

Inventarisatie en historische analyse van Zeescheldehabitats

Vervolgstudie: resultaten van het tweede jaar

Alexander Van Braeckel, Jari Hirsch Mikkelsen, Jonas Dillen, Frederic Piesschaert en Erika Van den Bergh

Leen Coen, Tom De Mulder, Stefaan Ides, Tatiana Maximova, Patrick Peeters, Yves Plancke en Frank Mostaert

INBO.IR.2009.34



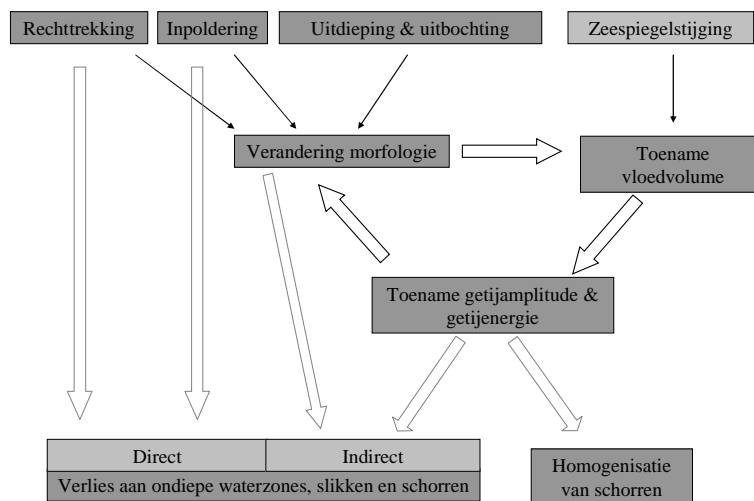
Inhoud

1	Inleiding.....	3
2	Evolutie op mesoschaal: de slikken	5
2.1	Inleiding.....	5
2.2	Methoden	5
2.3	De Ballastplaat en het slik van het Groot Buitenschoor.....	9
2.3.1	Lange termijn evolutie	9
2.3.2	Korte termijn evolutie	15
2.4	Het slik van Ouden Doel en de plaat van Doel	16
2.4.1	Lange termijn evolutie	17
2.4.2	Korte termijn evolutie	19
2.5	De plaat van de Ballooi	21
2.5.1	Lange termijn evolutie	22
2.5.2	Korte termijn evolutie	26
2.6	De plaat van Temse.....	27
2.6.1	Lange termijn evolutie	28
2.6.2	Korte termijn evolutie	33
2.7	De Plaat van Driegoten	33
2.7.1	Lange termijn evolutie	34
2.7.2	Korte termijn evolutie	37
3	Evolutie op mesoschaal: de schorren.....	38
3.1	Selectie van focusgebieden.....	38
3.2	Saliniteit	39
3.2.1	Mesohaliene zone: Schor Ouden Doel.....	40
3.2.2	Oligohaliene zone: Schor van de Notelaer.....	42
3.2.3	Zoete zone met lange verblijftijd: Groot Schoor van Hamme	42
3.2.4	Zoete zone met korte verblijftijd: Schor Appels en Nieuw Schor van Appels....	43
3.2.5	Algemene discussie	44
3.3	Geomorfologie	47
3.3.1	Inleiding.....	47
3.3.2	Methoden	48
3.3.3	Mesohaliene zone: Schor van Ouden Doel.....	49
3.3.4	Oligohaliene zone: schor van de Notelaer	54
3.3.5	Zoete Zone met lange verblijftijd: Groot Schoor van Hamme	59
3.3.6	Zoete zone met korte verblijftijd: Schor van Zele en Nieuw schor van Appels..	62
3.3.7	Algemene discussie voor Schelde	65
3.4	Bodem	66
3.4.1	Inleiding.....	66
3.4.2	Methoden	66
3.4.3	Mesohaliene zone: Schor van Ouden Doel.....	67
3.4.4	Oligohaliene zone: schor van de Notelaer	76
3.4.5	Bodems op de Notelaer, discussie en conclusies:	79
3.5	Overspoelings- en drainageregime	81
3.5.1	Methoden	81
3.5.2	Relatie overspoelingsregime in een schorgebied en getijdata in een naburige tijpost	83
3.5.3	Mesohaliene zone: Schor Ouden Doel.....	86
3.5.4	Oligohaliene zone: Schor van Notelaer	91
3.5.5	Zoete zone met lange verblijftijd: Groot Schoor van Hamme	93

3.5.6	Zoete zone met korte verblijftijd: Nieuw schor van Appels en nabijgelegen zoete schorgebieden	97
3.5.7	Algemene discussie	100
4	Evolutie van de Zeeschelde op macroschaal	101
4.1	Ecologische oeverbeoordeling	101
4.1.1	Aanleiding	101
4.1.2	Methoden	101
4.1.3	Resultaten	110
4.2	Tijevoluitie Schelde-estuarium	119
4.2.1	Langjarige evoluties jaargemiddelde hoogwater	119
4.2.2	Langjarige evoluties jaargemiddelde laagwater	120
4.2.3	Langjarige evoluties jaargemiddelde tijverschillen	122
4.2.4	Conclusies	123
5	Samenvatting scenario-analyse 1D en 2D modellen	125
5.1	Inleiding	125
5.2	1D en 2D-modelinstrumentarium	126
5.2.1	1D-Sigmamodel	126
5.2.2	2D-Nevlamodel	127
5.3	Scenario-analyses	129
5.3.1	Zeespiegelrijzing	129
5.3.2	Omgekeerde rechttrekking	131
5.3.3	Wijziging bovendebiet	134
5.3.4	Omgekeerde inpoldering Vliet	136
5.3.5	Omgekeerde inpoldering polders	137
5.3.6	Verruiming van de vaargeul	144
5.3.7	Wijzigingen Gat van Ossensisse – Middelgat	145
5.3.8	Zandwinning	146
5.4	Conclusies	147
	Literatuurlijst	152
	Lijst van figuren	157
	Lijst van tabellen	163

1 Inleiding

Uit de historische analyse van Van Braeckel et al. (2006) is gebleken dat het areaal aan schor-, slik- en ondiepe sublitorale gebieden langs de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren in de afgelopen anderhalve eeuw sterk is afgenomen. Dat is deels te wijten aan direct habitatverlies door rechttrekkingen, inpolderingen, dijk- en andere infrastructuurwerken. De laatste decennia is het relatief belang van indirect habitatverlies (door erosie) echter sterk toegenomen als gevolg van de stijgende hydrodynamiek in het estuarium. Verschillende natuurlijke processen en antropogene ingrepen kunnen hieraan ten grondslag liggen. Naast de eerder vermelde ingrepen zijn ook zeespiegelstijging, wijzigende bovenstroomse debieten, verruiming en verdieping van de vaargeul, baggerwerken, zandwinning en morfologische veranderingen in de Westerschelde mee bepalend voor de vloedvolumes en de manier waarop het getij het estuarium in- en uitgaat. figuur 1-1 geeft een vereenvoudigde weergave van de onderlinge samenhang tussen de belangrijkste factoren. Tot op vandaag is het echter niet duidelijk wat het aandeel van de individuele wijzigingen in het estuarium (zowel natuurlijk als menselijk) is in de waargenomen evoluties. Dit gebrek aan systeemkennis maakt het zeer moeilijk om de impact van (toekomstige) ingrepen in te schatten en eventueel bij te sturen.



figuur 1-1: Schematische weergave van de relaties tussen natuurlijke evoluties, antropogene ingrepen en het effect op de slikken, schorren en subtidale gebieden (Van Braeckel et al., 2006).

Van Braeckel et al. (2006) formuleerden een reeks stellingen en suggesties voor verder onderzoek die de basis vormden voor een driejarig vervolgproject. Bijkomend multidisciplinair onderzoek werd op twee niveaus noodzakelijk bevonden:

- Aanvullend beschrijvend onderzoek op ecosystemenniveau om een aantal hiaten uit de eerste studie op te vullen.
- Ondersteunende hydrodynamische modelleringen om de verschillende hierboven beschreven oorzaak-gevolg relaties uit elkaar te halen en het aandeel van de verschillende ingrepen en natuurlijke evoluties in de vastgestelde veranderingen te kunnen kwantificeren.

Het doel van deze vervolgstudie is om de stellingen uit Van Braeckel et al. (2006) zo goed mogelijk te beoordelen op basis van onderbouwende onderzoeksresultaten. Tijdens het 1^e jaar werd vooral ingegaan op de evoluties van het subtidaal en van het slikprofiel in de Beneden-Zeeschelde tussen 1960 en nu (Piesschaert et al., 2008). Daarnaast werden een aantal scenario's met 1D modellering doorgerekend om na te gaan hoe belangrijk het effect van individuele ingrepen/wijzigingen op de

waargenomen evoluties in het estuarium is (Coen et al., 2009). Alvorens diezelfde scenario's door te rekenen met het 2D NEVLA model (Waterbouwkundig labo Borgerhout, 2004) drongen zich eerst een gevoeligheidsonderzoek en daaropvolgend een kalibratieslag van het model op (Ides et al., 2008).

Met betrekking tot het *beschrijvend ecosysteem onderzoek* werd in het 2e jaar meer nadruk gelegd op de evolutie van slikken en schorren op mesoschaal. In een natuurlijk estuarien ecosysteem in evenwicht wisselen korte periodes van afbraak en aangroei van schorren, slikken en ondiepe waterzones elkaar af in tijd en in ruimte. De laatste decennia is aangroei in de Zeeschelde echter steeds zeldzamer geworden en is het relatief belang van indirect habitatverlies (door erosie) sterk toegenomen als gevolg van de stijgende hydrodynamische druk. Daardoor zijn ook de slik- en schorkwaliteit aan het wijzigen. In de schorgebieden wordt homogenisatie waargenomen naar de plantengemeenschappen van latere successiestadia. Dit staat in contrast met de natuurlijke dynamische schorrcyclus waarbij schorafbraak en -opbouw elkaar afwisselen in tijd en ruimte en alle successiestadia steeds aanwezig blijven. Deze fenomenen worden nader onderzocht, met speciale aandacht voor overstromingsregime, geomorfologie en bodemontwikkeling. Op macroschaal wordt een globale ecologische oeverbeoordeling uitgevoerd en vergeleken met de toestand in 1995 (Hoffmann et al., 1997). Het is duidelijk dat ook getijdoordringing een belangrijke bijdrage levert aan de waargenomen habitat evoluties. Daarom wordt een langjarig overzicht van het getij in het Zeescheldebekken weergegeven.

Met betrekking tot *de ondersteunende hydrodynamische modelleringen* worden aan de hand van de besluiten en hypothesen van Van Braeckel et al. (2006) verschillende modelscenario's uitgewerkt en doorgerekend met het 1D SIGMA- model en het 2D NEVLA- model. De uitgevoerde simulaties hebben tot doel de besluiten en hypothesen te toetsen op hun geldigheid en om te trachten de bijdrage van individuele ingrepen/wijzigingen op de waargenomen evolutie van de waterstanden in het estuarium te begroten.

In dit hoofdrapport worden de belangrijkste bevindingen weergegeven. Detail resultaten worden in aparte deelrapporten toegelicht. Mikkelsen et al. (2009 a,b,c) beschrijven verschillende aspecten van bodemkundig onderzoek op slikken en schorren van de Zeeschelde. Peeters et al. (2009) maken een uitgebreide analyse van de getij-evolutie in de Zeeschelde in de 20e eeuw. In Coen et al. (2009) en Maximova et al. (2009 a,b) worden de resultaten van de 1D, respectievelijk 2D modelleringen weergegeven.

De geplande analyse van de geometrie van het estuarium en historische evolutie van het subtidaal worden naar het derde jaar verschoven in afwachting van de nodige grids.

2 Evolutie op mesoschaal: de slikken

2.1 Inleiding

Intertidaal, bij eb droogvallend, vormen zich onbegroeide *slikken* langs de randen van het estuarium en *platen* tussen de geulscharen. Daarbinnen bestaat er een scala aan kleinere habitatten, in belangrijke mate bepaald door lokaal heersende hydrodynamische processen. Saliniteit, overstromingsregime, stroomsnelheden en sedimentsamenstelling sturen mee de samenstelling en productiviteit van de aanwezige levensgemeenschappen. De onderlinge samenhang van de verschillende habitattypen, met de geleidelijke overgangen ertussen, bepaalt ook de levensmogelijkheden voor soorten die voor verschillende levensstadia of functies verschillende habitatten nodig hebben.

Alle organismen die in, op of geassocieerd met de bodem leven vormen samen het benthos. Het grootste deel van dat bodemleven concentreert zich in een dun laagje aan het sedimentoppervlak. Het microfytobenthos (de microscopisch kleine ééncellige kiezelwieren en groenwieren op en in de bodem) vormt daar een zeer rijke bron van vers koolstof. Je treft aan het oppervlak microalgen en bacteriën in duizendmaal hogere dichtheden aan dan in de waterkolom. Ook de organismen die zich met deze microflora en -fauna voeden, zitten er vaak dicht opeengepakt (Moens et al. 2001). Hoewel er een heel divers gamma van bodemdieren (zoobenthos) in Scheldebodems aanwezig is, zijn er een paar die echt heel abundant zijn, en daardoor ook mogelijk een belangrijke rol spelen in de koolstofstromen in de Schelde. Behalve in de zoetwaterzone zijn nematoden of rondwormen vrijwel steeds veruit de talrijkste meercelligen. Volwassen nematoden zijn gemiddeld ca. 1 mm lang, en per vierkante meter bodem in het Schelde-estuarium tref je er al gauw een paar miljoen aan. Naast nematoden zijn vooral een aantal macroscopisch zichtbare dieren (macrofauna) belangrijke consumenten van organisch materiaal in Scheldebodems. In de meer slibrijke delen van de brakke zone vinden we o.a. de slijkgarnaal (*Corophium volutator*) en de veelkleurige zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*). Op de zandbanken met slibarmere, meer zandige sedimenten leeft bodemfauna die kenmerkend is voor dynamischere milieus zoals actief gravende vlokreeftjes (*Bathyporeia*, *Haustorius*,...). Op de slikken in de zoetwaterzone zijn ook typische zoetwatersoorten te verwachten zoals diverse insectenlarven, waterslakken, vlokreeftjes en meerdere soorten oligochaeten (zoetwatersoorten *Limnodrilus hoffmeisteri* en *Tubifex tubifex*) die vaak in zeer hoge densiteiten voorkomen in de slibrijke zoete slikken. Recent werden in het kader van de meetcampagne Ballooi-Notelaer tal van grijze garnalen (*Crangon crangon*), aasgarnalen en steurgarnalen waargenomen op de slikken.

Slikken en zandplaten vormen met hun luwtes ook essentieel habitat voor de verschillende verschillende soortengroepen onder de vissen. Ze zijn essentieel als kraamkamer voor marien juveniele vissen en als foerageerhabitat voor estuariene vissen. Voor trekvisserij zijn ze belangrijk reproductie- en opgroei- en foerageergebied voor fint en spiering en belangrijk opgroei- en foerageergebied voor o.a. bot en dunlipharder (Adriaenssen et al, 2005, Breine 2009, Stevens et al., 2009).

Slikken, zandplaten en voorliggende ondiepe subtidale zones vormen bovendien een natuurlijke beschermende buffer voor achterliggende schorgebieden in een estuarien ecosysteem onder verhoogde hydrodynamische druk.

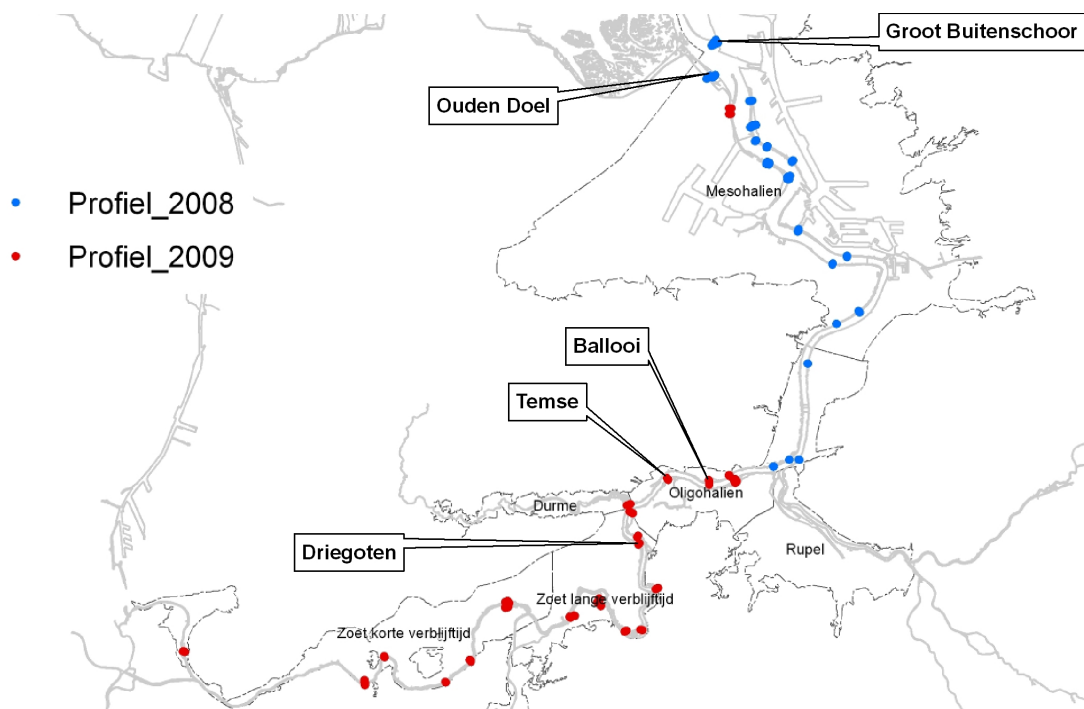
In dit hoofdstuk wordt de evolutie van een aantal grote slikgebieden langs de Zeeschelde in beeld gebracht. Hierbij wordt aandacht besteed aan de opbouw en geomorfologische evolutie op korte en lange termijn.

2.2 Methoden

Langs de Zeeschelde werden 5 grote slikgebieden geanalyseerd op mesoschaal:

1. De Ballastplaat met het Groot Buitenschoor slik,
2. Het slik van Ouden Doel en de plaat van Doel,
3. Het slik en zandplaat van Ballooi,
4. Het slik van Temse, en
5. Het slik van Driegoten.

Als belangrijkste selectiecriteria golden de aanwezigheid van een relatief breed intertidaal gebied met omvangrijk slik of slikplaat en een zo representatief mogelijke spreiding over de saliniteitzones. In de zoete zone met korte verblijftijd is geen omvangrijke slikzone aanwezig, er dan ook geen gebied uit deze zone geanalyseerd.



figuur 2-1: Situering van de opgenomen slik- schor hoogteprofielen in de Zeeschelde voor de periode 2008/2009 en van de geanalyseerde slikgebieden

Voor elk onderzoeksgebied (figuur 2-1) wordt telkens de **huidige toestand** beschreven op basis van profielmetingen met een RTK-GPS in 2009 of 2008. Deze transecten of hoogteprofielen geven ook de T_0 situatie voor de MONEOS monitoring weer. De hoogteprofielen worden telkens weergegeven met aanduiding van enkele kenmerkende waarden van het overspoelingsregime:

- Gemiddeld laag water bij springtij (GLWS);
- 75% overspoelingsduur (OD), ondergrens van middelhoog slik
- 25% overspoelingsduur (OD), bovengrens van middelhoog slik
- Gemiddeld hoog water bij springtij (GHWS).

De hoogteprofielen zijn afgebeeld in mTAW. De x-as geeft de afstand (m) weer tot de winterdijk met het nulpunt ter hoogte van het hoogste hoogwater. De profielfiguren zijn getekend in

stroomafwaartse richting, een rechteroeverprofiel heeft dus zijn laagste punt aan de linkerkant van de figuur, en een linkeroeverprofiel aan de rechterkant.

De gebiedsdekkende fysiotopenkaarten zijn opgemaakt op basis van recente digitale terreinmodellen en LIDAR data in combinatie met de singlebeam metingen van 2001. Bij de verwerking van deze kaarten werden volgende sub- en intertidale klassen onderscheiden (van hoog naar laag):

- Hoog slik: schorrand-25% overspoelingsduur (OD);
- Middelhoog slik: 25-75% overspoelingsduur (OD)
- Laag slik, met 75-100% overspoelingsduur (OD)
- Ondiep water, 0-2 m onder de gemiddeld laag water bij springtij (GLWS)
- Matig diep water, 2-5 m onder de gemiddeld laag water bij springtij (GLWS)
- Diep water, lager dan 5 m onder de gemiddeld laag water bij springtij (GLWS)

Naast de overspoelings- of droogvalduur die laag, middelhoog en hoog slik onderscheidt, zijn ook de aard van het substraat en de helling ecologisch gezien belangrijke onderscheidende factoren voor de classificatie van slikken (Dyer et al., 2000). Voor de **lange termijn ontwikkeling** wordt daarom aan de hand van een reeks van oude luchtfoto's een inschatting gemaakt van de evolutie van de aard van het substraat interpretatie van de aanwezige geomorfologische patronen op het slik en/of de helling van het slik

Naast zachte, slibrijke en zandige substraten zijn er ook natuurlijke en antropogene harde substraten (breuksteen, klei- en veenbanken, ...). De nadruk bij deze oefening ligt voornamelijk op zachte substraten en het onderscheid dat kan gemaakt worden tussen slibrijke bodems en zandige bodems. De sedimentsamenstelling hangt nauw samen met de positie langsheen de estuariene gradiënt, de plaatselijke hydrodynamiek en de helling.

