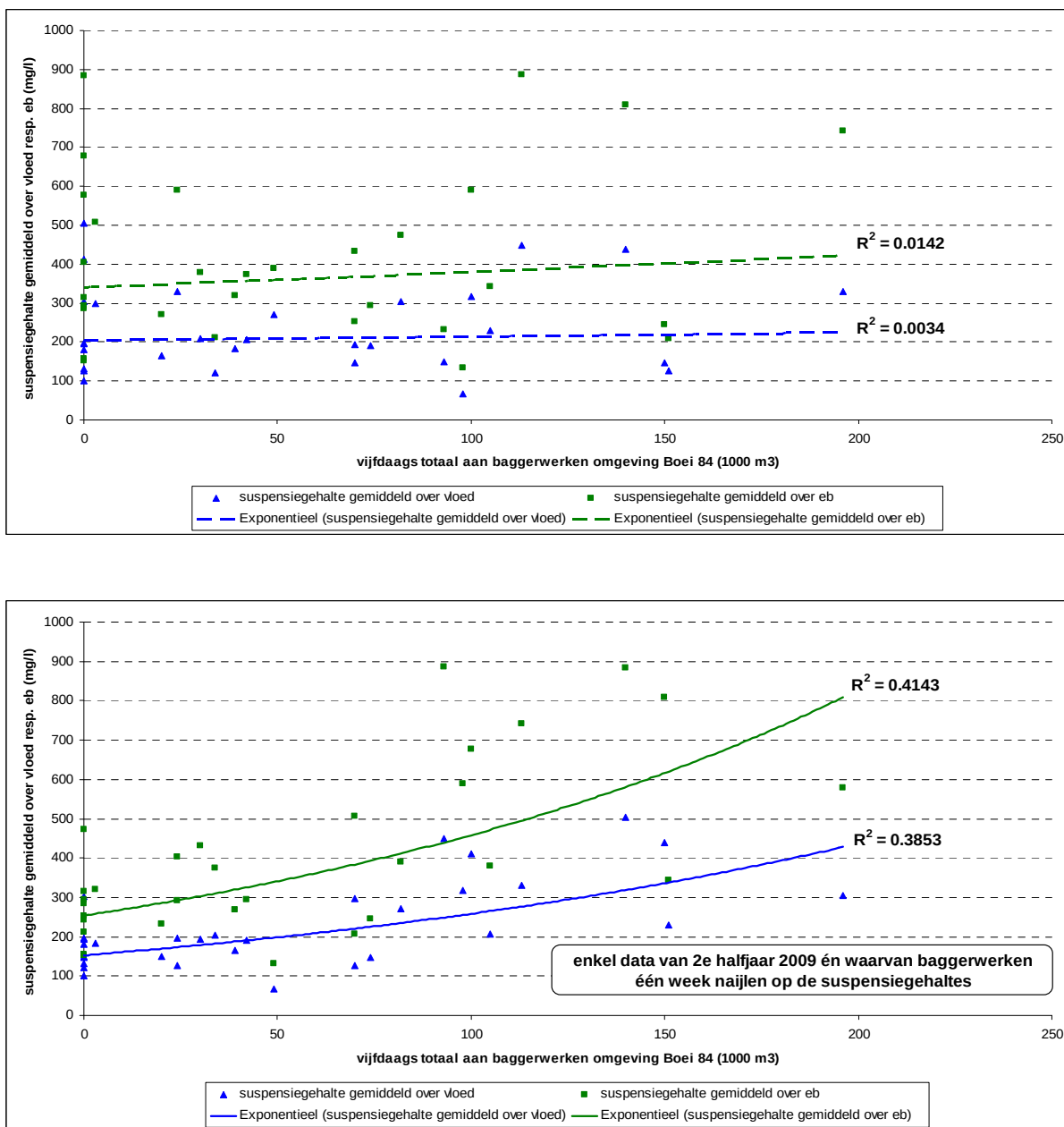
Een volgende stap is om voor- of na-ijling tussen baggerwerken en suspensiegehaltes uit te proberen. De gedachte is -in voorijling van baggertotalen op suspensiegehaltes- dat baggerwerken aanleiding geven tot een vergroting van het suspensiegehalte. Bij *na-ijling* is de gedachte dat wegens meer suspensiegehalte, baggerwerken noodzakelijk worden. Daarbij moet wel beschouwd worden dat het suspensiegehalte handelt om fijn materiaal, hoofdzakelijk silt, en de baggerwerken nabij Boei 84 handelt om "grover" materiaal, hoofdzakelijk fijn zand. Wat het meettoestel meet is dus in principe iets anders dan wat aanzanding geeft en baggerwerken noodzaakt. Evenwel: bij vergroting van het suspensiegehalte, zeker als die net boven de bodem wordt gemeten, kan een vergroting van ook het bodemtransport aangenomen worden. In die zin is de tweede gedachte -met na-ijling- niet zo gek.