Slibrijke en slibarme of zandige laagdynamische slikplaten kunnen onderscheiden worden op basis van de grijstint op de luchtfoto's en de al dan niet zichtbaar aanwezige geul- en drainage patronen. De toegepaste typologie voor de zachte substraten is gebaseerd op sedimentsamenstelling, het ribbelpatroon en het aanwezige kreek- of drainagepatroon (Tabel 1).

Tabel 1: Onderscheiden klassen voor de gebruikte kenmerken in de sliktypologie.

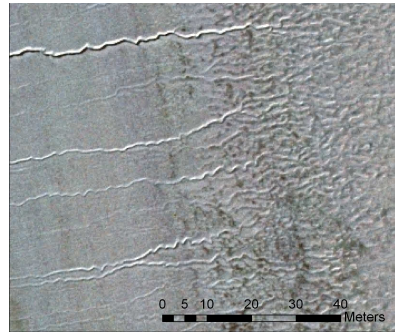
Sedimentsamenstelling	Ribbelpatroon	Kreekpatroon
Zandig slik	Megaribbel	Meanderende kreek
Intermediair zand-slibrijk slik	Macroribbel	Rechte kreek
Slibrijk slik	Mesoribbel	Geen
	Geen	

Slibrijke gebieden kenmerken zich door de aanwezigheid van een geaderd drainagepatroon, een relatief donkere tint en het sterk meanderend karakter van de aanwezige geulen. Op basis van deze kenmerken slaagde men er in om voor de Westerschelde geomorfologische kaarten op te maken (bv. Huijs, 1995). De slibrijke slikken met steile hellingen langs de Zeeschelde echter vertonen vaak een rechtlijnig afwateringspatroon en weinig of geen zichtbare morfologische patronen zoals ribbels ook al staan ze vaak onder hoge hydrodynamische druk.

De meer *zandige* slikken zijn goed te onderscheiden door hun blekere kleur. Indien ze steil zijn vertonen ze weinig of geen zichtbare morfologische patronen, maar de meer horizontale delen van zandplaten vertonen vaak wel duidelijk zichtbare morfologische patronen of ribbels. Megaribbels of zandduinen ontstaan veelal op de zandplaten en hebben een ribbelbreedte van meer dan 5m. Bij de kleinere vormen worden macroribbels (ribbelbreedte 1 tot 5m) en mesoribbels of lichte golvende structuren onderscheiden (ribbelbreedte 0,2 tot 1 m).

In de brakke zone is een intermediair type zand-slib onderscheiden o.a. op het Groot Buitenschoor. Er is een reliëfpatroon aanwezig maar de meanderende kreek en de kleur wijzen op een slibrijker sedimentsamenstelling dan die van zandige slikken en zandplaten (figuur 2-2).

figuur 2-2: Voorbeeld van het intermediair type zandig slib of slibrijk zand in de brakke zone.



Naast de evolutie van de slikgebieden wordt ook de langdurige evolutie van nabijgelegen dwarsprofielen van dijk tot dijk weergegeven voor de beschikbare bathymetriedata: 1930, 1960, 1970, 1980, 1990, 2001, 2002 voor de Beneden-Zeeschelde en 1930, 1960, 2001 voor de Boven-Zeeschelde. De eenheid van de x-as is 10m.

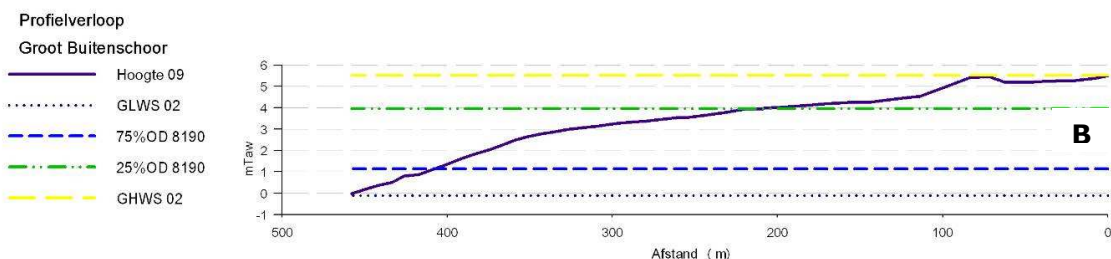
Om de **korte termijn evolutie** van het slik weer te geven kan gebruik gemaakt worden van de recente digitale terreinmodellen en LIDAR data: 2004 (Aquaterra in opdracht van W&Z afdeling Zeeschelde), 2007 (Aerodata in opdracht van MOW, Maritieme Toegang) gecombineerd met de singlebeam metingen van 2001. LIDAR data moeten echter steeds met de nodige omzichtigheid gebruikt worden, afwijkingen van meer dan 20cm kunnen frequent voorkomen. Ze zijn echter wel nuttig voor algemene ruimtelijke beeldvorming om de evolutie van het onbegroeide slikevolutie in kaart te brengen. De digitale terrein modellen van het intertidaal van 2001 (op basis van singlebeam bij hoogwater) en 2007 (op basis van LIDAR bij laagwater) kunnen niet direct vergeleken worden om de recente evolutie te schetsen vanwege het grote verschil in resolutie. Het te kleine aantal basispunten in 2001 veroorzaakt een interpolatiefout die zeer herkenbaar is in het patroon van de vergelijking (figuur 2-3). Het intertidaal 2001 -2007 wordt daarom vergeleken op basis van de originele LIDAR-puntmetingen.



figuur 2-3: Systematisch patroon bij vergelijking geïnterpoleerd dtm 2007 (LIDAR) met dtm 2001 (single beam)

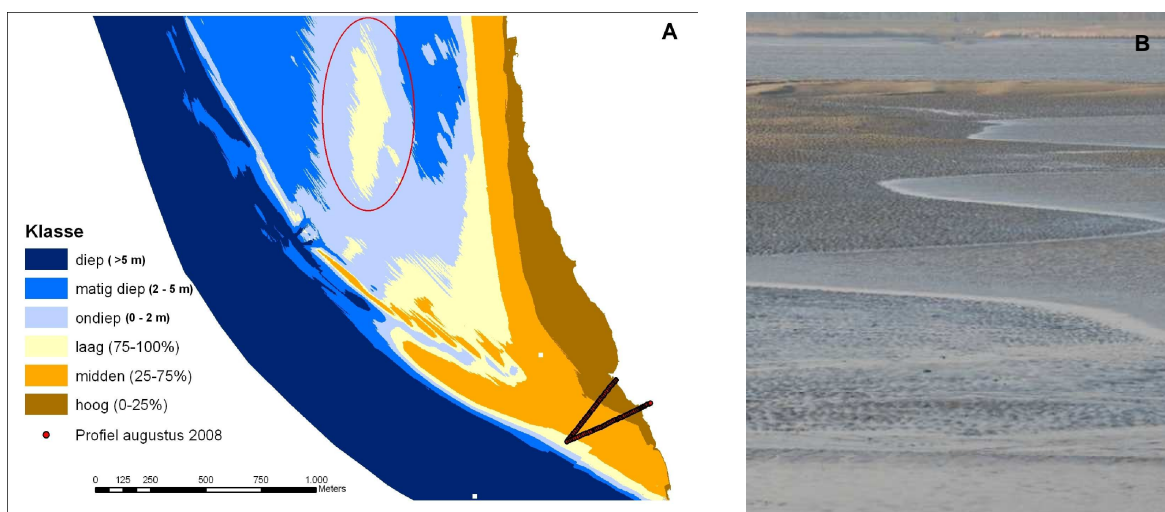
2.3 De Ballastplaat en het slik van het Groot Buitenschoor

De Ballastplaat en het slik van het Groot Buitenschoor vormen een vlak tot flauw hellend slik (figuur 2-5). Het noordelijk deel met de Ballastplaat bestaat voornamelijk uit laag slik (>75% overspoelingsduurpercentage), het zuidelijk deel uit middelhoog slik (overspoelingsduurpercentage tussen 25 en 75%; figuur 2-4)



figuur 2-4: Slikprofiel van het zuidelijk deel van de Plaat van het Groot Buitenschoor.

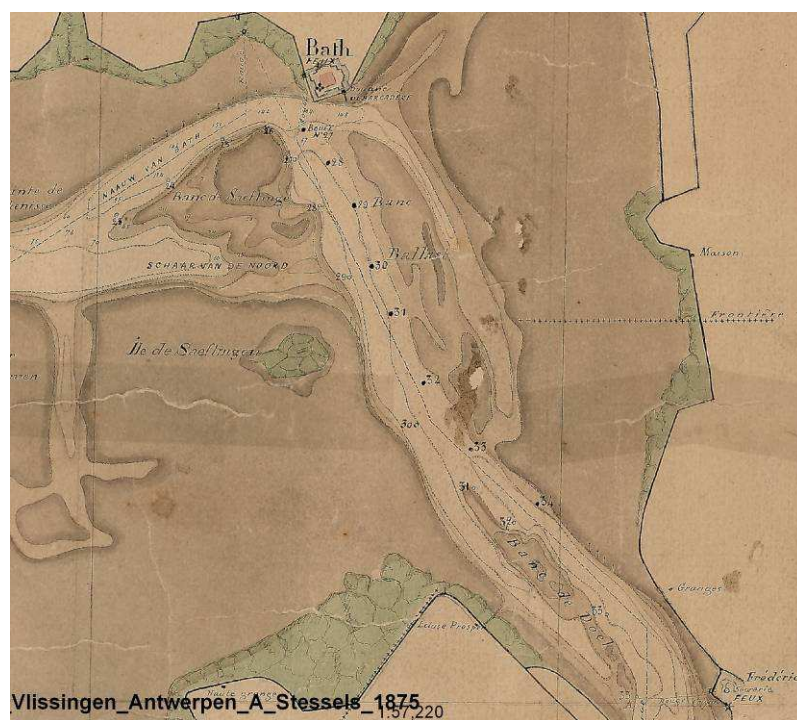
Op de fysiotopenkaart van 2001 (figuur 2-5) is de Ballastplaat in het noorden zichtbaar als een eiland. Dit is de enige resterende uitgestrekte plaat omgeven door water in de Zeeschelde. Verder stroomopwaarts verandert het meergeulensysteem in één smallere geul met slikplaten uitsluitend langs de oevers. Kenmerkend voor de Ballastplaat en het slik van het Groot Buitenschoor is de aanwezigheid van mesoribbels en megaribbels of grote uitgestrekte zandduinen (zie foto in figuur 2-5).



figuur 2-5: a) Fysiotopen van de Ballastplaat (rode ovale cirkel) en het slik van het Groot Buitenschoor met aanduiding van de ligging van de hoogteprofielen. b) mesoribbels (voorgrond) en megaribbels (achtergrond).

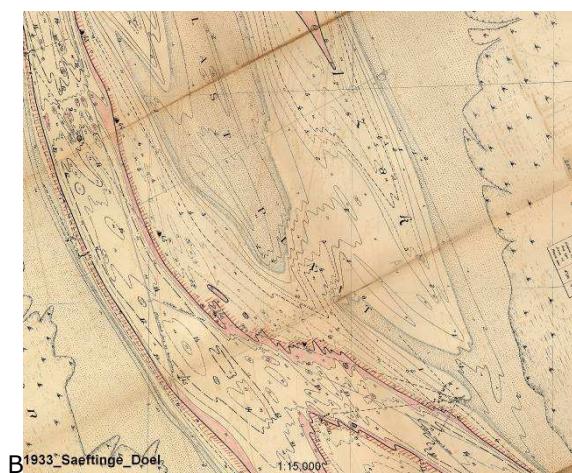
2.3.1 Lange termijn evolutie

Op de kaart van 1875 (figuur 2-6, Stessels - bron Maritieme Toegang) is nog het meergeulensysteem te zien met uitgestrekte zandbanken (Bank van Ballast en Bank van Doel);, zoals die nu nog enkel in de Westerschelde te zien zijn. De Bank van Ballast liep in 1875 nog ver door naar het noorden tot Bath. De noordelijke vloedgeul wordt Appenzak genoemd.



figuur 2-6: De Ballastplaat en Bank van Doel in 1875

In 1910 is de Ballastplaat nog een uitgestrekte zandbank zonder duidelijke vloedscharen (figuur 2-7). De zandbank was toen gescheiden van het slik door een ZW-nevengeul die de Appelzak verbond met de hoofdgeul. In 1933 echter is op de zandbank duidelijk een vloedgeul zichtbaar in de noordwestelijke hoek (figuur 2-7).

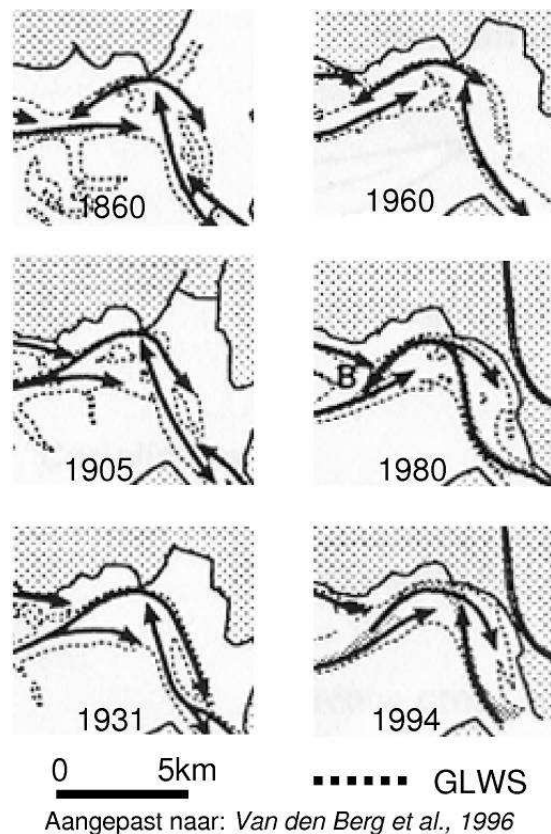


figuur 2-7: De Ballastplaat in 1910 (a) en 1933 (b).

Na de 2^e Wereldoorlog in 1958 (figuur 2-9) heeft de vloedgeul Appelzak zich een weg tot de hoofdgeul gebaad in zuidoostelijk richting, en evenwijdig met de schorrand. Door een sterkere uitbocht van de ebgeul bij Bath heeft de vloedgeul op de zandbank (eerst zichtbaar in 1933) het zuidelijk deel van de bank weggeslagen. Door kortsluitgeulen opgedeeld in 3 delen, deze zijn:

- Een westelijke plaat met grote 3D megaribbels,
- Een noordelijke die vnl. buiten beeld op Nederlands grondgebied valt met een westelijke vlakke zijde en een oostelijke rug met 3D megaribbels
- De langgerekte zuidelijke zandplaat met in het noordelijke puntje uitgestrekte megaribbels met 3D structuur en meer naar het zuiden mega tot macro-ribbels met vnl. een 2D-structuur of rechtlijnige ribbelkam.

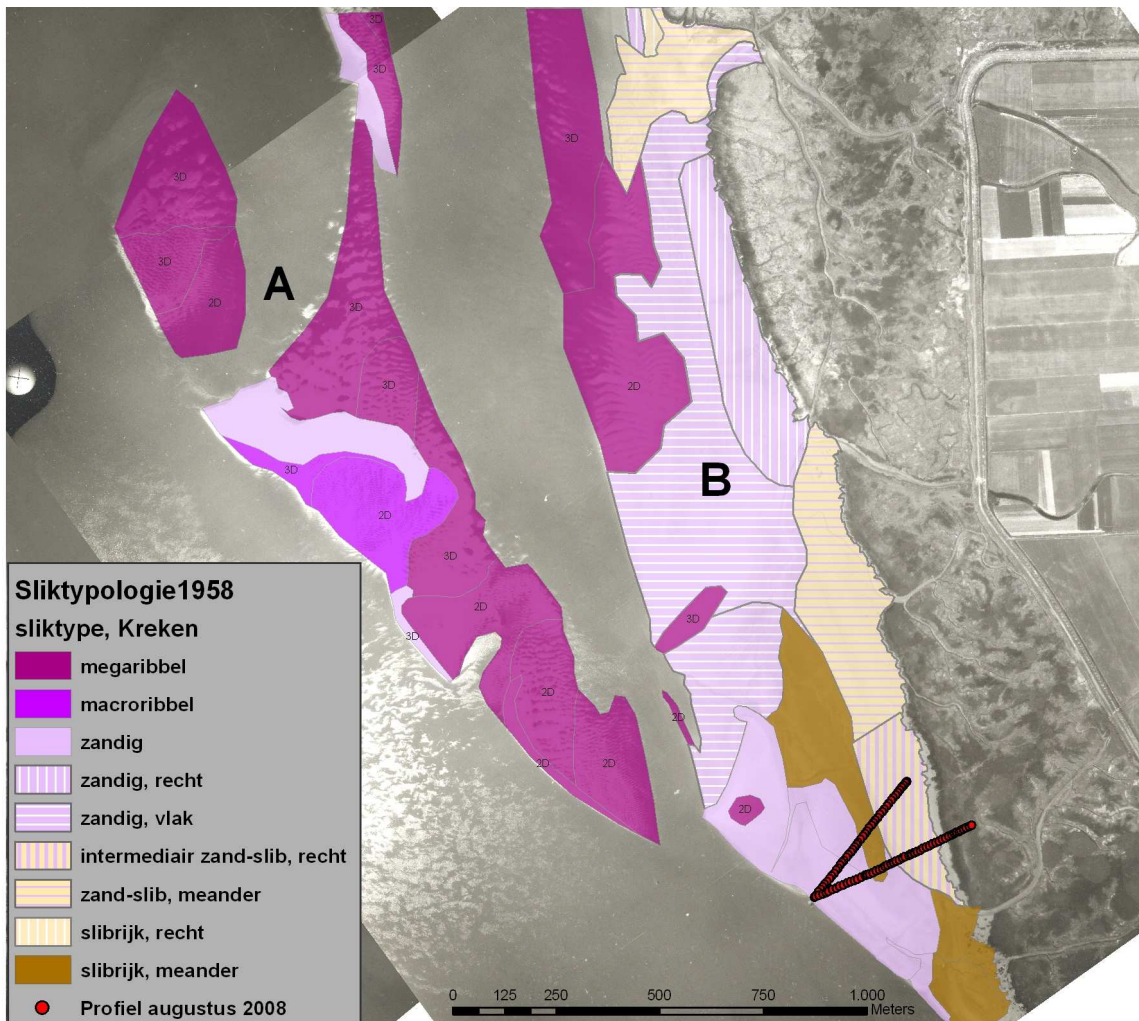
De ligging van de hoofd eb- en vloedgeul in de beurt van de Ballastplaat werd in kaart gebracht (figuur 2-8) door Van den Berg et al. (1996).



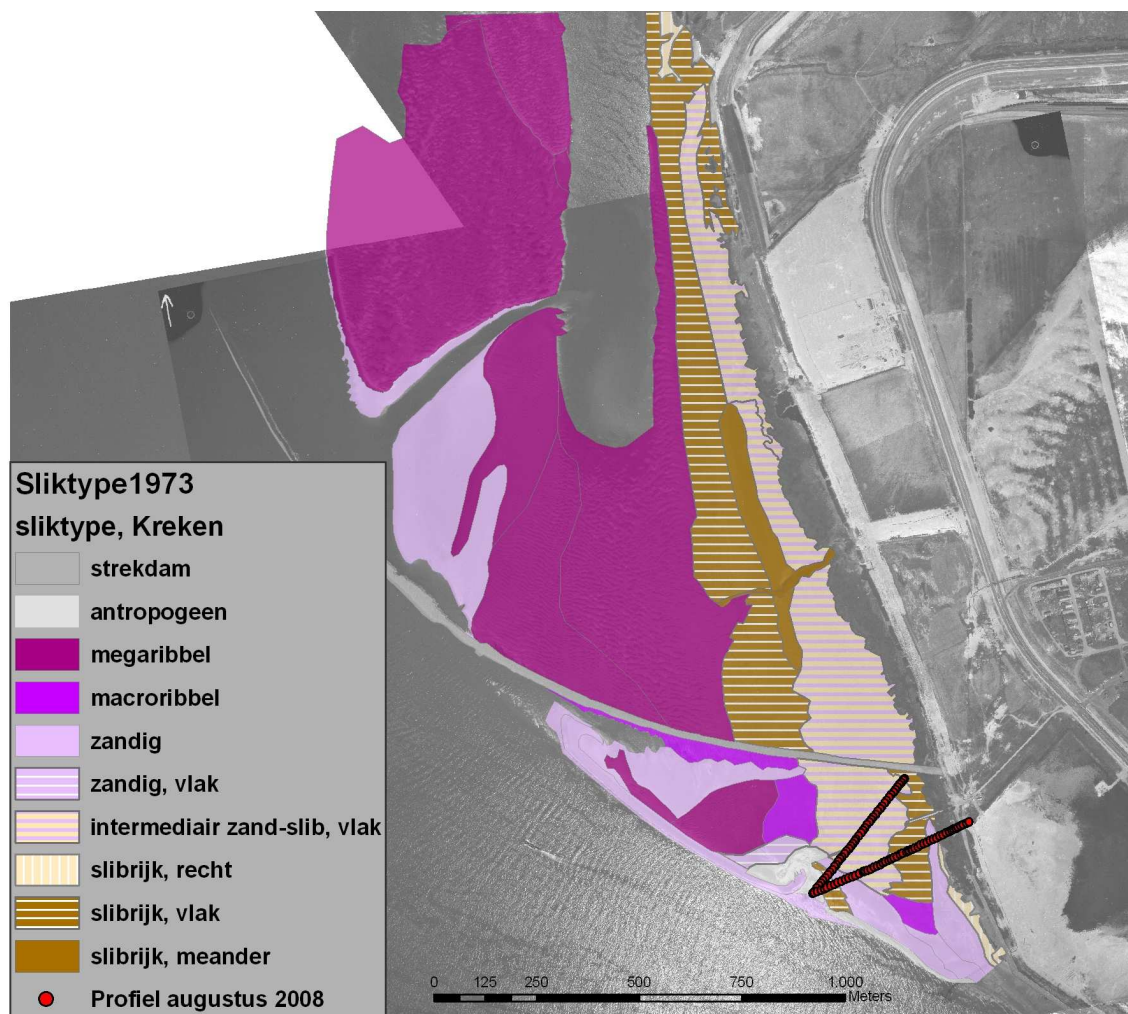
figuur 2-8: Evolutie van het eb- en vloedgeul patroon ter hoogte van de Ballastplaat over een periode van meer dan 130 jaar (Van den Berg et al., 1996).

Ook de brede slikplaat palend aan het schor (~500m breed) vertoont nog megaribbelstructuren naast vlakke tot steilere zandige substraten met rechte krekens. Enkel meer in het zuidelijke delen zijn duidelijk te onderscheiden slibrijke substraten zichtbaar.

Op luchtfoto's van 1973 (figuur 2-910) is te zien hoe in de periode 1958-1971 het schor verdween door de inpoldering van de Nieuw Westlandpolder. De strekdam is aangelegd op het langgerekte zuidelijk deel. De westelijke plaat uit 1958 is verdwenen alsook de punt van de zuidelijke zandplaat. Een uitgestrekt zandduingebied met 3D megaribbels is oostwaarts van de strekdam ontstaan. Hier zijn grote oppervlaktes met veelal 3D-megaribbels zichtbaar zowel in de noordelijke als de zuidelijke deel. Daarnaast is het slibrijke deel inclusief de zandige slibplaat zichtbaar als een langgerekte vorm evenwijdig met het schor.

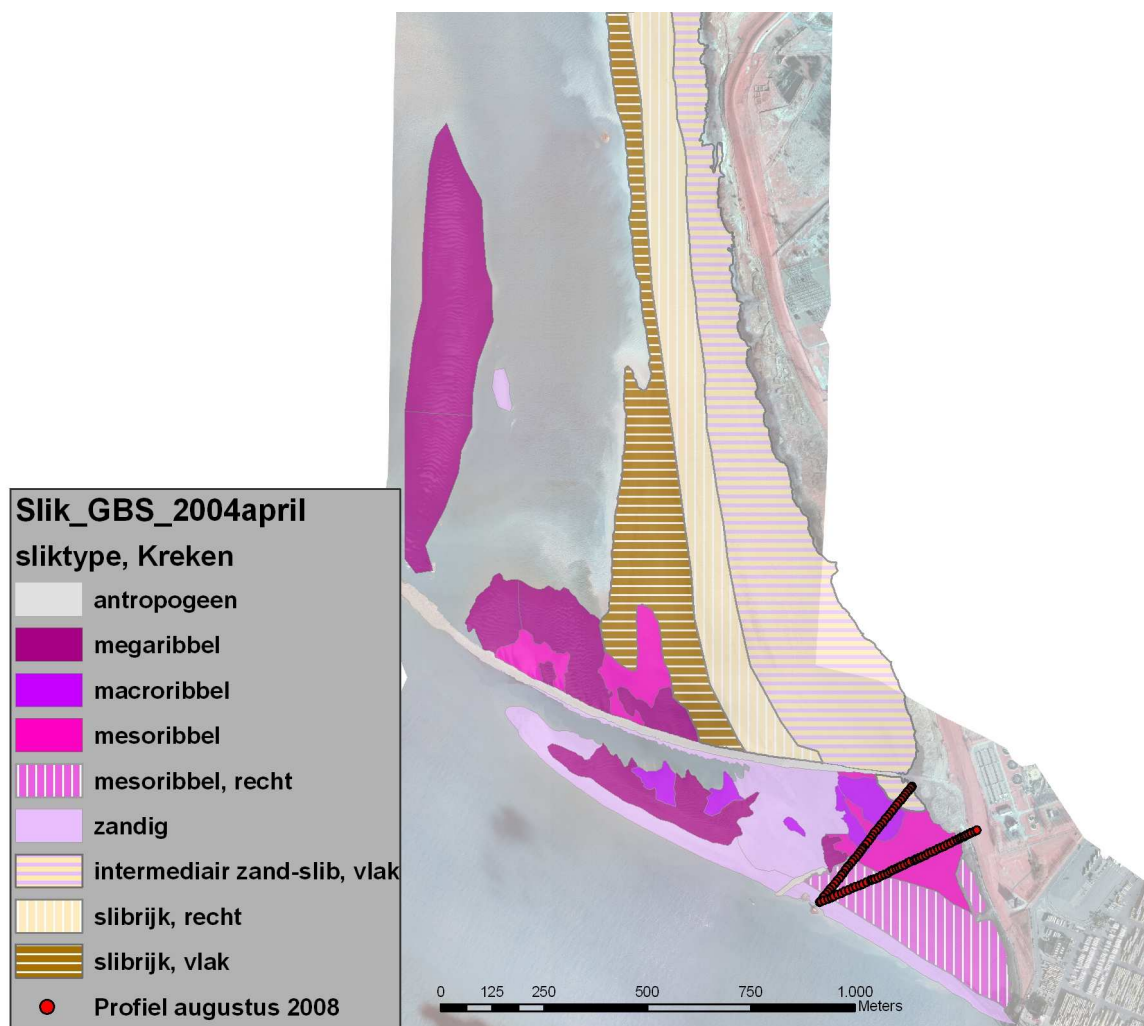


figuur 2-9: Evolutie van de Ballastplaat en plaat van het Groot Buitenschoor: toestand in 1958, met situering hoogteprofielen. Recht= met rechte kreeken; vlak= zonder kreeken; meander= met meanderende kreeken.



figuur 2-10: Evolutie van de Ballastplaat en plaat van het Groot Buitenschoor in 1973 met situering van de hoogteprofielen.. Recht= met rechte kreeken; vlak= zonder kreeken; meander= met meanderende kreeken.

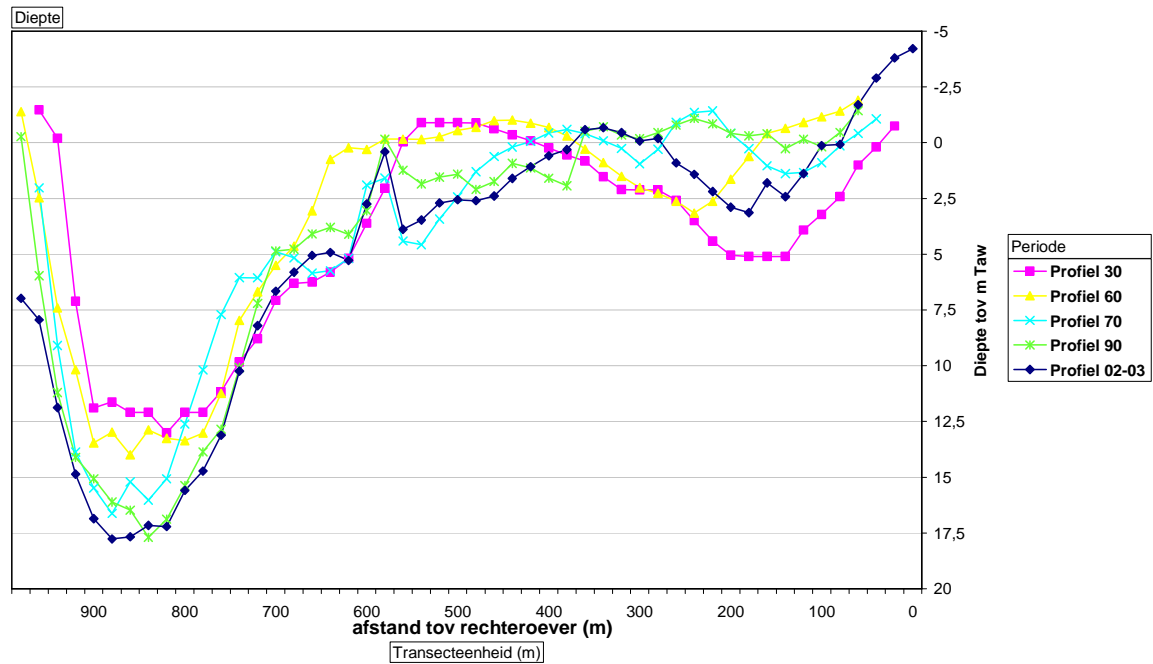
Na 1973 (vooral na 1992) zijn de uitgestrekte zandige duinen van de Ballastplaat sterk in oppervlakte afgenomen zoals te zien voor de situatie van 2004 (figuur 2-11). Daartegenover is de slikplaat van het Groot Buitenschoor sterk toegenomen. Vooral het vlakke slibrijke slik en de intermediair zandige slibvlakte naast het schor zijn sterk in breedte toegenomen. Ondertussen is het schor uitgebreid in westelijke richting tegen de nieuwe dijk, na de ontpoldering van de Nieuw Westlandpolder.



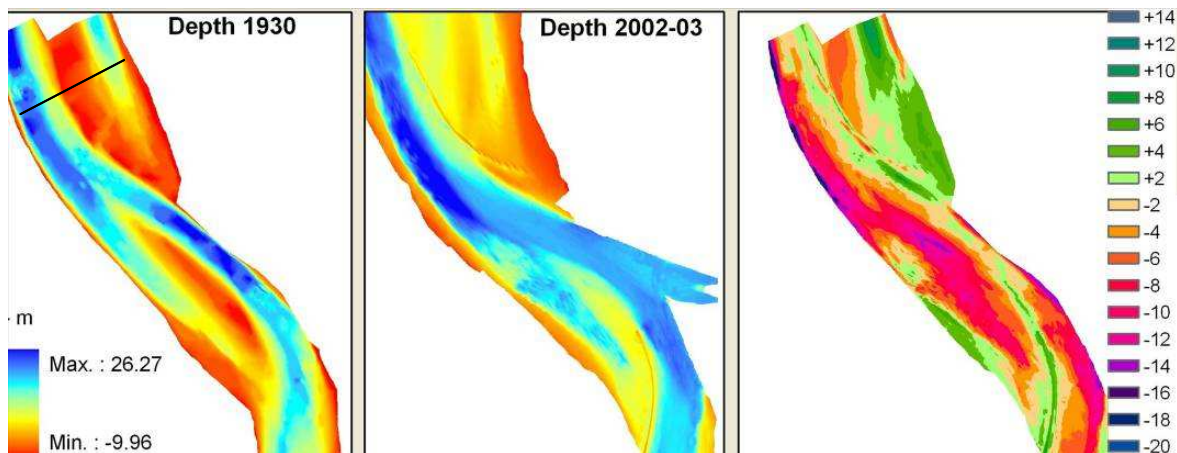
figuur 2-11: Evolutie van de Ballastplaat en plaat van het Groot Buitenschoor in april 2004 met situering van de hoogteprofielen. Recht= met rechte kreeken; vlak= zonder kreeken

Op basis van bathymetrische data (figuur 2-12, figuur 2-13) kan de verschuiving van de Ballastplaat met 10 m in oostelijke richting waargenomen worden alsook de opslibbing van het slik van het Groot Buitenschoor.

Afstand tot Belgisch Nederlandse grens 0,75



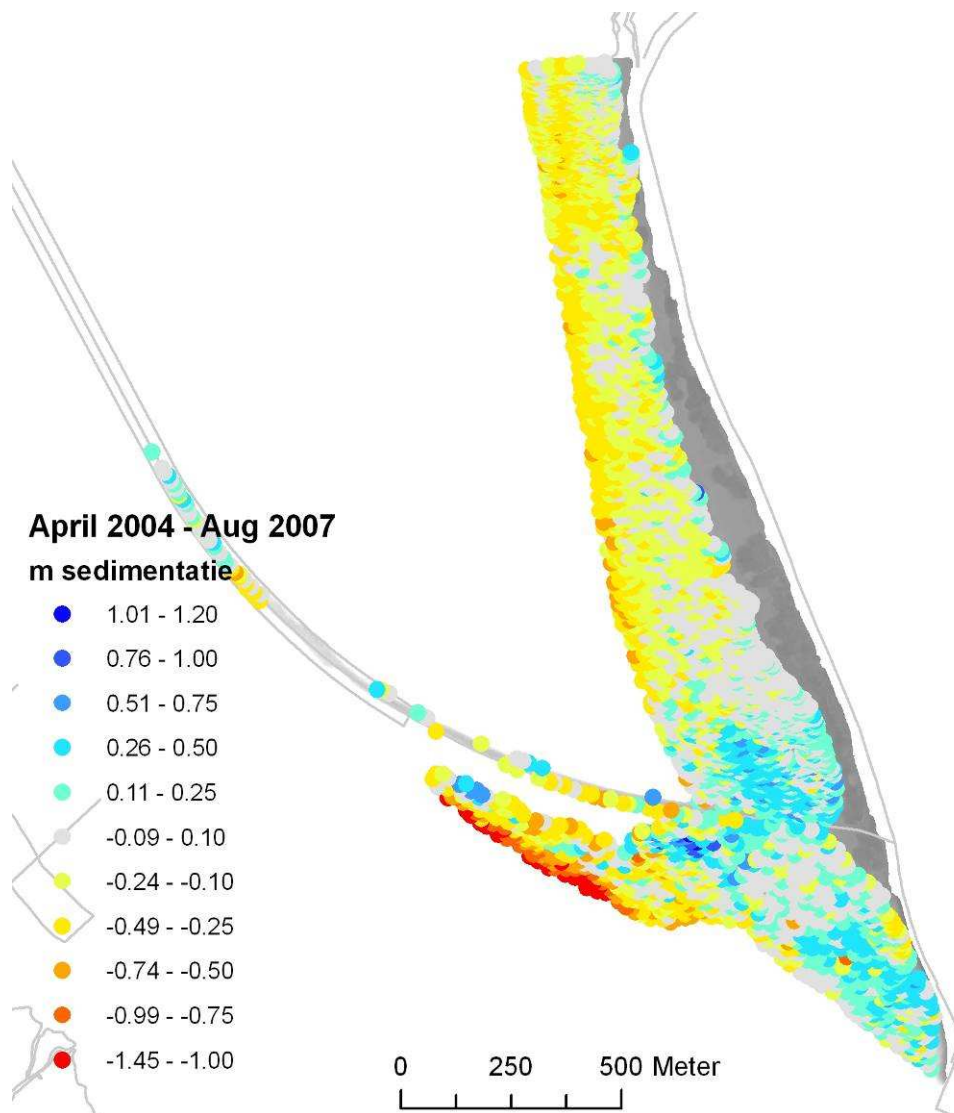
figuur 2-12: Evolutie van het dwarsprofiel op het Groot Buitschoor tussen 1930 en 2002 op 750m van de Belgisch-Nederlandse grens. Ligging van het transect is weergegeven in Figuur 2-13a.



figuur 2-13: Evolutie van de bathymetrie tussen 1930 en 2002-03. Diepte in 1930; centraal diepte in 2002-03 (-mTAW); rechts sedimentatie of erosie tussen 1930 en 2002-03 (m)

2.3.2 Korte termijn evolutie

Voor dit gebied is data van het slik van het Groot Buitschoor voor handen wat toelaat om de situatie april 2004 te vergelijken met die van augustus 2007 (figuur 2-14). In het noordelijk deel is erosie van het laag slik zichtbaar, terwijl het hoog slik grotendeels gelijk blijft en tegen de schorrand opsedimenteert. Meer naar de strekdam zijn grotere sedimentatiezones zichtbaar. Ten zuiden van de strekdam onderscheiden we een westelijke zone die vooral aan erosie onderhevig is tegenover een sedimenterende zone in het zuidoosten, in de luwte van de containerkade.

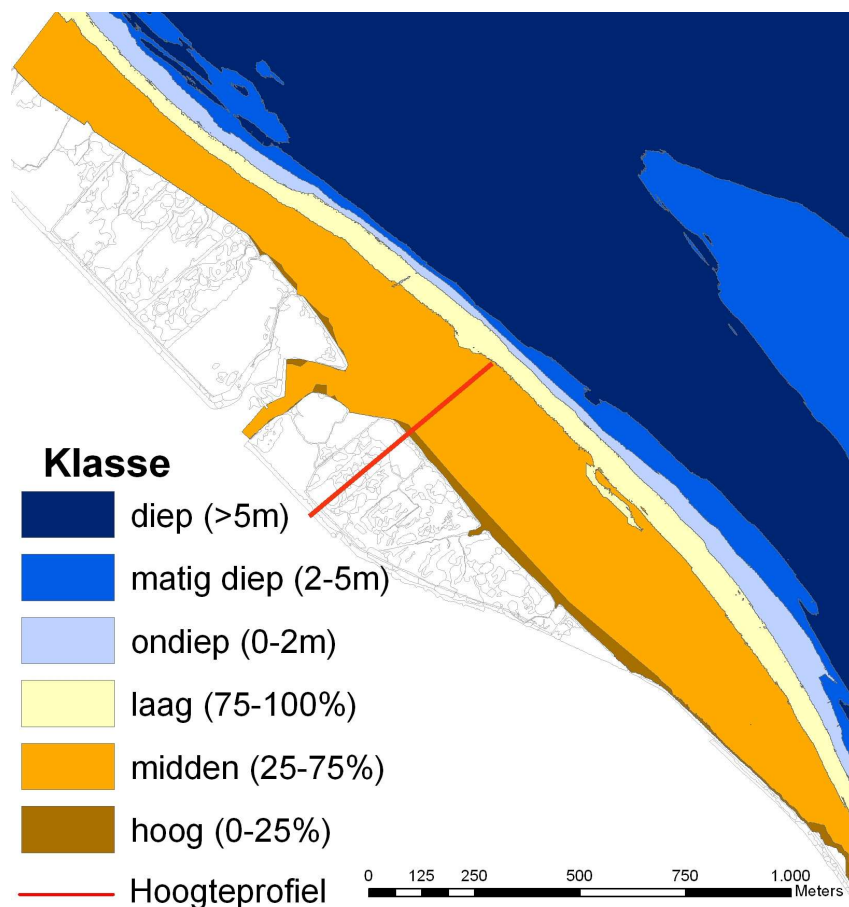


figuur 2-14: Hoogteveranderingen aan het Groot Buitenschoor tussen april 2004 en augustus 2007 op basis van laseraltimetrie

2.4 Het slik van Ouden Doel en de plaat van Doel

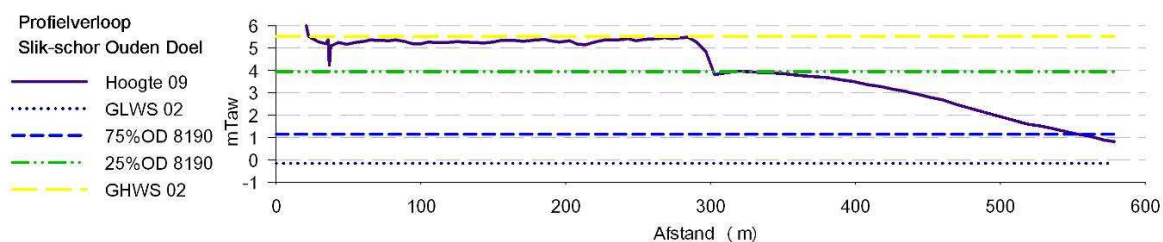
Het slik van Ouden Doel wordt hier gedefinieerd als het slikgebied gelegen voor het schor van Ouden Doel. Met de slikplaat van Doel, vroeger ook Bank van Doel genaamd, wordt de vrijliggende plaat voor het slik-schorgebied bedoeld. Deze plaat is reeds geruime tijd onder water verdwenen; in 1958 lag ze laatst nog regelmatig droog (figuur 2-17).