De beide grafieken van figuur 103 proberen dienaangaande een beeld te tonen. Beide grafieken omvatten enkel data van het 2e halfjaar 2009, zoals twee alinea's hoger werd uitgelegd. In de bovenste grafiek handelt het om de "eerste" gedachte, nl. dat baggerwerken aanleiding geven tot een vergroting van het suspensiegehalte. Daarom zijn in de bovenste grafiek de data van de baggerwerken één pentade in de tijd naar voor verschoven (het suspensiegehalte van pentade "n" wordt gekoppeld met de baggerwerken van pentade "n-1"). De determinatiecoëfficiënt R^2 is ronduit pover. Uit deze grafiek kan de "eerste" gedachte gewoon niet worden ondersteund.

In de onderste grafiek van navolgende figuur 103 wordt getracht de "tweede" gedachte te "testen" ("toetsen" zou een te groot woord kunnen zijn ...). De gedachte is nu dat een vergroting van het suspensiegehalte samengaat met een toename van ook het bodemtransport dus ook van fijn zand, zodat aanzanding kan optreden in die mate dat baggerwerken genoodzaakt zijn. Daarom zijn in de onderste grafiek de data van de baggerwerken één pentade in de tijd naar achter verschoven (het suspensiegehalte van pentade "n" wordt gekoppeld met de baggerwerken van pentade "n+1").

Wat blijkt: de determinatiecoëfficiënt R^2 wordt belangrijk. Waarden van 0,41 en 0,39 zijn in een orde van grootte dat in het grafisch uitzetten van bvb. suspensiegehaltes of -fluxen tegen stroomsnelheden, debieten, waterstand enz. dus algemeen in sedimentologische metingen, nog voorkomen en toch enig verband aangeven. Bovendien is R^2 een dertig- zelfs meer dan honderdvoud groter dan bij voorijling (waar de gedachte is dat baggerwerken een groter suspensiegehalte zouden geven).

Evenwel: grote voorzichtigheid is geboden door alle pentades waarin geen baggerwerken zijn uitgevoerd en die toch ook in alle grafieken zijn meegenomen, en is bovendien ook geboden doordat de baggerwerken niet alle gebeuren omwille van een aanzanding (dus het om een onderhoudsbaggerwerk gaat) doch ook omwille van de verruiming van de vaarweg (dus investeringsbaggerwerken). Maar het resultaat van figuur 103 is te opvallend om genegeerd te worden. Het zou een methode kunnen zijn om nader verband tussen turbiditeiten en baggerwerken te bestuderen, waarbij deze simpele poging geen credo mag zijn.



Figuur 104 - Beneden-Zeeschelde te **Boei 84 - onderste meettoestel** :
verloop van enkel het tweede halfjaar 2009 per pentade van het suspensiegehalte gemiddeld
over vloed en eb i.f.v. de ook per pentade uitgevoerde baggerwerken in de directe omgeving,

m.n. met in bovenste grafiek alle waarden van de baggerwerken één week naar
voor verschoven t.o.v. de pentade van de suspensiegehaltes,

en met in onderste grafiek alle waarden van de baggerwerken
één week naar achter verschoven t.o.v. de pentade van de suspensiegehaltes

3.6 verloop 2009 turbiditeit en suspensiegehalte meetlocaties rand van het tijgebied

3.6.1 algemeen

In de Beneden-Zeeschelde heerst tussen Antwerpen en Doel een zone van maximum-turbiditeit. Ook in het middengebied van de Boven-Zeeschelde schuilt dergelijke zone. Maar over de ganse lengte van de Zeeschelde, en bovendien ook alle zijrivieren die aan het tij onderhevig zijn, is veel suspensiemateriaal in het water aanwezig.

De turbiditeit in het Zeescheldebekken kent diverse bronnen, zoals de fluviatiele aanvoer vanuit de opwaarts gelegen hydrografische bekkens, de zijdelingse aanvoer vanuit zijbekkens, de erosie of deponie van suspensiedeeltjes (silt en fijn zand) van en op geulen, scharen, slikken, platen, schorren enz. Al naargelang de regio binnen het Zeescheldebekken, wijzigt het onderlinge belang van die verschillende bronnen.

Alleszins is er een toestroom van fluviatiel suspensiemateriaal uit de hydrografische bekkens, en die zeer belangrijk is, zeker in de opwaartse delen van het tijbekken, maar dat doorstroomt naar afwaarts. Momenteel worden -deels ook in het kader van Moneos- op heel wat locaties in het Zeescheldebekken doch ook opwaarts van de randen van het tijgebied, meettoestellen geplaatst die continu ondermeer de turbiditeit meten en via ijking ook het gehalte aan zwevende stof zullen geven.

Hiernavolgend wordt het verloop getoond van de fluviatiele aanvoer van suspensiemateriaal op volgende locaties, aan de rand van het tijgebied:

- Zenne te Eppegem
- Dijle te Haacht
- Grote Nete te Itegem
- en Kleine Nete te Grobbendonk-Troonstraat

3.6.2 aanvoer suspensiemateriaal

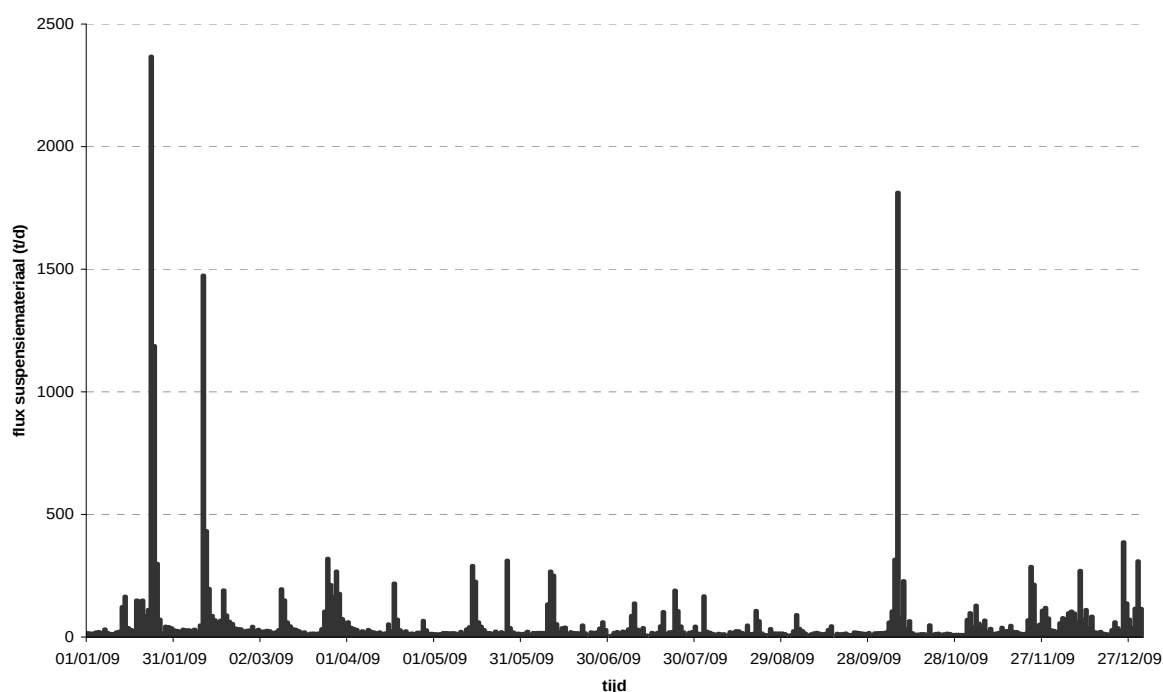
Reeds jaren zijn meetstations naar o.a. sediment in gebruik aan de rand en iets opwaarts van het Zeescheldebekken, of zijn nieuwe in gebruik gesteld. Mee van de oudste zijn de meetlocaties te Aarschot, Itegem en Grobbendonk. Buiten de continue meting van de turbiditeit worden er -alle dagen door- om zeven uur automatisch een waterstaal genomen dat nadien o.m. naar gehalte aan zwevend materiaal wordt gefilterd. Daaruit volgt de ijking van turbiditeit naar suspensiegehalte.