Het slik van Ouden Doel bestaat in het zuidoostelijk deel uit een smalle zone hoog slik nabij de schorrand, een uitgestrekt middelhoog slik en een smalle zone laag slik (figuur 2-15). Het noordwestelijk deel ligt zeer dicht bij de vaargeul en is nauw en steil.



figuur 2-15: Fysiotopen voor het slik en schor van Ouden Doel. Kaart gebaseerd op gegevens uit 2001.

Ook uit het slikprofiel van 2008 (figuur 2-16) zien we vooral een breed middelhoog slik. Het hoog slik van maar enkele meters breed, is enkel in het zuiden aanwezig. Het laag slik vormt een kortere meer dynamische steile zone.



figuur 2-16: Slikprofiel van het zuidelijk brede deel van het slik en schor van Ouden Doel. De locatie van de profiel is aangeduid met een rode lijn op figuur 2-15.

2.4.1 Lange termijn evolutie

Ter hoogte van Ouden Doel kon tot 1958 gesproken worden van een meergeulensysteem, met naast de hoofdgeul ook een vloedgeul of de schaar van Doel, die de Bank van Doel scheidde van het toen smallere slikgebied (figuur 2-17).

Tussen 1958 en 1969 verandert het slik niet veel in oppervlakte maar de kenmerken veranderen wel. De slibrijke zone in het noordelijk deel wordt breder, in het zuidelijk deel

verbreedt de zone met meanderende kreken. Beiden suggereren een verflauwing van de helling en/of het verlagen van de dynamiek. Wat overblijft van de Bank van Doel verdwijnt door de aanleg van de strekdam.

1958

1969

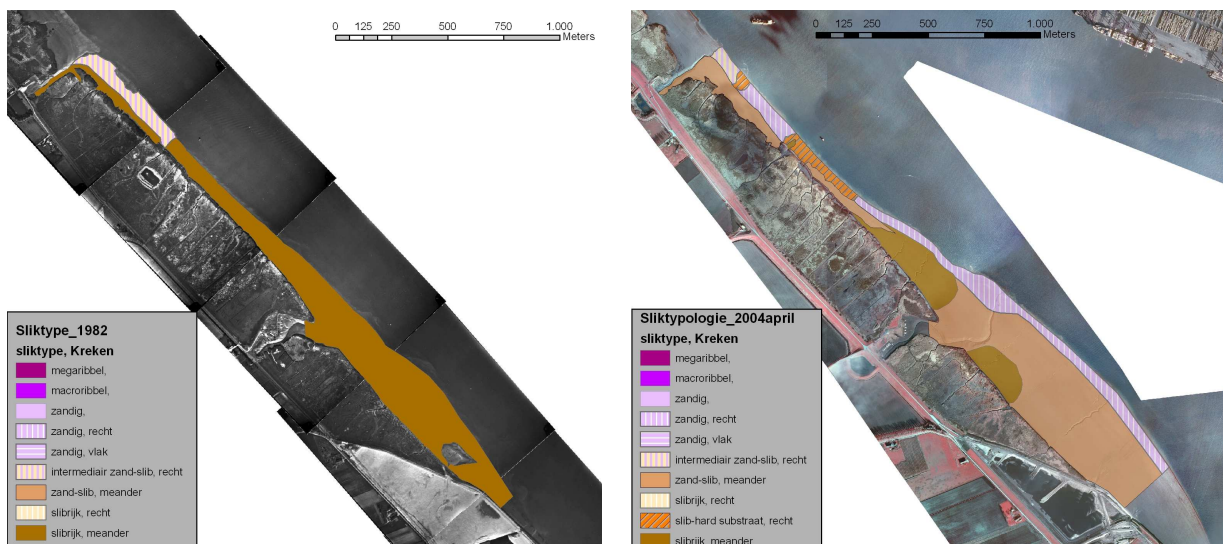


figuur 2-17: Evolutie van de plaat van Doel en het slik van Ouden Doel 1958 – 1969

Tussen 1969 en 1982, verbreedt het zuidelijk deel van het slik verder in de luwte van de strekdam. De zone met meanderende kreken breidt er zich rivierwaarts uit. In het noordelijkste deel verandert er verder weinig.

1982

2004



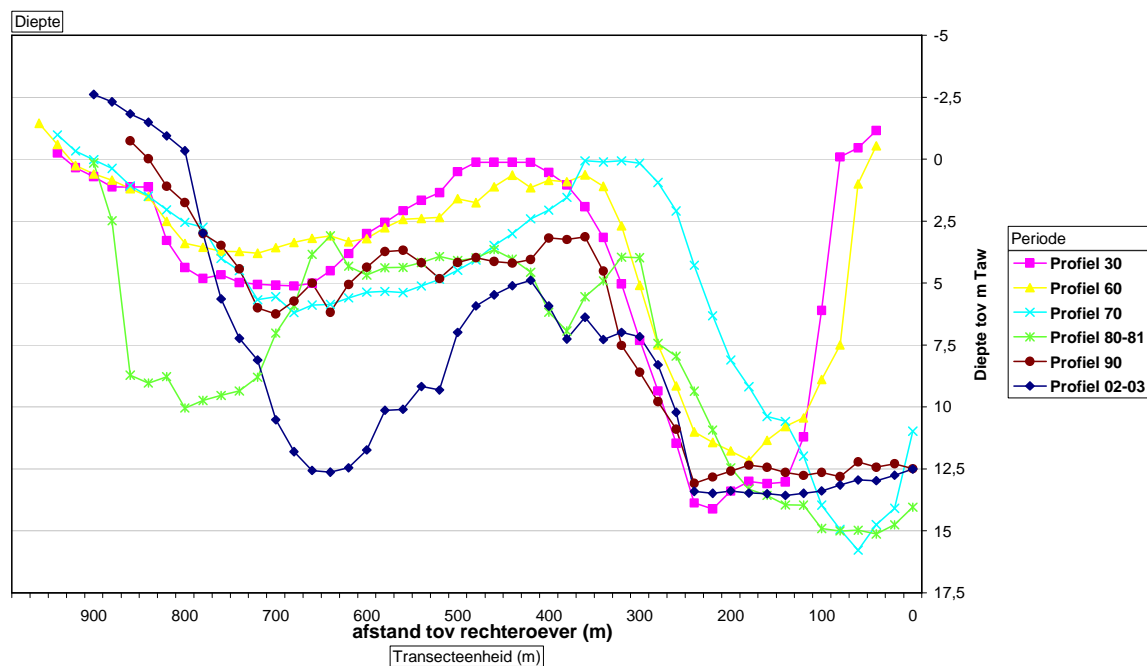
figuur 2-18: Evolutie van de plaat van Doel en het slik van schor Ouden Doel 1982 – 2004

Tussen 1982 en 2004 is in het noordelijk deel vooral de verbreding van het slik door afkalving van het schor waarneembaar (figuur 2-18). Harde substraten komen door sterke erosie van het

slik aan de rivierzijde meer en meer aan de oppervlakte te liggen. Het zuidelijke deel verbreedt en wordt zandiger.

De bathymetrische data bevestigen deze lange termijn trend. De Doelplaat en het slik van Ouden Doel hebben sterke veranderingen ondergaan. De Doelplaat is in vergelijking met 1930 met 5m gezonken waardoor ze niet meer aan de oppervlakte zichtbaar is. Het slik van Ouden Doel is daarentegen verhoogd en in oostelijke richting uitgebreid (figuur 2-19).

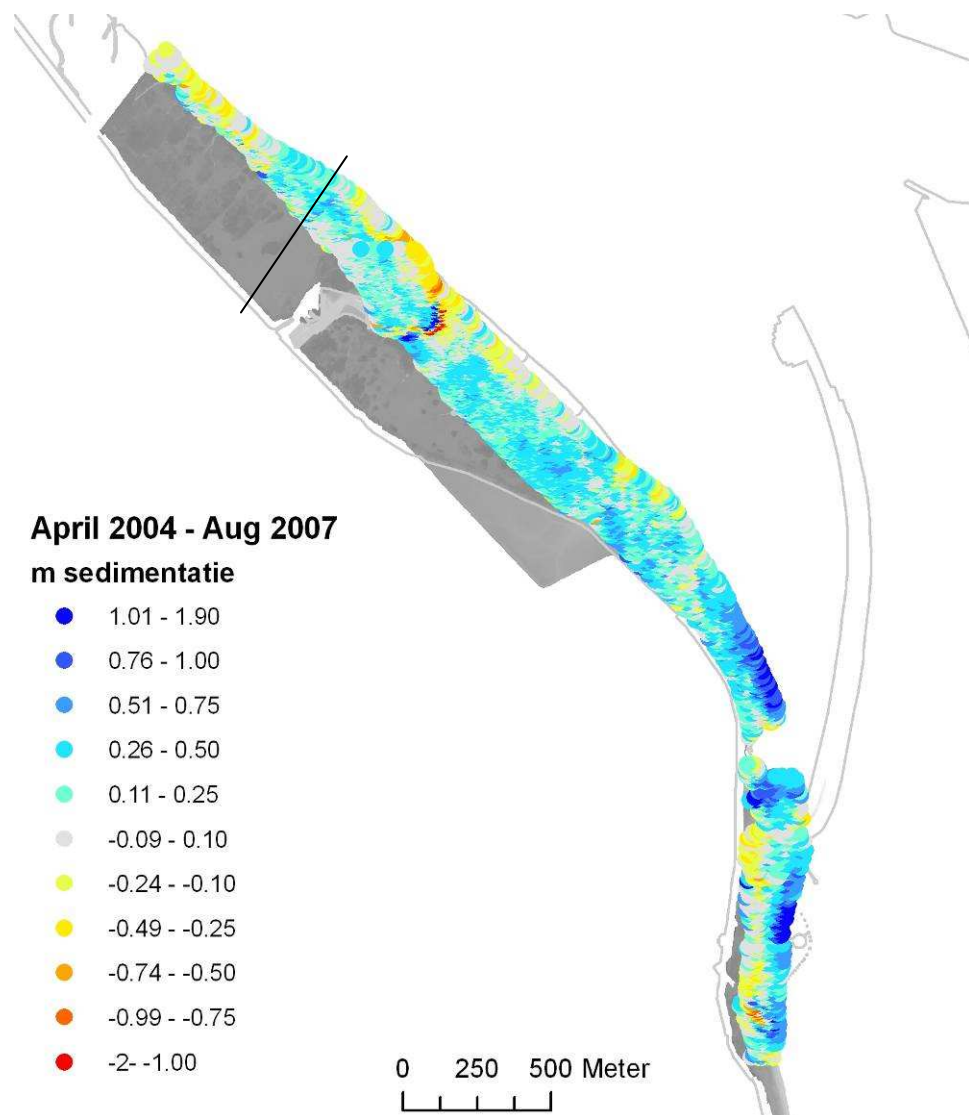
Afstand tot Belgisch Nederlandse grens 4,5



figuur 2-19: Evolutie van de subtidale en intertidale hoogteprofiel tussen 1930 en 2002 op 4.5km van de Belgisch - Nederlandse grens,

2.4.2 Korte termijn evolutie

Op korte termijn is er vooral sedimentatie waar te nemen op het slik van Ouden Doel. Echter, in het noordelijke deelgebied (enkel Belgisch deel zichtbaar) dat dichtst bij de vaargeul of het gat van Doel ligt, is erosie waar te nemen (figuur 2-20).



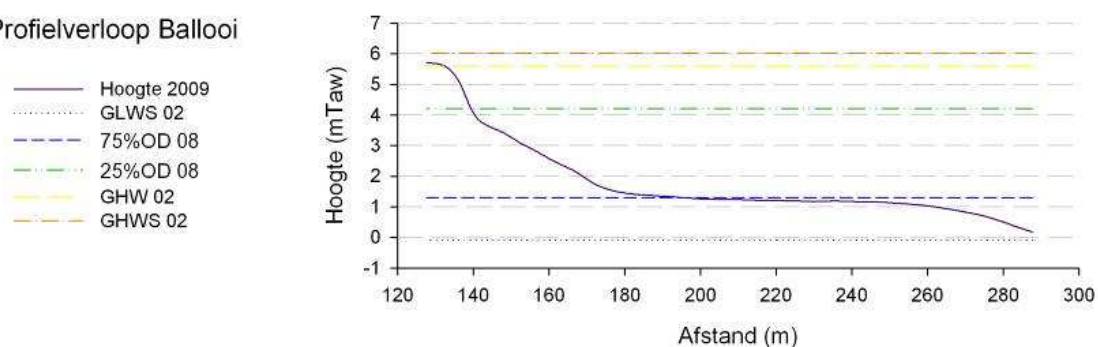
figuur 2-20: Hoogteveranderingen aan het slik van Ouden Doel tussen april 2004 en augustus 2007. Kaart op basis van laseraltimetriedata.

2.5 De plaat van de Ballooi

De Ballooi is één van de laatste grote slikplaten stroomopwaarts Antwerpen waar het ecotooptype van zandig slik met microribbels in het laag slik aanwezig is (figuur 2-21). Achter de vlakke zandplaat van het lage slik liggen steiler middelhoog en hoog slibbig slik.

Tussen de Ballooi en de huidige sigmadijk ligt een buitendijks stort, gescheiden van de slikplaat door breuksteenbestorting. In die zin heeft de slikplaat geen dempende functie ter bescherming van achterliggend schorgebied. De stortplaats is bekend als De Verloren Kost. Hier werd tussen 1968 en 1975 huishoudelijk afval uit de stad Antwerpen gestort.

Profielverloop Ballooi



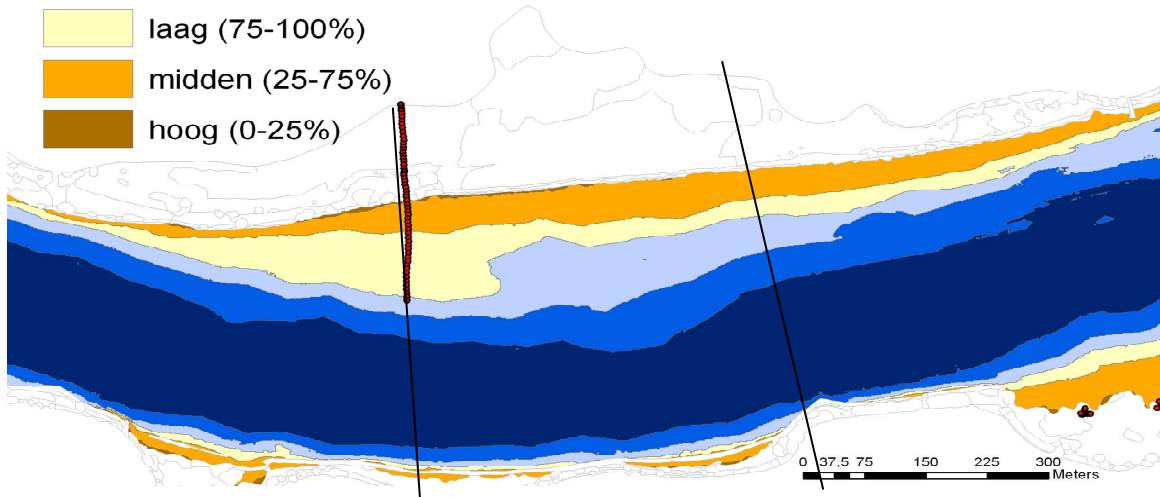
figuur 2-21: Profielverloop van de plaat van de Ballooi (boven). Zicht op de overgang tussen de slib en de zand gedeelte van de slik (onderaan links) en detail van de mesoribbels op de zandplaat (onderaan rechts). De ligging van het profiel is weergegeven in figuur 2-22.

De huidige plaat van de Ballooi is een typisch voorbeeld van een zandige plaat in de lage slikzones rivierwaarts van een flauw hellende slibrijke oever (figuur 2-22).

De plaat bestond in 2001 net als in 2009 vooral uit bijna horizontaal laag slik, met landwaarts een flauw hellend middelhoog slibrijk slik en een smaller en steiler hoog slik.

Klasse

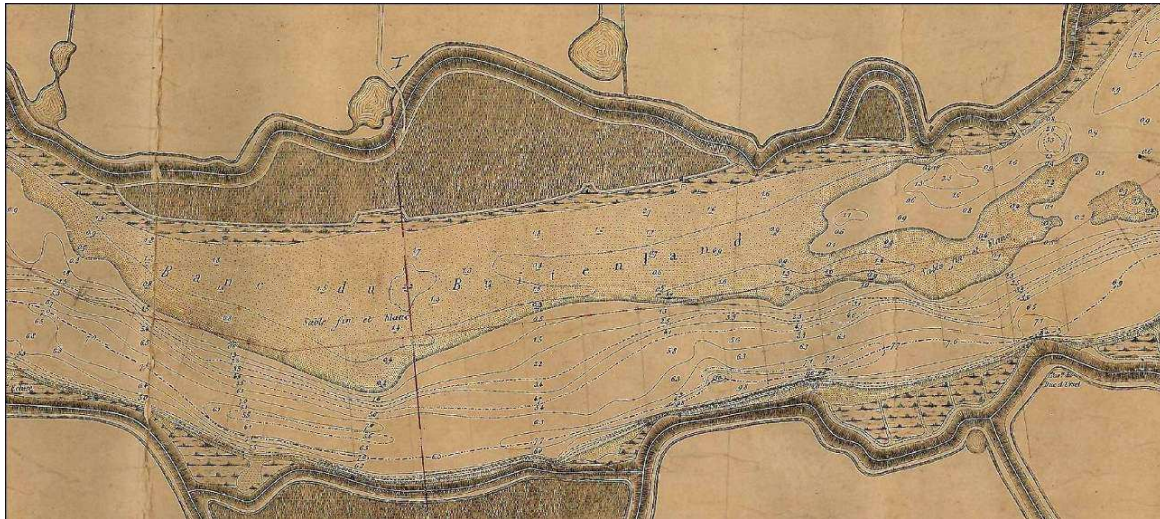
- diep (>5m)
- matig diep (2-5m)
- ondiep (0-2m)
- laag (75-100%)
- midden (25-75%)
- hoog (0-25%)



figuur 2-22: Fysiotopen van het slik van de Ballooi (Kaart gemaakt op basis van gegevens uit 2001). De vette zwart/rode lijn geeft de ligging van het hoogtepfiel uit figuur 2-21 aan de zwarte lijnen geven de ligging van de profielen in figuur 2-25 en 2-26 weer..