De afvoer van suspensiemateriaal gaat uiteraard mee met het verloop van de waterafvoer op die plaats. Bij toename van bovendebieten vergroot relatief snel en flink het gehalte aan suspensiemateriaal, zeker na een periode van relatief kleinere afvoeren waarbij zich nl. veel suspensiemateriaal in het bekken kon afzetten, materiaal dat bij een toename van de waterafvoer beschikbaar is voor doorstromen naar afwaarts.

De toename van de afvoer van het suspensiemateriaal met het groter worden van de waterafvoer, vakt zich af naarmate de waterafvoer tot zeer grote waarden toeneemt, en wordt zelfs kleiner als die toestand lang (zijnde dagen) duurt. Op het einde van een wasperiode is er doorgaans kleine turbiditeit en dus flux, omdat de voorraden van transporteerbaar suspensiemateriaal in het bekken ondertussen fel zijn verminderd. Het sedimenttransport kent dus een hysteresis bij zeer grote waterafvoeren.

In de navolgende grafieken kan die vooralsnog niet onderkend worden; de grafieken geven immers het gewone jaarverloop 2009 aan.

Zenne te Eppegem : jaarverloop 2009 van de sedimentafvoer

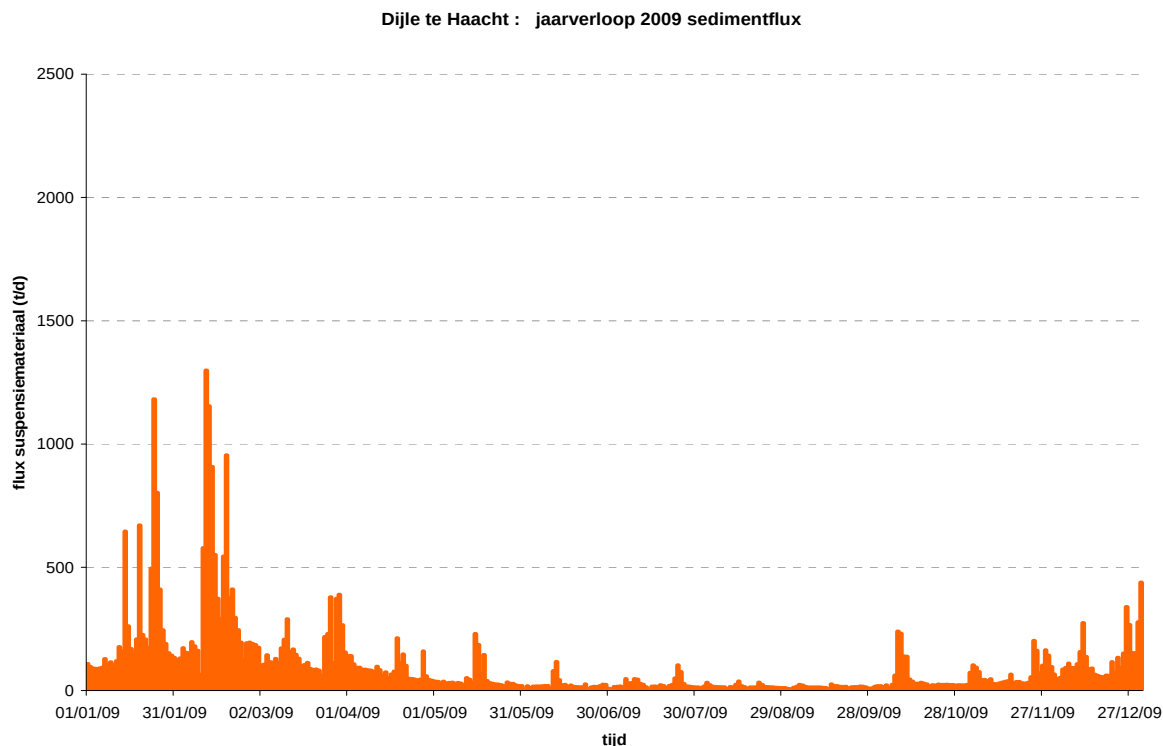


Figuur 105 - Zenne te Eppegem :
jaarverloop 2009 van de dagelijkse flux van suspensiemateriaal

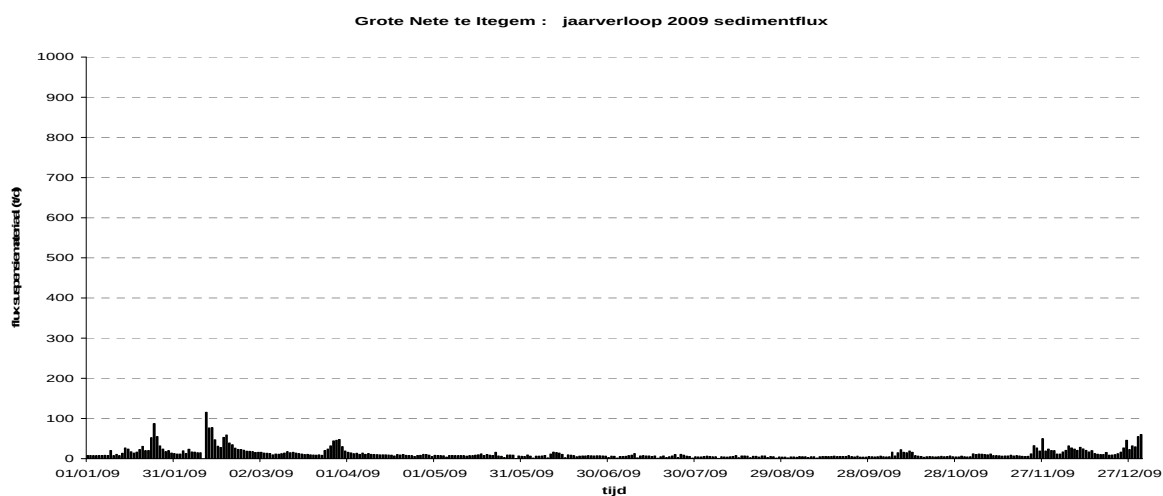
Zoals al gezien bij het hoofdstuk over de bovenafvoer van rivierwater naar het Zeescheldebekken, doorgerekend naar wat noemt "de Schelde te Schelle", is 2009 gekenmerkt door een langdurige periode van zeer kleine afvoer. Dit vertaalt zich uiteraard ook in een langdurige periode van zeer kleine sedimentflux.

Daar waar er voor de Zenne te Eppegem begin oktober 2009 een zeer grote piekwaarde van transport aan suspensiemateriaal voordeed, is deze veel kleiner op navolgende locaties. Die éne piekwaarde voor de Zenne is gelieerd met de plaatselijkheid van een (onweers-)bui, de aard van het bekken, hier ook van de aanwezigheid van een zeer grote agglomeratie (Brussel en omstreken) met dus onmiddellijke afvoer van hemelwater, en van het gemak waarmee sediment beschikbaar is om afgevoerd te worden (bvb. in riolen en collectoren).

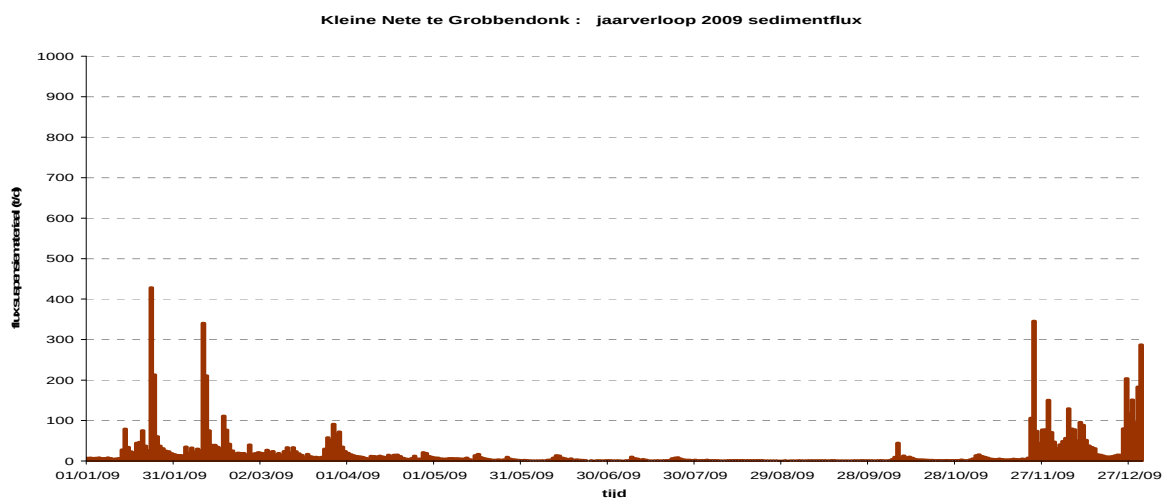
Het beeld van de sedimentafvoer voor de Dijle te Haacht, de Grote Nete te Itegem, en de Kleine Nete te Grobbendonk, trekt op elkaar, al is de schaal van de sedimentafvoer verschillend in grootte. De Dijle te Haacht voert nog veel sediment af o.a. gevoed door Boven-Dijle en Demer, terwijl de Nete's veel minder sediment kunnen bekomen gezien de zandigheid van het Kempisch Plateau. De grafieken zijn dus ook met verschillende schalen van y-assen voorgesteld.



Figuur 106 - Dijle te Haacht :
jaarverloop 2009 van de dagelijkse flux van suspensiemateriaal



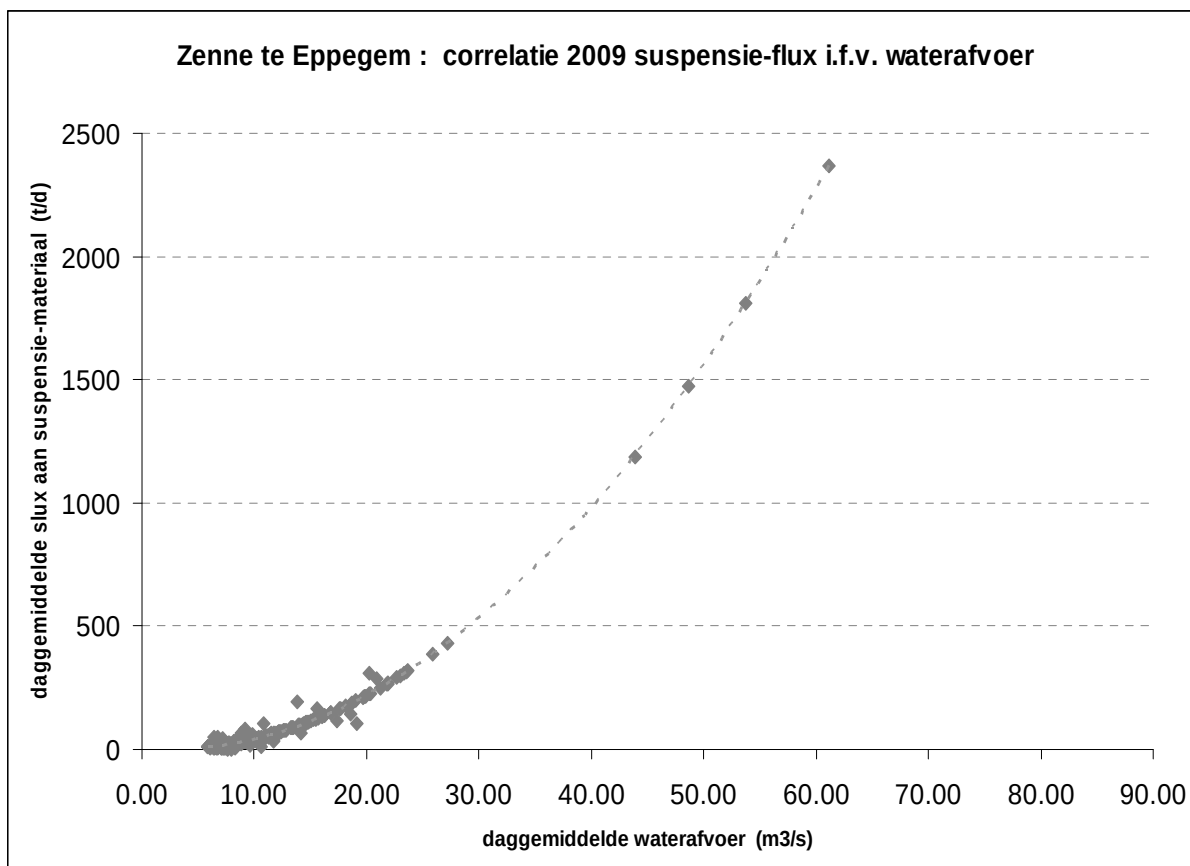
Figuur 107 - Grote Nete te Itegem :
jaarverloop 2009 van de dagelijkse flux van suspensiemateriaal