2.5.1 Lange termijn evolutie

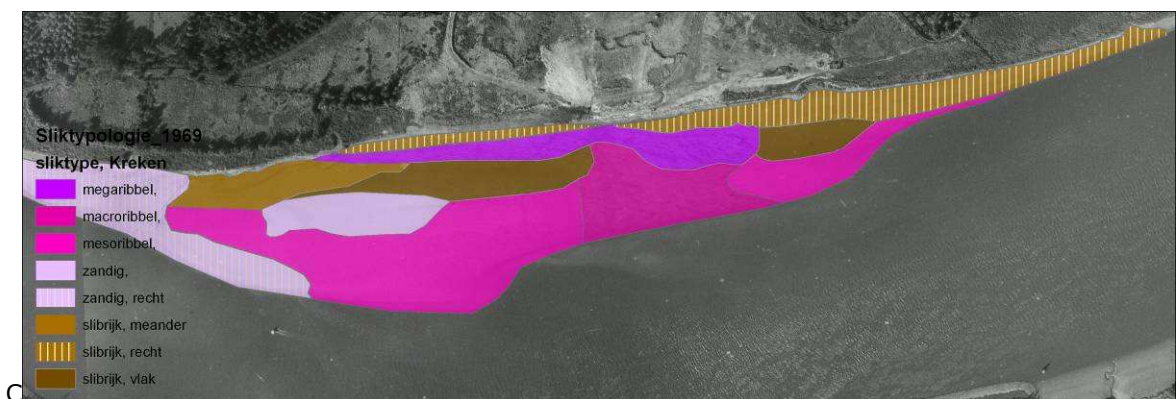
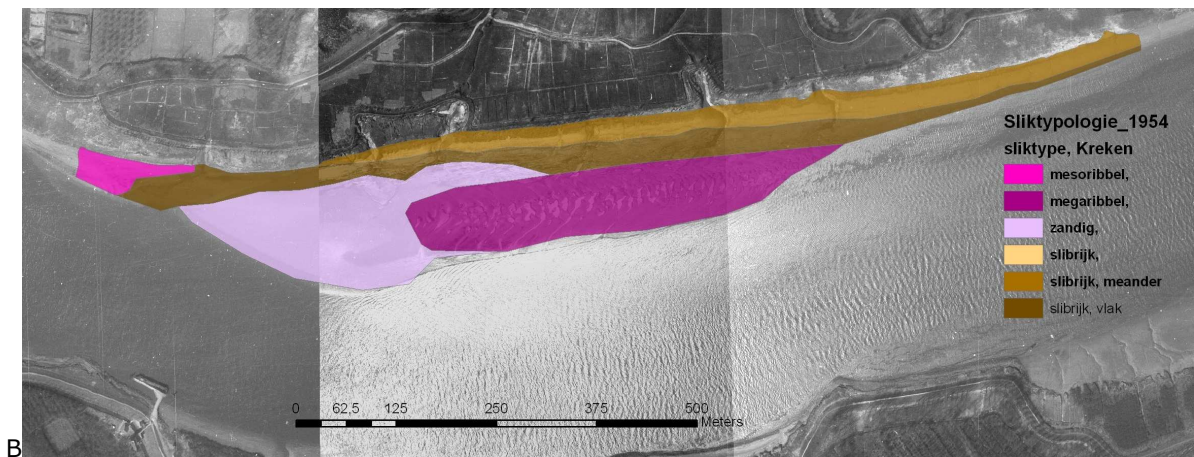
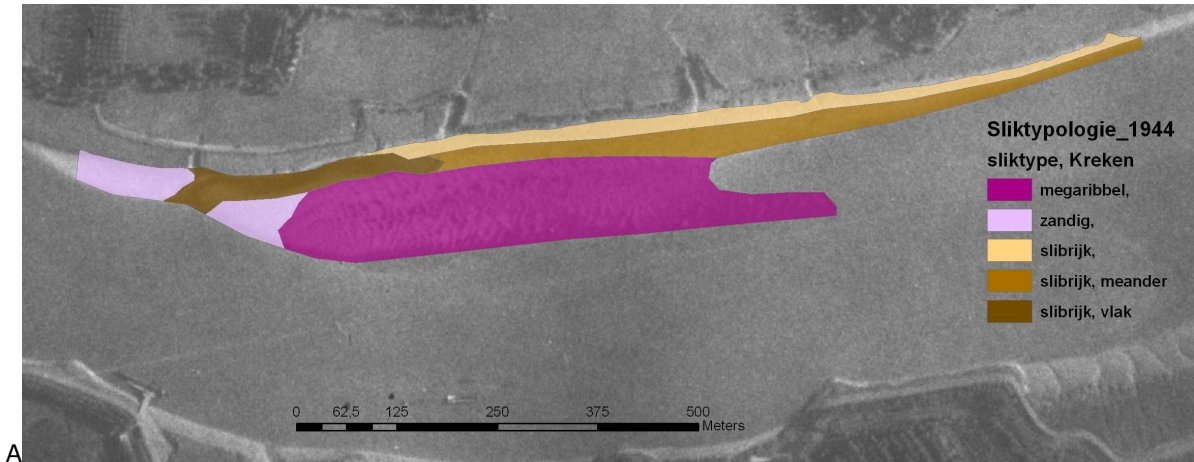
De Ballooi is een oude plaat, in 1875 gekend als de bank van het Buitenland (figuur 2-23).

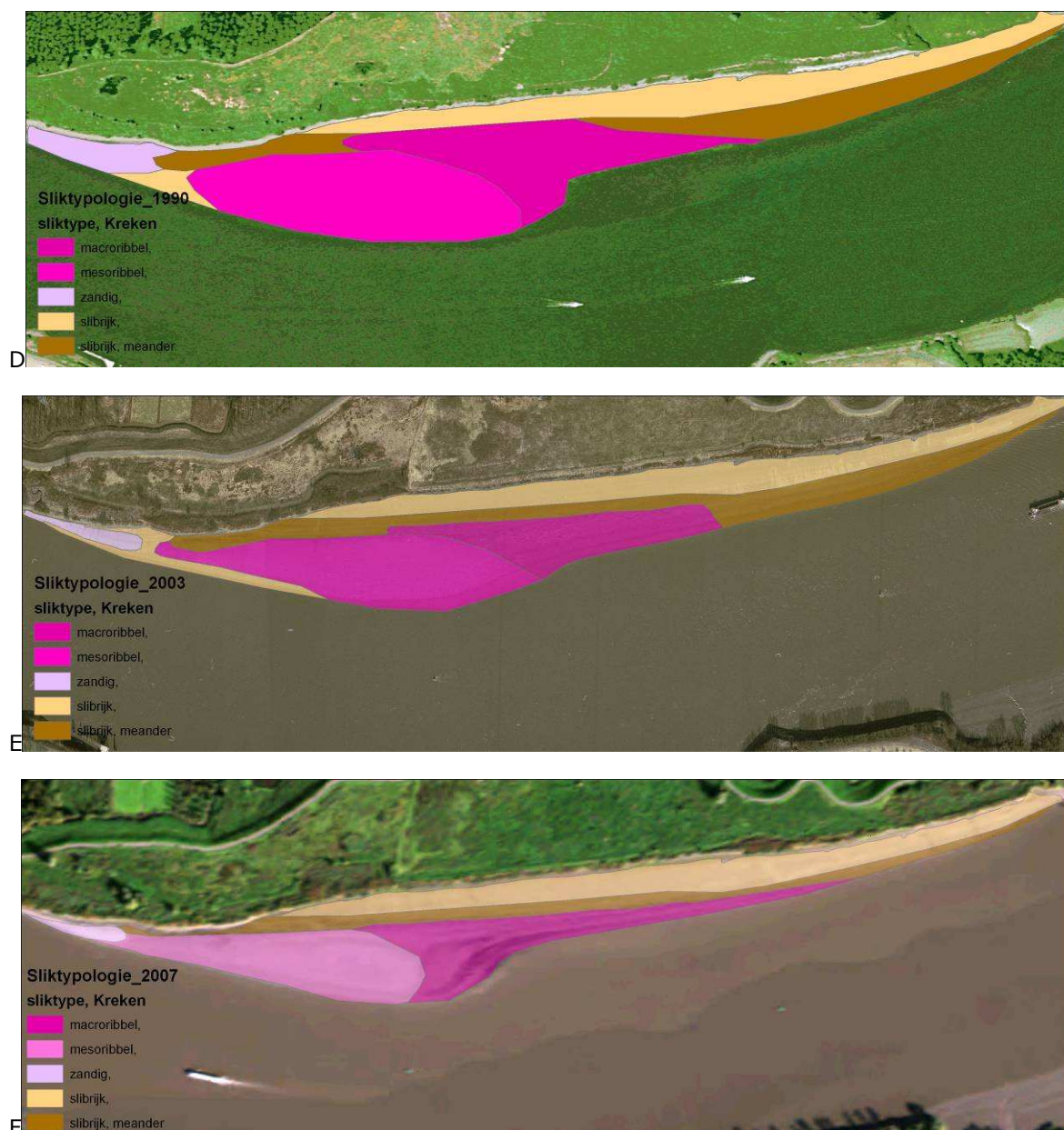


figuur 2-23: De plaat van de Ballooi in 1875 nabij de bank van het Buitenland (Stessels, bron AMT)

In 1944 bestond Ballooi uit een grote zandplaat met megaribbels en een schor dat als hooiland werd geëxploiteerd. Tegen 1954 is de zandplaat vergroot maar het aandeel bedekt met megaribbels is verkleind. Het achterliggende gebied is grotendeels een vloeimeers als sterk gedraineerd hooiland in gebruik. In 1969 is de zandplaat verder aangegroeid maar de zone met

megaribbels veranderde in een macro- en mesoribbelzone. Het schor en de vloeimeersen zijn in gebruik als stortplaats. Op de luchtfoto' vanaf 1990 tot nu (2007-2008) wordt de zandplaat steeds smaller en macroribbels zijn en enkel nog in de vloedgeul weer te vinden. Het schor is volledig opgehoogd stort.

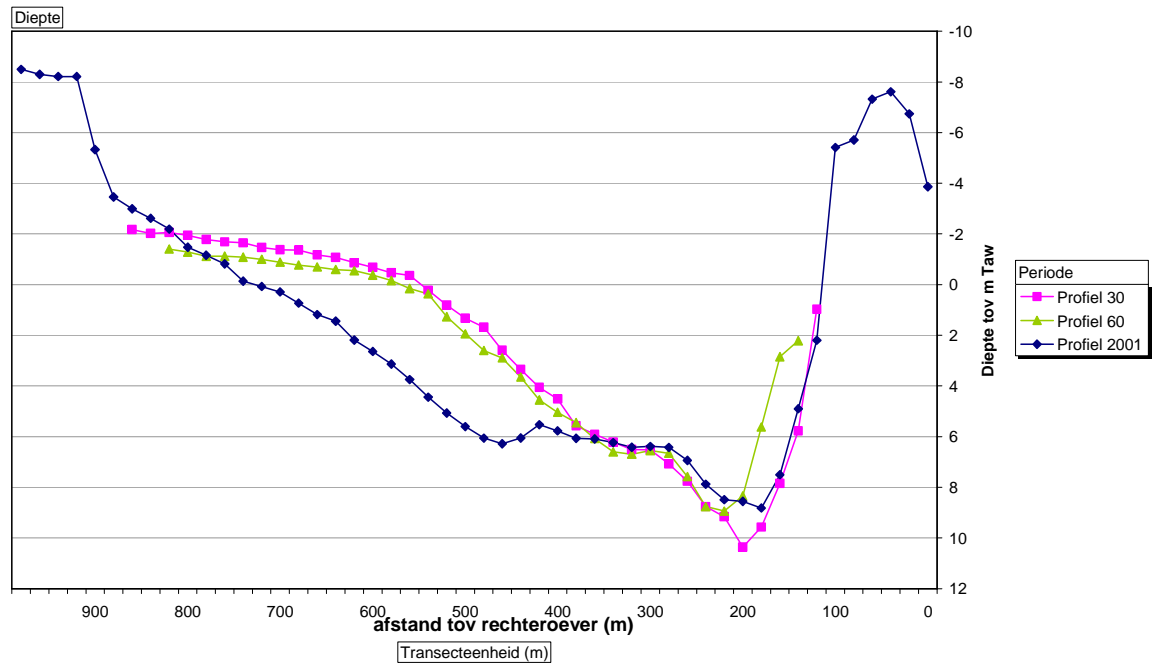




figuur 2-24: Evolutie van de Plaat van de Ballooi van 1944 tot 2007: A=1944; B=1954; C=1969; D=1990; E= 2003; F=2007

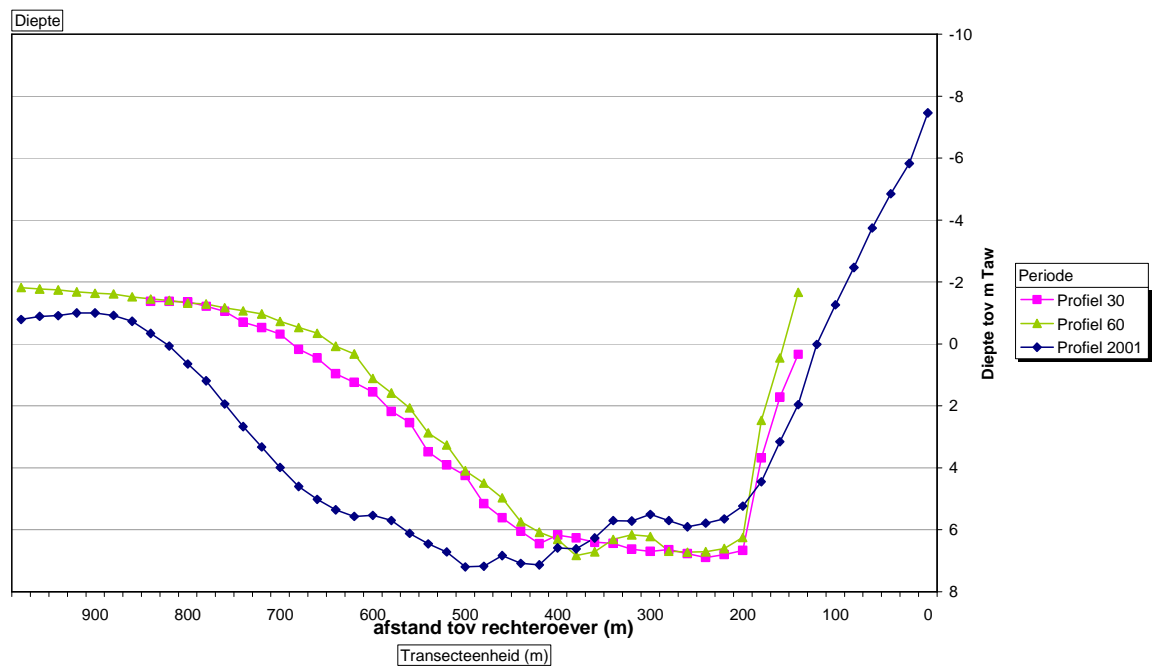
In het laag intertidaal en ondiep subtidaal veranderde de plaat voor de Ballooi haast niet tussen 1930 en '60. Daarna is ze wel sterk in breedte afgenomen en verlaagd (figuur 2-25; figuur 2-26). Op de ondergrens van ondiep water (ong. -2m TAW) is deze plaat ongeveer 10 meter landwaarts opgeschoven. Ter hoogte van km 44,75 is nog een breed deel van de plaat aanwezig. De bathymetrische data van 2001 lopen hier echter maar tot aan de plaatrand omdat ze niet echt bij hoog water genomen werden.

Afstand tot Belgisch Nederlandse grens 44,25



figuur 2-25: Evolutie van de subtidale en intertidale hoogteprofiel te Ballooi tussen 1930 en 2001. Het profiel is gelegen op 44,25 km langs de Schelde van de Nederlandse grens.

Afstand tot Belgisch Nederlandse grens 44,75



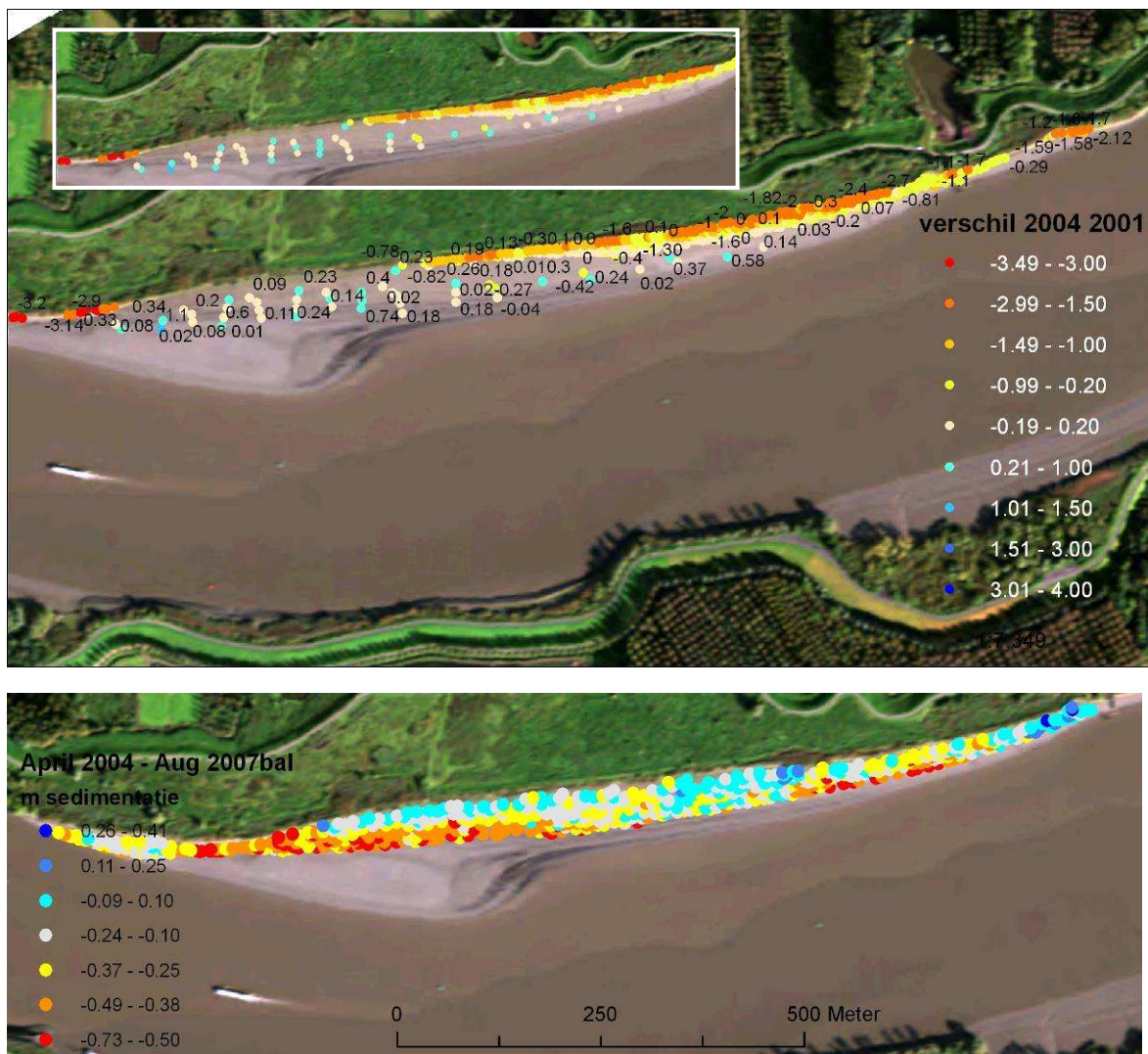
figuur 2-26: Evolutie van de subtidale en intertidale hoogteprofiel op Ballooi tussen 1930 en 2001. Het hoogteprofiel is gemeten op 44,75 km langs de Schelde van de Nederlandse grens. Dit profiel loopt van dijk tot dijk.

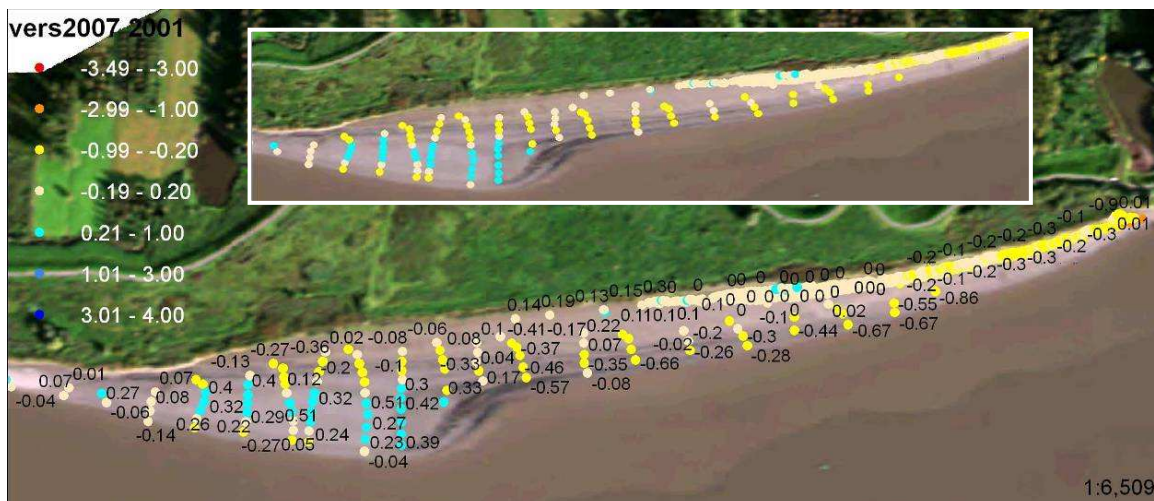
2.5.2 Korte termijn evolutie

Op basis van de LIDAR en Singlebeam en DTM is tussen 2001 en 2004 een stabiele toestand, tot lichte sedimentatie van de zandplaat waargenomen. Het hoog slik vertoont echter sterke erosie (figuur 2-27).

Vergelijking van het middelhoog en hoog slik in augustus 2007 met april 2004 toont een lichte erosie van minder dan een halve meter. Aan de rand van het middelhoog slik zijn lagere waarden te zien deels veroorzaakt door de aanwezigheid van vegetatie, deels effectief door erosie.

Vergelijking van de oorspronkelijke puntdata toont tussen 2001 en 2007 sedimentatie in het kleine vloedgeultje op de zandplaat, terwijl op de rest van het slik erosie wordt waargenomen.