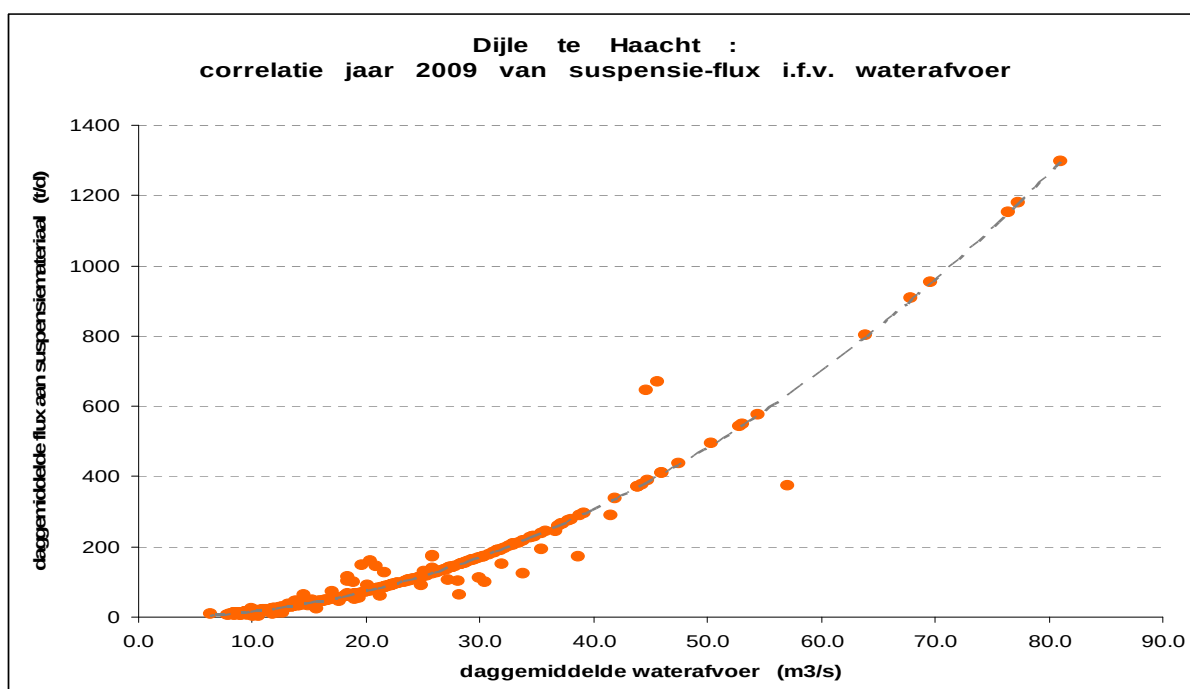
Figuur 108 - Kleine Nete te Grobbendonk :
jaarverloop 2009 van de dagelijkse flux van suspensiemateriaal

De dagwaarden aan afvoer van suspensiemateriaal verschillen duidelijk over de seizoenen. Dat gaat veruit in hoofdzaak mee met de waterafvoer dus met de neerslag. De dagwaarden van afvoer van suspensiemateriaal verschillen ook flink van locatie tot locatie, dus van bekken tot bekken. Zoals al hoger vermeld, is er duidelijk verschil tussen het Zenne- en Dijlebekken met de bekkens van de Nete. Het hydrografisch achterland verschilt zowel van aard, bodemsamenstelling, reliëf, bebouwing, land-gebruik enz., en de heuvelende leemstreken van Dijle en Demer leveren logischerwijze meer suspensiemateriaal in de rivieren dan zulks bij het vlakke, zandige Netebekken het geval is.