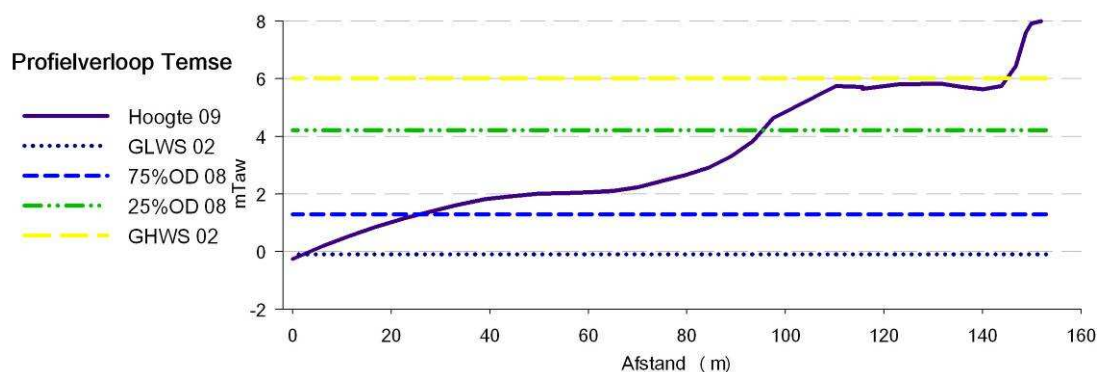


figuur 2-27: Hoogteveranderingen (m) van de slikplaat van de Ballooi tussen 2001 en 2007. Bovenste figuur: veranderingen tussen 2004 en 2001; middenste figuur tussen 2007-2004, en onderste figuur tussen 2007 en 2001. Kleine inzetfiguren dezelfde figuur zonder hoogtelabels

2.6 De plaat van Temse

De plaat van Temse is een typisch uitgestrekte slikplaat aan een binnenbocht van de Schelde op de grens tussen de oligohaliene en zoete zone.






De huidige slikplaat is voornamelijk opgebouwd uit middelhoog slik (tussen 25-75% overspoelingsduur) en gaat geleidelijk over in laag slik aan de vaargeulzijde (figuur 2-28). Naar de dijk toe is hoog slik zeer beperkt en in het stroomopwaartse deel van de bocht met breuksteen bestort (figuur 2-29).

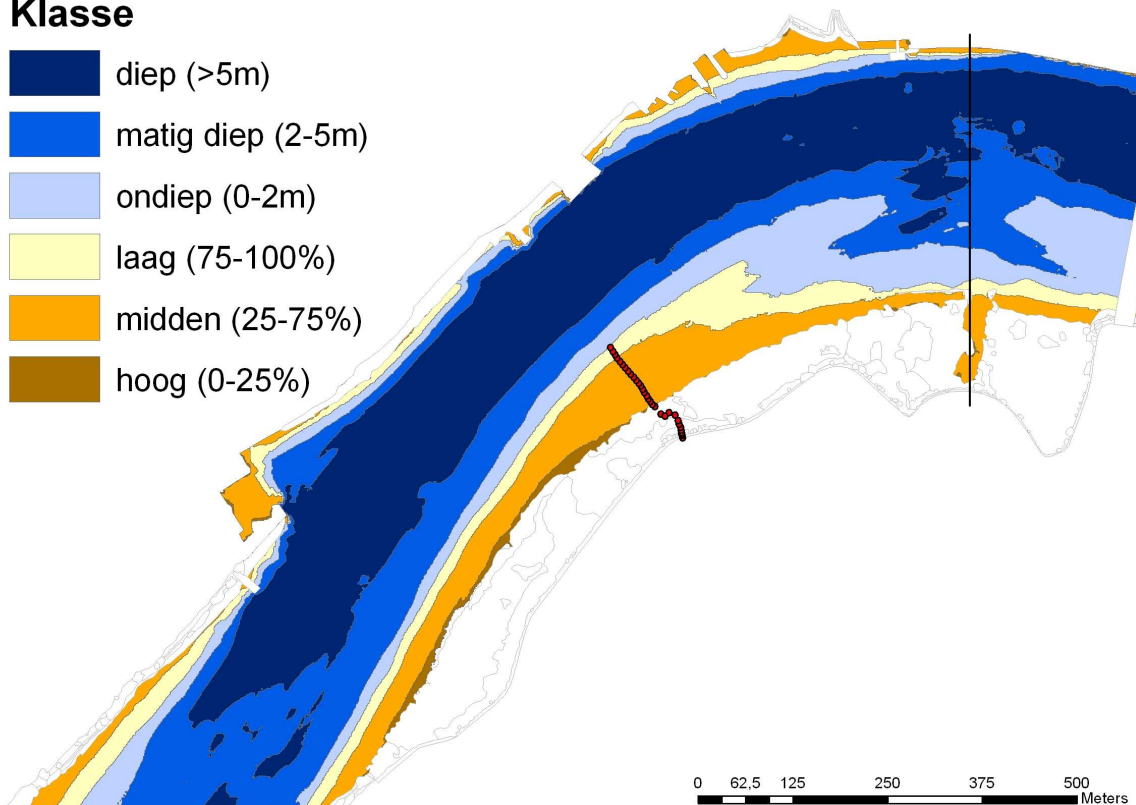


figuur 2-28: Slikprofiel van de plaat van Temse met aanduiding van de slikfysiotoopgrenzen

De plaat bestond in 2001 net als in 2009 voornamelijk uit middelhoog slik. Het laag slik bevindt zich vooral aan de stroomafwaartse punt. Een vloedgeul is te zien in het middelhoog slik. In de voorliggende ondiep subtidaal zone zijn een westelijke vloedgeul en een oostelijke ebgeul zichtbaar.

Klasse

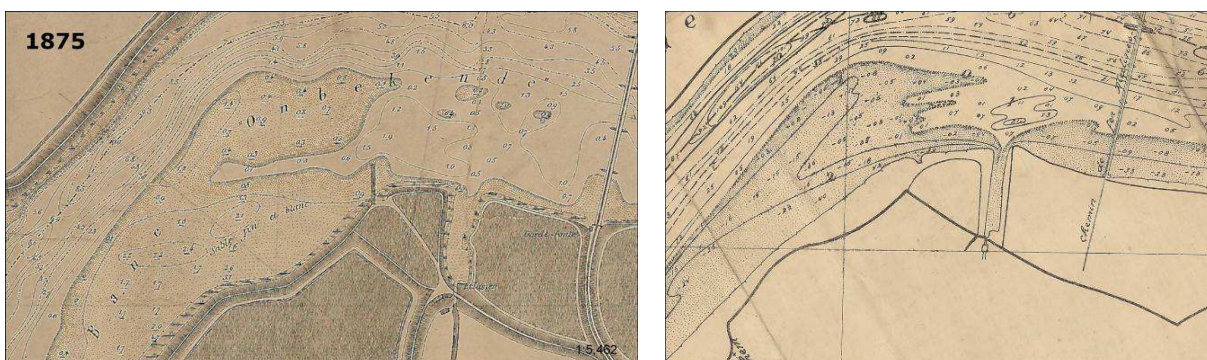
-  diep (>5m)
-  matig diep (2-5m)
-  ondiep (0-2m)
-  laag (75-100%)
-  midden (25-75%)
-  hoog (0-25%)



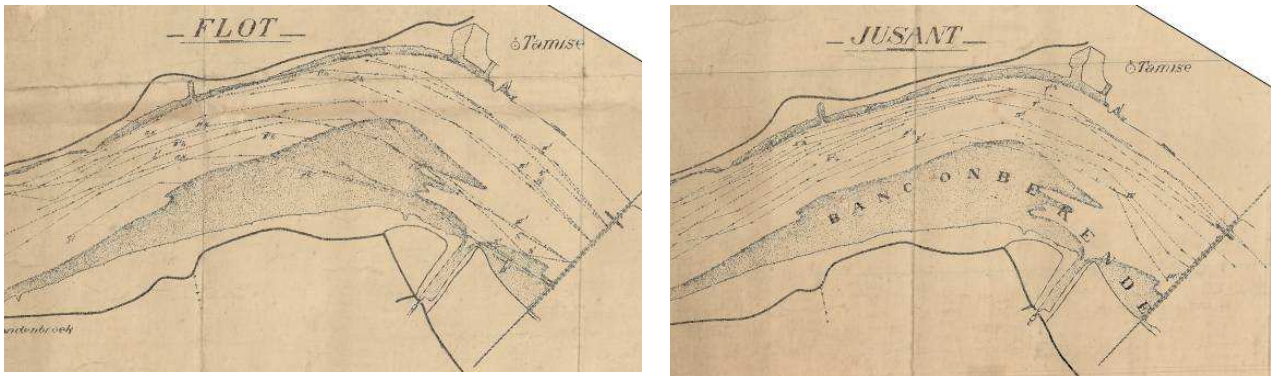
figuur 2-29: Fysiotopen van de plaat van Temse in 2001. De ligging van het hoogtepriofiel uitgetekend in figuur 2-28 is aangeduid met een zwart-rode lijn.

2.6.1 Lange termijn evolutie

De huidige plaat van Temse is een historische zandplaat in 1875 en 1912 genaamd 'Banc Onbekende' (figuur 2-30). Het was toen een grote zandplaat (sable fin et blanc) die meer dan de helft van de Scheldebreedte innam. Een vloedgeul sneed de 'bank' aan in westelijke richting. Dit wordt geïllustreerd in figuur 2-31: de belangrijkste stroompatronen bij vloed liepen vooral over deze westelijke zandplaat terwijl de ebstroompatronen slechts ter hoogte van de brug tegen het oostelijk deel van de zandplaat liepen.

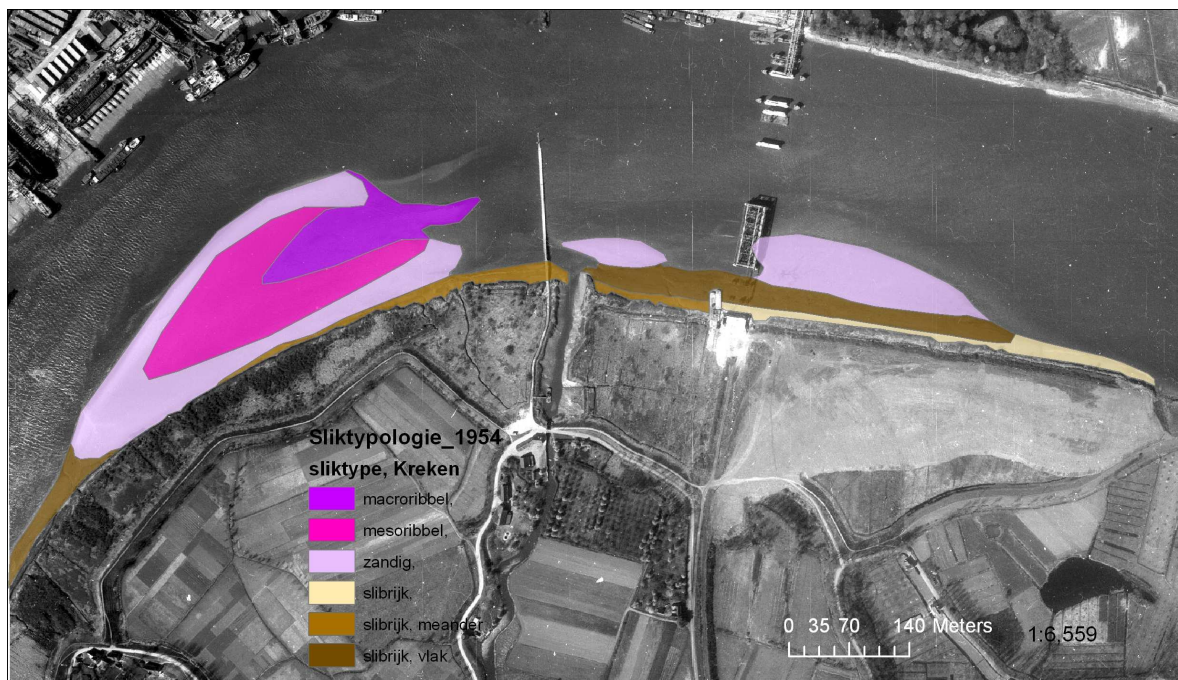


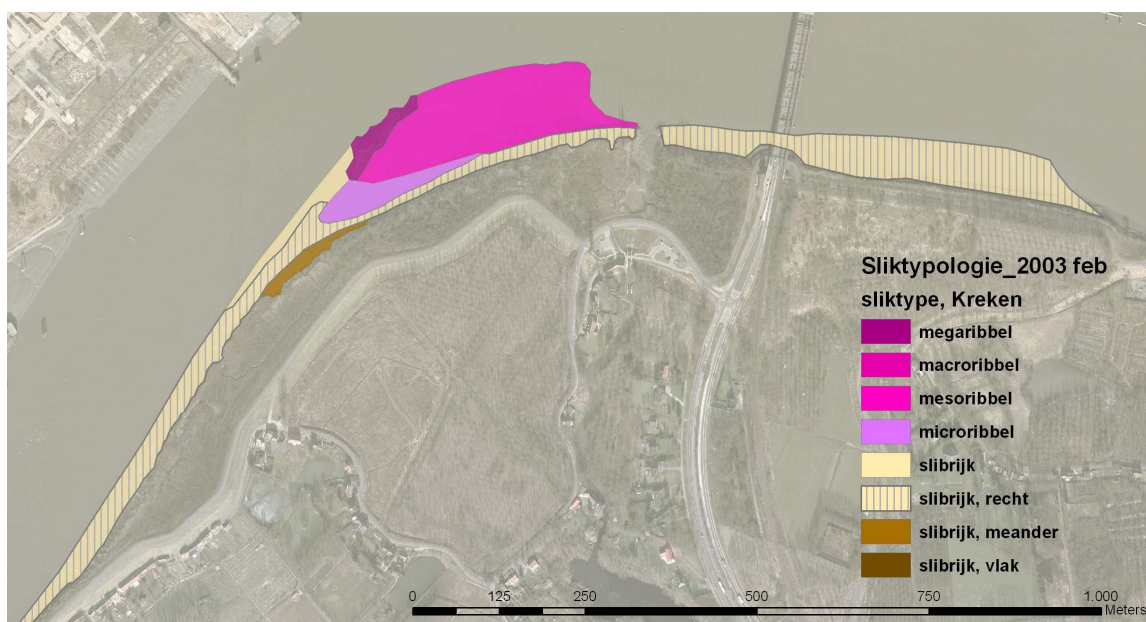
figuur 2-30: De plaat van Temse in 1875 (bovenaan) en 1912 (onderaan) nabij de zandplaat 'banc Onbekende'



figuur 2-31: De belangrijkste vloed- en ebstromingspatronen ter hoogte van de plaat van Temse in 1912

In 1954 had zich op de zandplaat een zone met macro- en mesoribbel-structuren ontwikkeld ter hoogte van de vloodschaar. De vlakke zandplaat ten oosten van de Temsebrug (in heropbouw) is nog vrij breed. In 1969 wordt het slik bijna volledig ingenomen door megaribbelstructuren, vooral op de centrale en oostelijke ebgedomineerde zandplaat zijn deze redelijk uitgestrekt. Op het westelijk slik, in de vloodschaar is het vlakke zandige slik relatief beperkt in omvang en vinden we nu meer luwere slibrijke afzettingen. Tegen 1986 is het slik sterk verlaagd en verminderd in omvang. Het centrale en oostelijke van de plaat zijn nagenoeg verdwenen, er rest nog een smalle slibrijke strook en een beperkt gebied met mesoribbels stroomafwaarts de brug. Op de westelijke zandplaat zijn enkel nog megaribbelstructuren terug te vinden naast enkele dynamische slibrijke stukken.



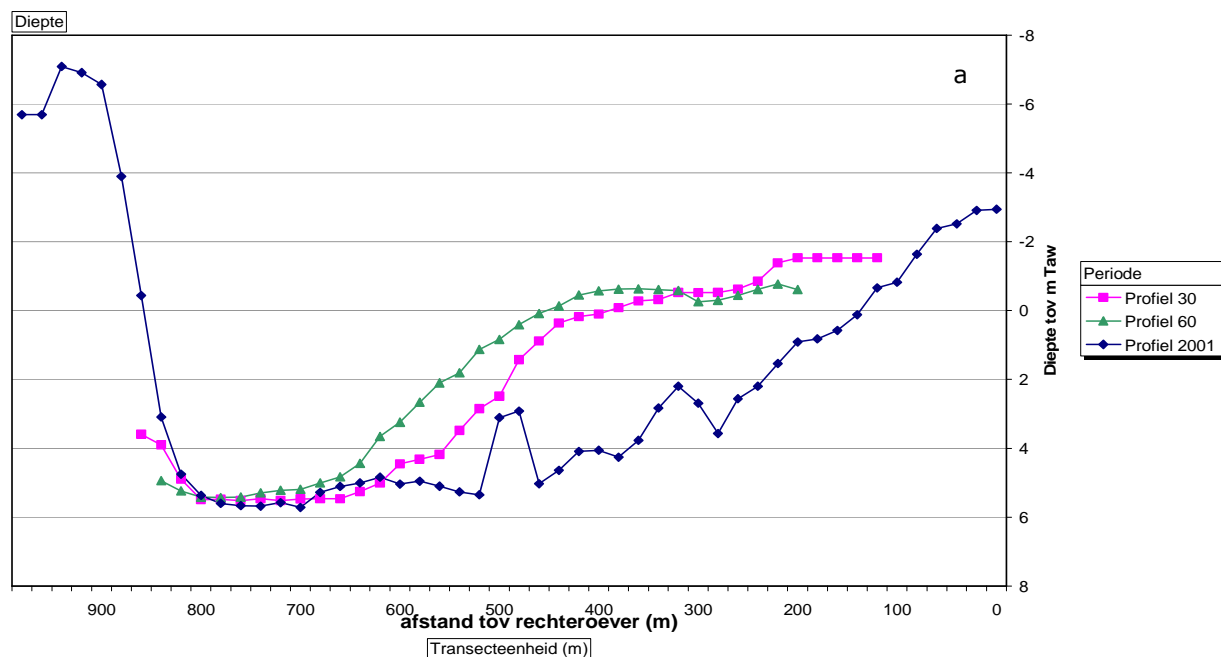


figuur 2-32: Evolutie van de Plaat van Temse voor de periode 1954 tot 2003.

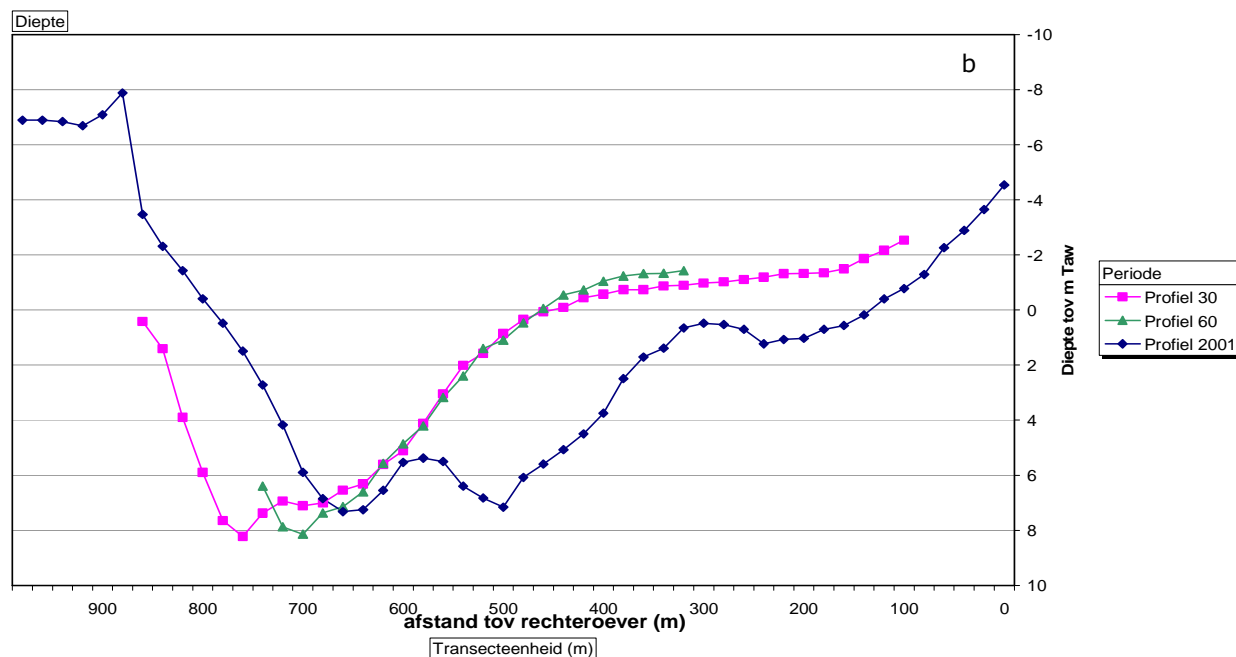
De vlakke zandige zone uit '69 schuift op in stroomopwaartse richting in 1986 en 1998 (niet bij laag water gevlogen) en verdwijnt in 2003. Het centrale en oostelijke slik is in 1998 gereduceerd tot een smalle slibrijke strook met een rechte afwateringsstructuur. In 2003 zijn er nog megaribbels zichtbaar in het westelijke slikgebied net stroomopwaarts de afwatering van de Oude Schelde. Opstrooms en afstrooms daarvan zijn enkel nog slibrijke steile slikken terug te vinden met rechte afwateringsgeultjes.

De algemene evolutie van de plaat van Temse doet een toenemende invloed van de vloedstroom na 1969 vermoeden. De stroomopwaartse zandige vlakke zone schuift verder stroomopwaarts op en verdwijnt tenslotte (figuur 2-32). De megaribbels in het oostelijke en centrale gebied die dicht bij de ebgeul liggen, evolueerden tot het huidige smalle en steile slikgebied.

Afstand tot Belgisch Nederlandse grens 47



Afstand tot Belgisch Nederlandse grens 47,25

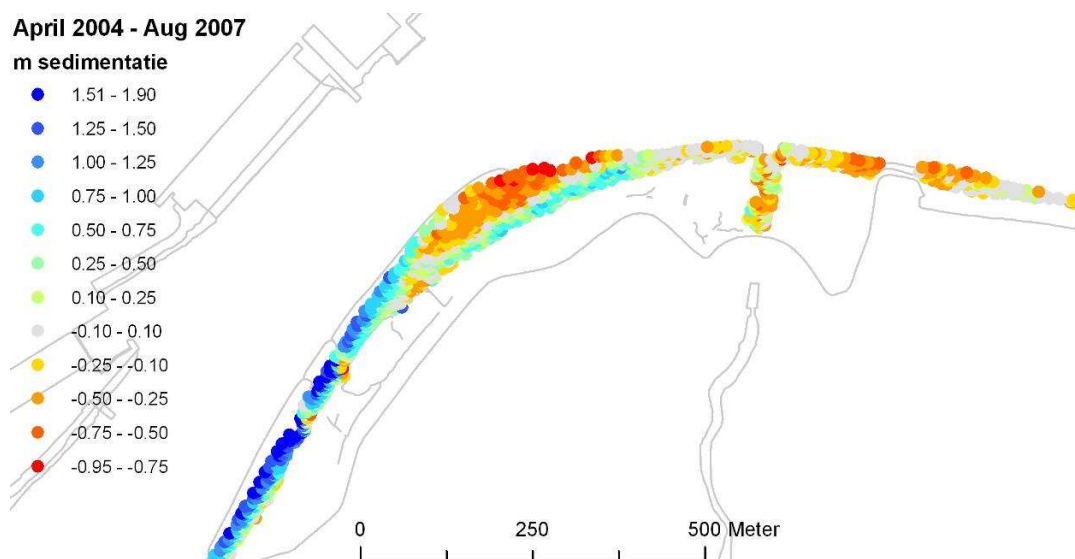


figuur 2-33: Evolutie van de subtidale en intertidale hoogteprofiel in 1930-1960 en 2001net stroomaf-(a) en stroomopwaarts (b) van het sas van Weert

Tussen de brug en het sas van Weert groeide de plaat aan in de periode 1930 – 1960, voornamelijk tussen -4 en 0m (figuur 2-33 a). Stroomopwaarts van het sas veandert er weinig aan het profiel van de rechteroever (figuur 2-33 b), enkel de vaargeul is een beetje opgeschoven richting rechteroever.

Tussen 1960 en 2001 werd de geul breder ten koste van de plaat (figuur 2-33 a,b).

2.6.2 Korte termijn evolutie

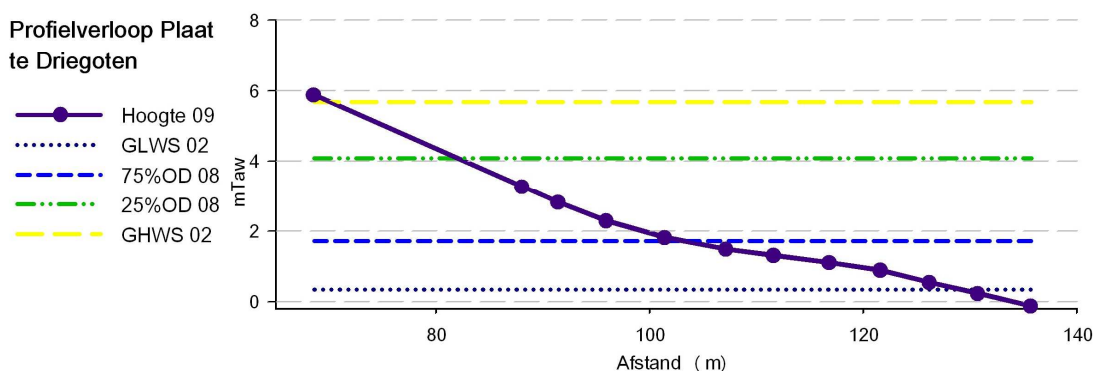


figuur 2-34: Hoogteveranderingen van de slikplaat van Temse tussen 2004 en 2007.

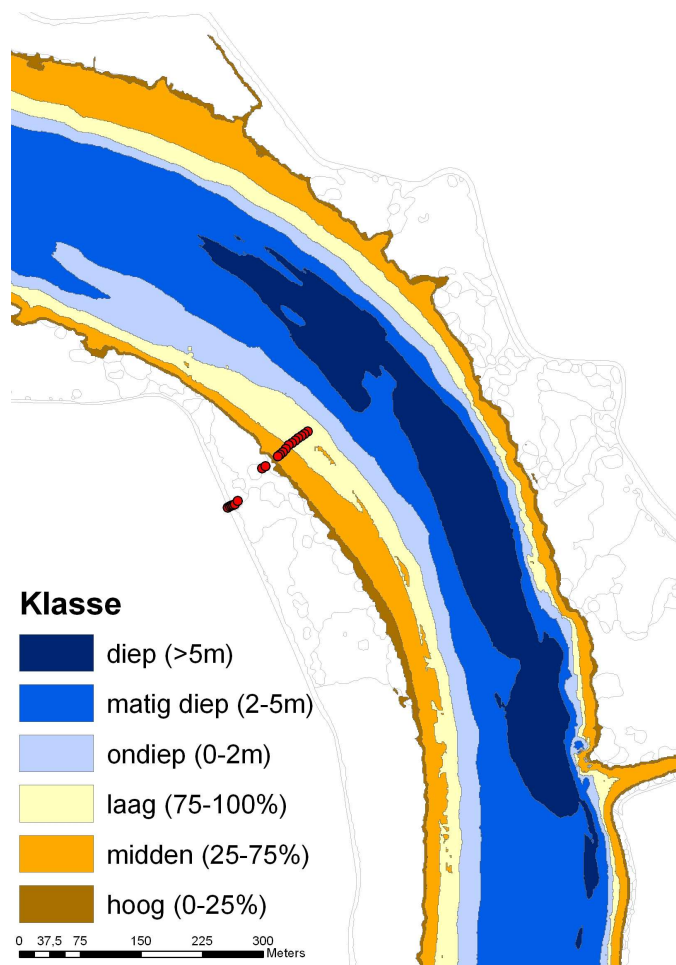
Vergelijking van LIDARdata van 2004 en 2007 (figuur 2-34) toont een matig tot sterke erosie van de vloedgeul op de plaat van Temse en de stroomafwaartse delen. Verder, stroomopwaarts van de bocht treedt sedimentatie op.

2.7 De Plaat van Driegoten

De Plaat van Driegoten is één van de weinige nog relatief grote slikplaten in het zoete deel van de Schelde (figuur 2-36). De plaat bestond in 2001 net als in maart 2009 vooral uit een zwak hellend horizontaal laag slik. Het middelhoog slik is steiler en slibrijker; het hoog slik is zeer beperkt in oppervlakte (figuur 2-35).



figuur 2-35: Hoogteprofiel van de Plaat te Driegoten (2009), de ligging van het profiel is weergegeven in figuur 2-36.



figuur 2-36: Fysiotopen van subtidale en intertidale gebied in de omgeving van de Plaat te Driegoten (binnenbocht linkeroever). De zwart-rode lijn duidt de ligging van het hoogteprofiel uit figuur 2-35 aan.

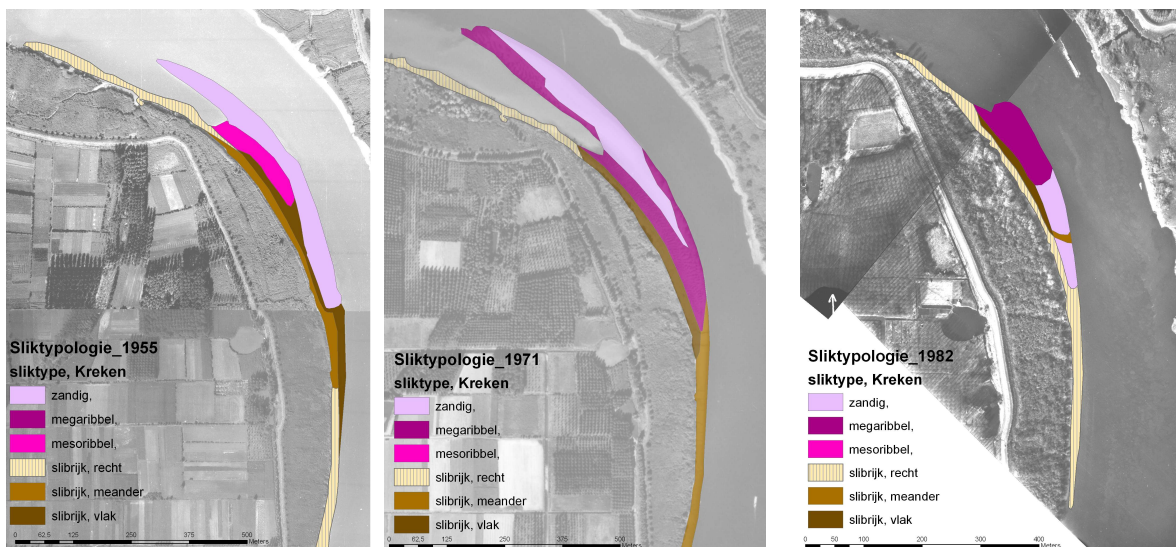
2.7.1 Lange termijn evolutie

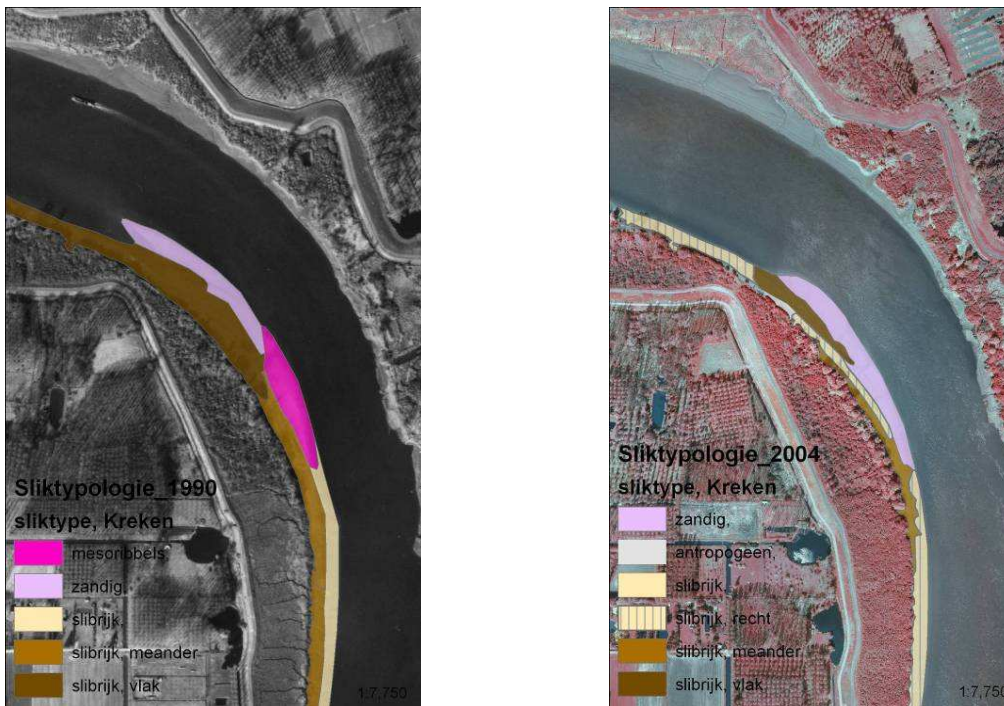
De Plaat nabij Driegoten is gelegen in een binnenbocht in het zoete deel van de Schelde. In 1876 bestond deze plaat al op de kaarten is ze weergegeven als een zandig eiland (figuur 2-37, 'sable'). Op de kaart daterend van 1896 is naast de uitgestrekte zandplaat ook duidelijk de vloedgeul in de binnenbocht weergegeven terwijl de ebgeul sterk tegen de buitenbocht weergegeven is.



figuur 2-37: De Plaat in Driegoten volgens kaartgegevens uit 1876 (a) en 1896 (b, bron MT)

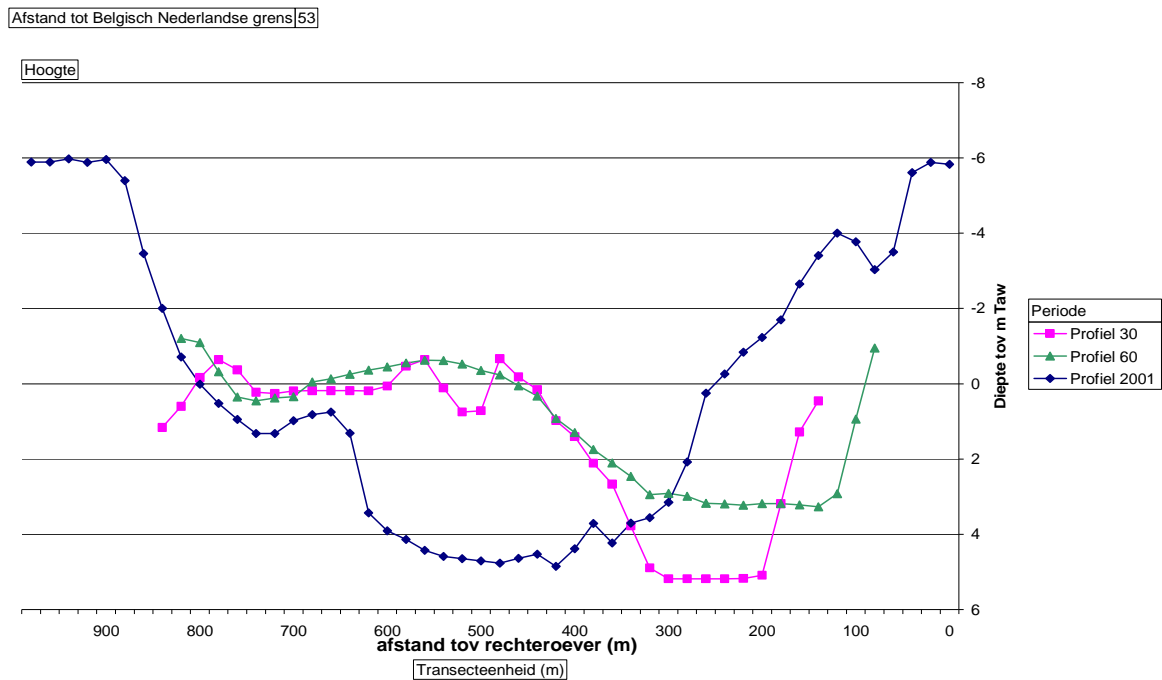
Op de kaart uit 1954 (figuur 2-38) is te zien hoe de plaat te Driegoten is opgebouwd uit een zandige rand zonder zichtbare structuren en met mesoribbels in de vloedgeul. In 1971 hebben megaribbels zich ontwikkeld langs de volledige vloedgeul in de binnenbocht en aan de plaatrand. Stroomopwaarts ontwikkelen zich meanderende kreekjes in het slik. In 1982 is de plaat sterk in oppervlakte verminderd en bestaat de volledige plaat nog uit megaribbels. De kreekjes in de stroomopwaartse slikken zijn weer recht. In 1990 vertoont de zandplaat nog slechts aan de punt zandige structuur. De vloedgeul is meer slibrijk met vlakke delen en op het stroomopwaartse slik ontwikkelen meanderende krekken. In 2004 is het slik verder in oppervlakte afgenomen.





figuur 2-38: Evolutie van de Plaat van Driegoten tussen 1954 en 2004.

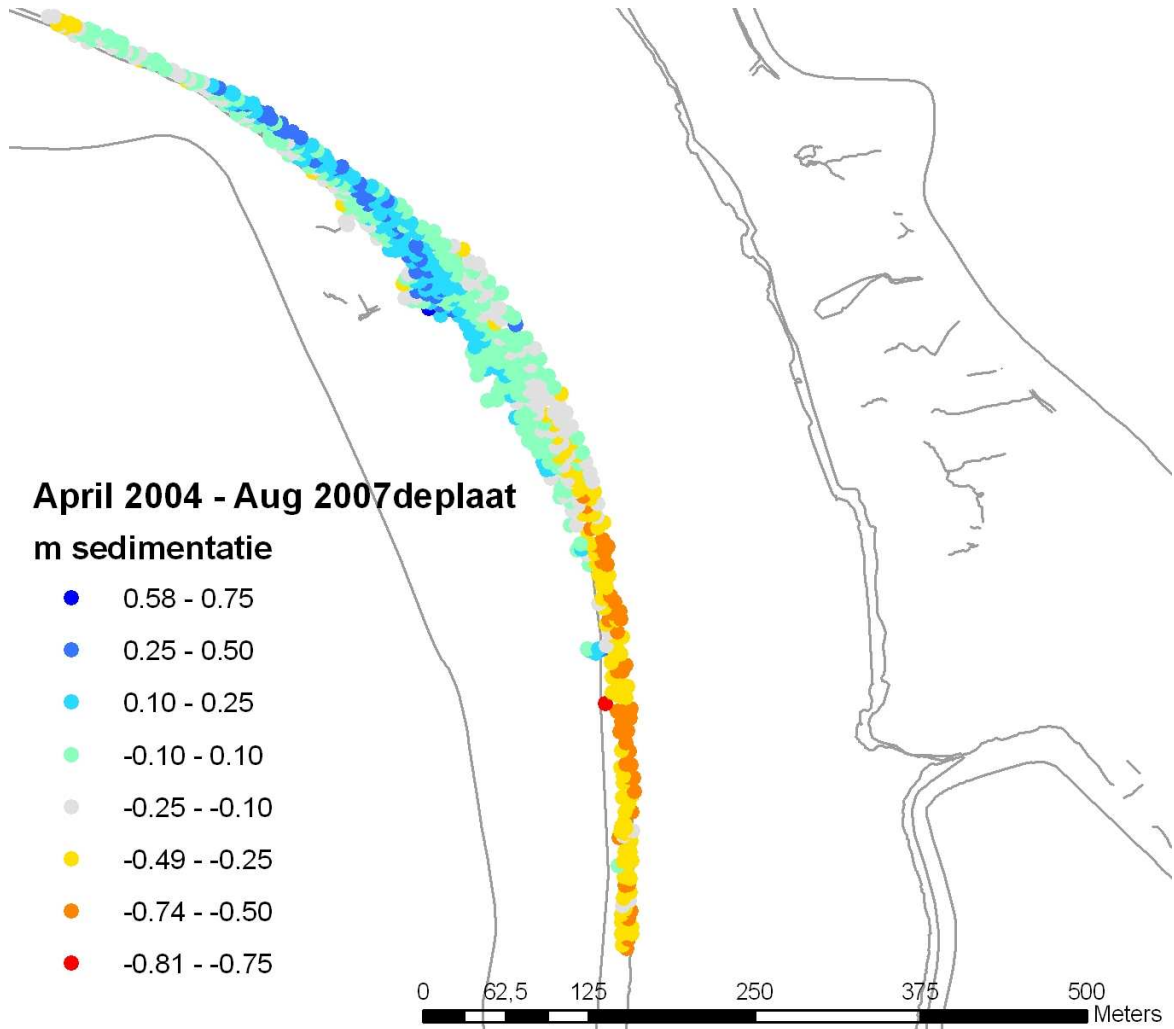
Tussen 1930 en 1960 veranderde weinig aan de hoogte en ligging van de plaat. De geul verondiepte en verbreedde een beetje naar de buitenbocht. . Na 1960 werd de geul veel breder en verlegde zich richting linkeroever, de plaat werd veel smaller en iets minder hoog. De helling van de buitenoever verflauwde.



figuur 2-39: Evolutie van de subtidale en intertidale hoogteprofiel op Plaat van Driegoten tussen 1930 en 2001

2.7.2 Korte termijn evolutie

Vergelijking van de laserdata van augustus 2007 en april 2004 wijst op sedimentatie aan de kop van De Plaat. Aan stroomopwaartse zijde erodeert de slikrand (figuur 2-40).



figuur 2-40: Hoogteveranderingen van de Plaat van Driegoten tussen 2004 en 2007.