Ter illustratie van de afhankelijkheid van de flux aan suspensiemateriaal met de waterafvoer, zijn op volgende twee figuren de koppels aan dagwaarden van enerzijds flux aan suspensiemateriaal (in ton droge stof per dag) uitgezet tegen de daggemiddelde waarden van de waterafvoer (m^3/s), en dat voor de Zenne te Eppegem en voor de Dijle te Haacht. De mooie correlatieve afhankelijkheid is treffend, zie o.a. de trendlijn. De correlatie is groter voor de Zenne dan voor de Dijle, waar vnl. een drietal koppels (x,y) van de trendlijn verwijderd blijven. Daarbij moet bedacht worden dat het regime van de Dijle te Haacht beïnvloed wordt door de stuw te Mechelen-Bovensluis. Bij bvb. gelijkblijvend regime van suspensie-afvoer kan een dag voorkomen dat de waterafvoer door de stuwbeweging wordt verkleind of vergroot. Voor die enkele dagen ligt het desbetreffende koppel dan niet mooi bij de trendlijn.



Figuur 109 - Zenne te Eppegem :
correlatie suspensie-flux i.f.v. waterafvoer over het jaar 2009



Figuur 110 - Dijle te Haacht :
correlatie suspensie-flux i.f.v. waterafvoer over het jaar 2009

Colofon

Dit is het eerste van een reeks elk jaar op te stellen WL-rapporten met een "Jaarbeeld" van WL-monitoring over tij, bovendebieten, en "fysische parameters" in het Zeescheldebekken, meerbepaald ten nutte van MONEOS, zijnde de monitoring die hoort bij de Ontwikkelingsschets-2010 (OS-2010), om te beantwoorden aan de doelstellingen van de Lange-Termijn-Visie van het Schelde-estuarium (LTV-2030), en dat op zich monitoring bundelt in het kader van enerzijds de Verruiming van de vaargeul in de Westerschelde en in de Beneden-Zeeschelde, en anderzijds de uitvoering van het Geactualiseerd Sigma-plan.

auteur: ir. Eric Taverniers,
staflid-expert WL-Borgerhout

medewerking: aan het tot stand komen van dit "Jaarbeeld" dragen velen van WL-Borgerhout bij, in diverse aspecten en domeinen. Metingen vormen er de basis van, met in het bijzonder dank aan dhr. Guy Coppens en mevr. Rita De Bock voor hun dagdagelijkse inzet en zorg voor de continue meetnetten en singuliere metingen van vooral tij en bovendebieten, aan mevr. Gudrun Timp voor de onafgebroken reeks digitalisering en die zoals steeds zeer nauwkeurig werden nagekeken, aan dhr. Erwin De Backer voor alle zorg en controle bij de metingen met multiparameter-toestellen, aan mevr. Ria Paulussen voor het bijwerken van ontbrekende gegevens, afrondende controles en het uitwerken van de nodige presentaties, en zeer zeker aan de stuwende kracht achter Hydrometrie-Schelde, dhr. Marc Wouters, in alle kalmte doch met zo veel inzicht van alle markten in het Zeescheldebekken thuis, organisator van alle taken en oplosser van eenieders problemen.

Collega ir. Yves Plancke heeft ook aan dit "Jaarbeeld" bijgedragen, door nader uitwerken van wat en hoe met die grote hoop aan meetgegevens van zgde fysische parameters aan te vangen, er voorstellingen van aan te geven, verbanden uit te pluizen, de nodige mathematisch hulpmiddelen te creëren, en die mathematica ook daadwerkelijk en succesvol te doen draaien.



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.watlab.be