3 Evolutie op mesoschaal: de schorren

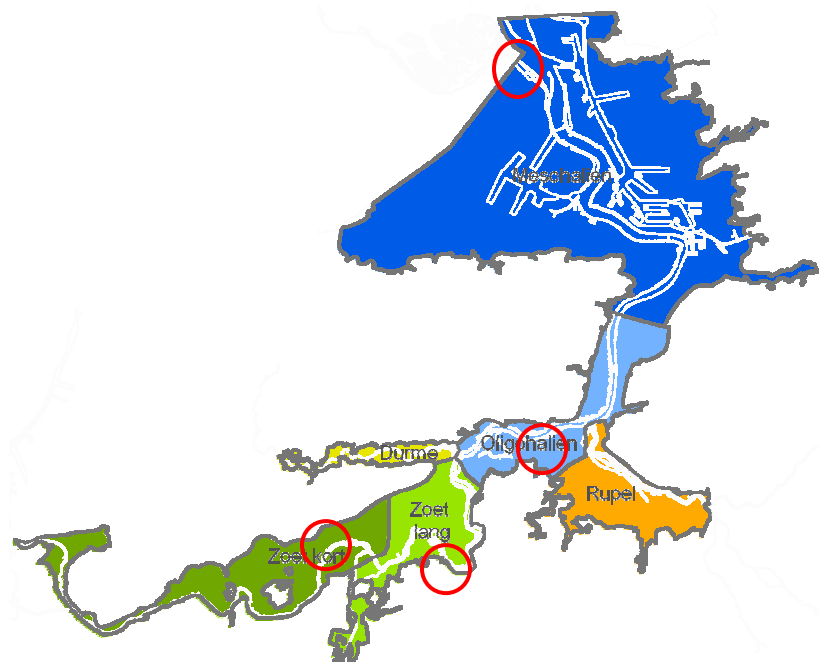
3.1 Selectie van focusgebieden

In voorgaand onderzoek (Van Braeckel et al., 2006; Piesschaert, et al., 2008) werd de evolutie van de schorren vooral op macroschaal beschreven en dan voornamelijk de evoluties van oppervlakte schorren en vloeisystemen binnen het Schelde estuarium. Om beter inzicht te krijgen in het functioneren van schorecosystemen is onderzoek op mesoschaal eveneens noodzakelijk. Voor een aantal focusgebieden wordt de evolutie van enkele abiotische aspecten onder de loupe genomen: saliniteit, geomorfologie, bodem en overspoelings- en drainage regime. De selectie van de focusgebieden gebeurde op basis van enkele criteria:

- Verdeling over saliniteitszones
- Geometrie van het schor (oppervlakte, vormindex,...)
- Leeftijd en evolutie van het schorgebied
- Kreekpatronen
- tijparameters
- Antropogene invloed: antropogene oeverstructuren zoals breuksteen, historisch landbouwgebruik,...
- Vegetatiesamenstelling

De focusgebieden zijn het Schor van Ouden Doel voor de mesohaliene zone, de Notelaer voor de oligohaliene zone, het Groot Schoor van Hamme voor de zoete zone met lange verblijftijd en het Nieuw Schor van Appels gecombineerd met het tegenoverliggend Schor van Zele voor de zoete zone met korte verblijftijd (figuur 3-1).

figuur 3-1: Spreiding van de schorfocusgebieden over de saliniteitszones in de Zeeschelde: mesohalien (hemelblauw), oligohalien (licht blauw), zoet met lange verblijftijd (licht groen) en zoet met korte verblijftijd (groen). Verder zijn de twee zijrivieren Durme en Rupel respectievelijk geel en oranje gekleurd.



3.2 Saliniteit

Saliniteit is één van de belangrijke bepalende factoren die de samenstelling van fauna en floragemeenschappen langs de Scheldegradiënt bepalen. De zoutgradiënt wordt van nature bepaald door samenspel van het vloedvolume dat zout water vanuit de zee landinwaarts voert, en de zoete bovenafvoer afkomstig vanuit het Scheldebekken.

In de Zeeschelde zijn sinds februari 2008 maandelijks 4 tot 5 CTD-divers in grote schorgebieden van de Zeeschelde geplaatst langs de volledige saliniteitsgradiënt van de Zeeschelde. De bedoeling was om enerzijds inzicht te verwerven in het gemiddeld zoutgehalte op een bepaalde plaats en de schommelingen daarin binnen de meetperiode. Anderzijds geven de metingen informatie over het overspoelings- en drainageregime in verschillende vegetatietypes, geomorfologische eenheden en types schorgebieden. Binnen de focusgebieden zijn verschillende meetreeksen opgenomen kaderend in het diepgaander interdisciplinair onderzoek naar de relatie tussen biotiek en abiotiek in deze gebieden. Details over de gebruikte drukmeters, de opstelling en het opzet van de metingen worden in 3.5.1.

De CTD-divers meten naast waterstand ook conductiviteit (microS/cm) en temperatuur (°C). De conductiviteit werd omgezet naar PSU, rekening houdend met de temperatuur (www.fivecreeks.org).

Vooraleer de meetreeksen van de focusgebieden in detail te bespreken worden de gebieden gesitueerd in de saliniteitgradiënt aan de hand van dagmetingen in de vaargeul. In de bespreking van de focusgebieden worden, naast de meetresultaten uit de gebieden zelf, ook de resultaten voor enkele andere complementaire gebieden getoond uit dezelfde meetperiode.

Het overzicht in Tabel 2 is gemaakt op basis van dagmetingen uit 2007 en geeft het gemiddeld zoutgehalte weer voor de maanden maart, juni en oktober in 2007 (data CEME, VMM). Na interpolatie langsheen de rivieras zijn de waarden afgeleid voor zowel de saliniteitszones als voor de OMES-compartimenten (Soetaert & Herman, 1995; Van Damme et al., 1999) (Tabel 2). Vervolgens zijn saliniteitsklassen toegekend volgens The Venice System (Caspers, 1959). Dit systeem onderscheidt 3 klassen voor de Zeeschelde, en maakt gebruik van de eenheid PSU ("practical salinity units"). De onderscheiden zones, zijn:

- De mesohaliene zone: 5-18 psu of 3-11 g Cl⁻/l met een onderverdeling in de alfa-mesohaliene (10-18 psu) en de beta-mesohaliene (5-10 psu) subzones,
- De oligohaliene zone: 0,5-5 psu of 0,3-3 g Cl⁻/l met de alfa-oligohaliene (3-5 psu) en beta-oligohaliene (0,5-3 psu) subzones,
- limnetische of zoete zone (< 0,5 psu of < 0,3 g Cl⁻/l)

Tabel 2: Afgeleide maximale, minimale en gemiddelde saliniteit in maart, juni en oktober van 2007 voor de saliniteitszones en subzones van de Zeeschelde en de Nederlandse grenszone. De focusgebieden zijn gekleurd weergegeven.

Saliniteit 2007				Maximaal			Minimaal			Gemiddelde		
Zone	sub-Zone	OM ES -nr	Klasse	Maart	Juni	okt	maart	juni	okt	maart	juni	okt
Mesohalien	Doel	8	α-mesohalien (β-m)	6,2	14,7	13,7	3,9	12,4	11,6	5,2	13,8	12,6
			α-mesohalien (β-oligo)	3,9	12,4	11,6	1,4	9,0	9,7	2,3	10,4	10,4
	Schoor	10	β -mesohalien (β-oligo)	1,4	9,0	9,7	0,6	6,4	8,4	1,0	8,0	9,2

Saliniteit 2007				Maximaal			Minimaal			Gemiddelde			
Zone	sub-Zone	OMES -nr	Klasse	Maa rt	Juni	okt	maart	juni	okt	maart	juni	okt	
	Ketenisse	11	β -mesohalien (β -oligo)	0,6	6,4	8,4	0	1,5	3,9	0,1	3,7	6,4	
		Blokke rsdijk	12	β -oligo (limnetische)	0	1,5	3,9	0	0,7	1,5	0	1,0	2,6
Oligohalien			13	β -oligo (limnetische)	0	0,7	1,4	0	0	0,7	0	0,3	0,9
	Notelaer	14	β -oligo (limnetische)	0	0,6	0,8	0	0	0,4	0	0,2	0,6	
Zoet	Lange verblijf- tijd	Grootschoor	15	limnetisch	0	0,1	0,6	0	0	0,2	0	0,3	0
			16	limnetisch	0	0	0,2	0	0	0	0	0,1	0
	Korte verblijf- tijd	Zele	17	limnetisch	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			18	limnetisch	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			19	limnetisch	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.2.1 Mesohaliene zone: Schor Ouden Doel

Het Schor Ouden Doel is gelegen in de mesohaliene zone. Binnen deze zone is er, vooral in het Vlaamse deel, een relatief steile saliniteitsgradiënt (Tabel 2).

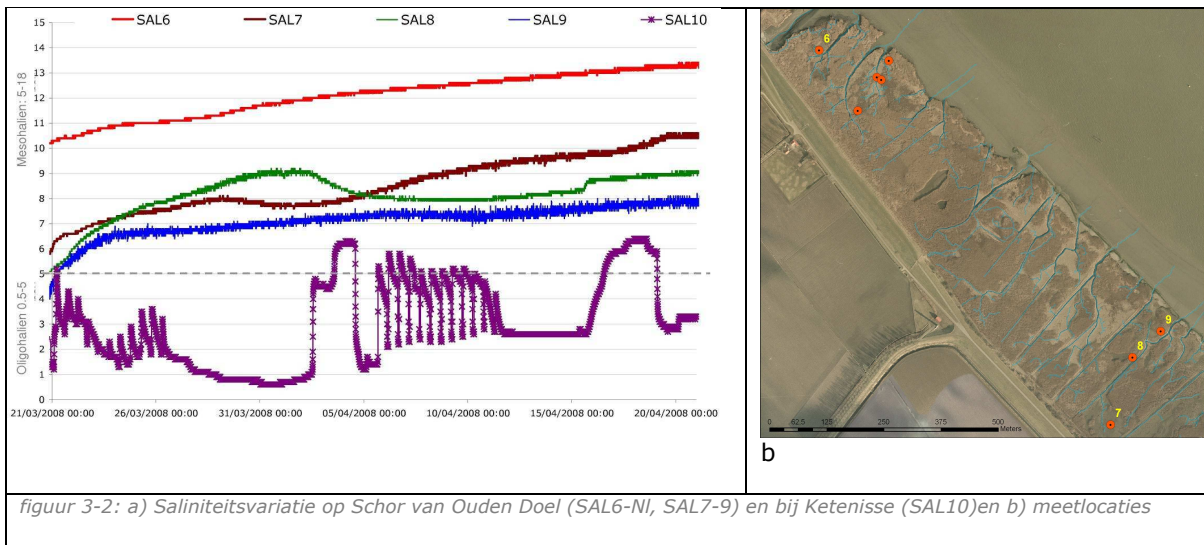
In de tijdreeks van de CTD divermetingen, uitgevoerd in het voorjaar van 2008 (21 maart tot 20 april), zien we in de metingen van het schor van Ouden Doel een geleidelijk saliniteitverloop zonder variatie over springtij- en doodtijperiodes (figuur 3-2, SAL6-9). Dit in tegenstelling tot de meer stroomopwaartse metingen in de β -mesohalien zone. Hier werden metingen uitgevoerd op pionier schor van het recent ontpolderde Ketenisse (figuur 3-2, SAL10). Binnen de meetpunten van Schor Ouden Doel is een lichte stijging van de saliniteit zichtbaar kenmerkend voor deze voorjaarsperiode. Dit is waarschijnlijk een gevolg van de start van het groeiseizoen; de saliniteit van het grondwater stijgt ten gevolge van de verhoogde evapotranspiratie.

In de locatie op het Nederlandse deel van het schor van Ouden Doel (OMES-segment 8; SAL6) de saliniteit van 10 tot 13 psu (alfa-mesohalien) wat 4 psu hoger is dan in de locaties 1km stroomopwaarts, op het Vlaamse deel van schor Ouden Doel (OMES-segment 7; SAL 7-9) in dezelfde periode.

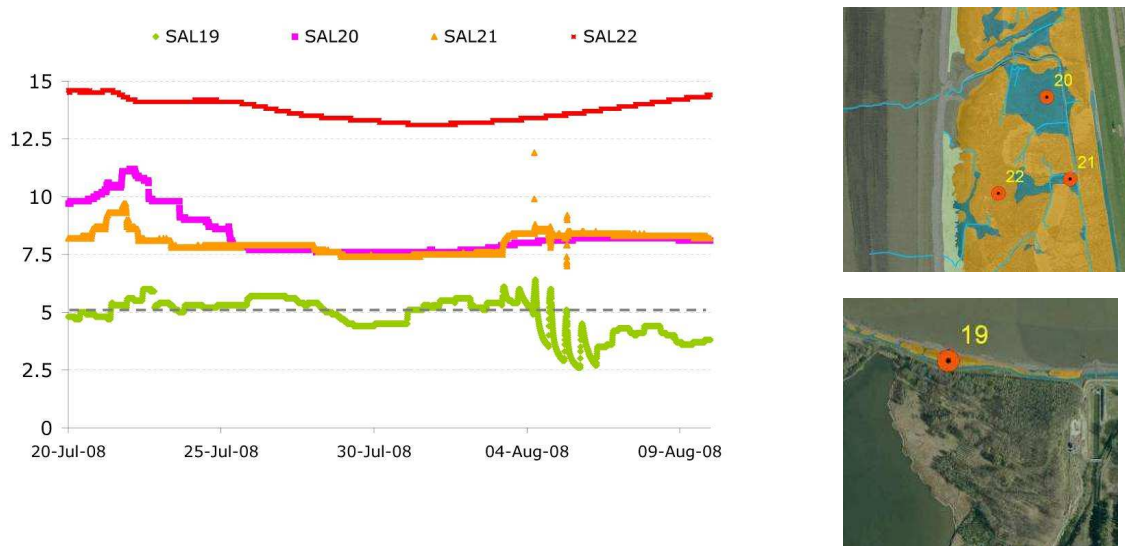
In het Vlaamse deel van het schor van Ouden Doel stijgt de zoutconcentratie met 2 (SAL8-9) tot 3,5 psu (SAL7) tijdens de gemeten periode. Binnen hetzelfde schorgebied zien we een relatie tussen de gemeten absolute en relatieve zout concentraties enerzijds en de afstand tot de dichtstbijzijnde kreek, de schorrand en/of de microtopografie anderzijds. Zo ligt SAL7, de diver met de hoogst gemeten zoutconcentratie in het vegetatieseseizoen, in een komgrond verst van de

schorrand. Centraal in het schor (SAL8) nabij de kreek stijgt de saliniteit vooral sterk in de doortijperiode eind maart- begin april terwijl de toename van saliniteit aan de schorrand (SAL9) zeer geleidelijk is.

In het meetpunt op Ketenisse in de β -mesohaliene zone (OMES segment 11) varieert de saliniteit tussen 1 en 6 psu. Deze variatie is veel groter dan in de meetpunten in het schor van Ouden Doel. De grootste variatie treedt op in perioden van springtij wanneer het zoete grondwater aangevuld wordt met brakker overspoelingswater. Dit blijkt niet de enige bepalende factor aangezien de relatief langere perioden met hogere saliniteit rond 4 april en voor 19 april (figuur 3-2) niet verklaard kunnen worden door overspoelingen.



De saliniteitsgradiënt in het mesohaliene deel van de Zeeschelde is niet alleen sterk in het vroege voorjaar. Ook in de zomerperiode zien we hoge saliniteiten op het Galgenschoor (figuur 3-3, OMES10, SAL20-22) en nabij Blokbersdijk (OMES12, SAL19). SAL22 vertoont een relatief hoge saliniteit voor dit omestraject waarschijnlijk als gevolg van sterke uitdamping in deze zomermaanden.



3.2.2 Oligohaliene zone: Schor van de Notelaer

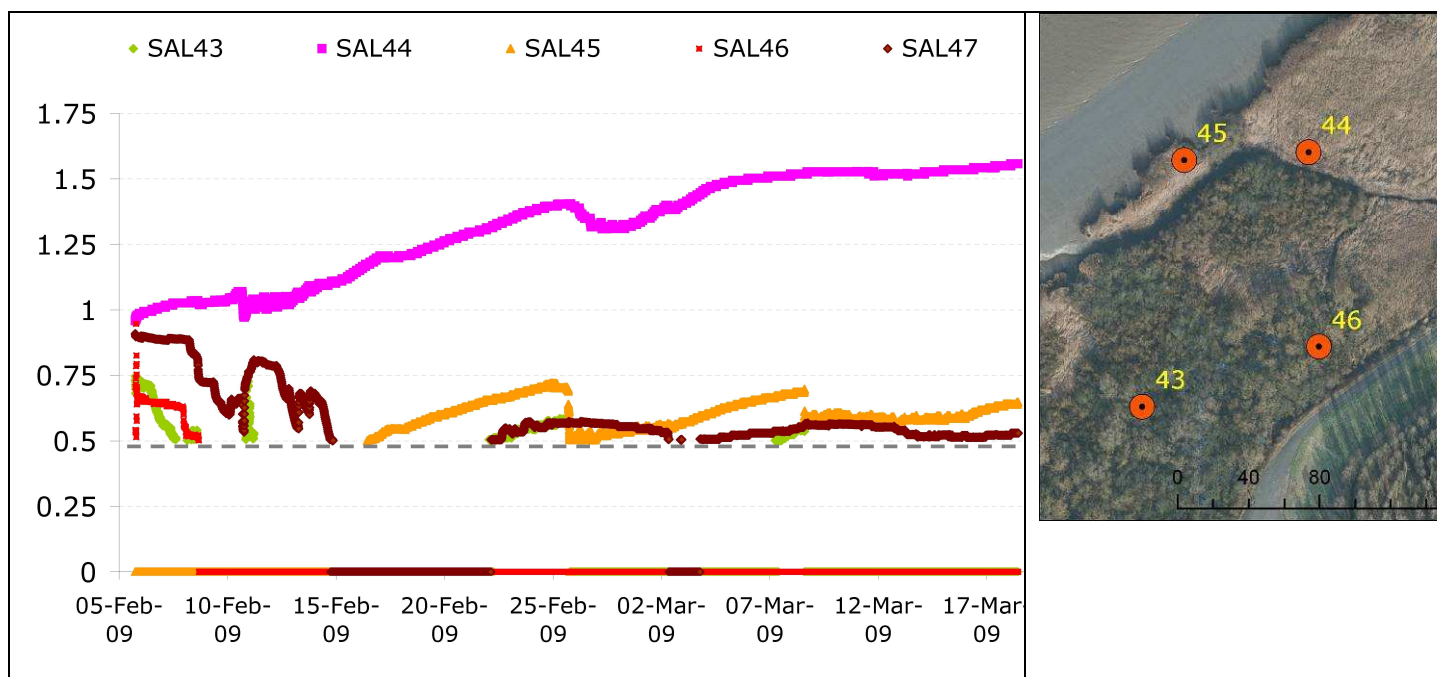
Meer stroomopwaarts in de oligohaliene zone is de absolute saliniteit in de winterperiode laag (<2PSU).

Binnen de zwak brakke en zoete zone komen saliniteitswaarden van minder dan 5.0PSU frequent voor (Tabel 3). Op het schor van de Notelaer (SAL44-45-47) zien we de hoogste saliniteiten langs het transect in het jongste gedeelte. De meetpunten in het oude beboste schorgebied vertonen overwegend een saliniteit lager dan 0.5 PSU (grens tussen zoet en brak water).

Tabel 3: Procentueel aandeel van de metingen op de Notelaer met een psu-waarde hoger dan 0,5

	SAL 43	SAL44	SAL45	SAL46	SAL47
Totaal aantal metingen	1022	11719	7132	663	5301
% hoger dan 0,5psu	8.7	100	60.8	5.7	45.2

Binnen het jong schorgebied vinden we de hoogste saliniteiten in het sterkst drainerende en hoogst gelegen meetpunt (SAL 44, *figuur 3-5*). Dit meetpunt is gelegen naast de brede kreek waar een sterke oeverwal is ontwikkeld. Op de oeverwal nabij de schorrand worden na 15 februari grotendeels waarden tussen de 0.75 en 0.5 PSU gemeten.



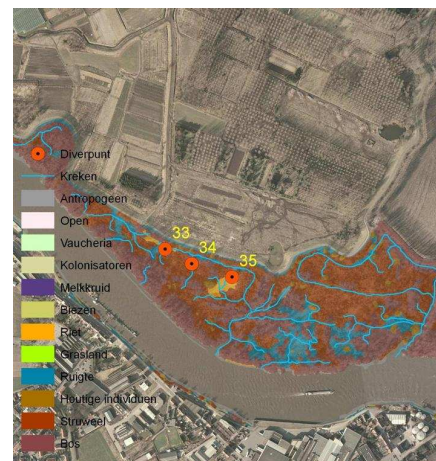
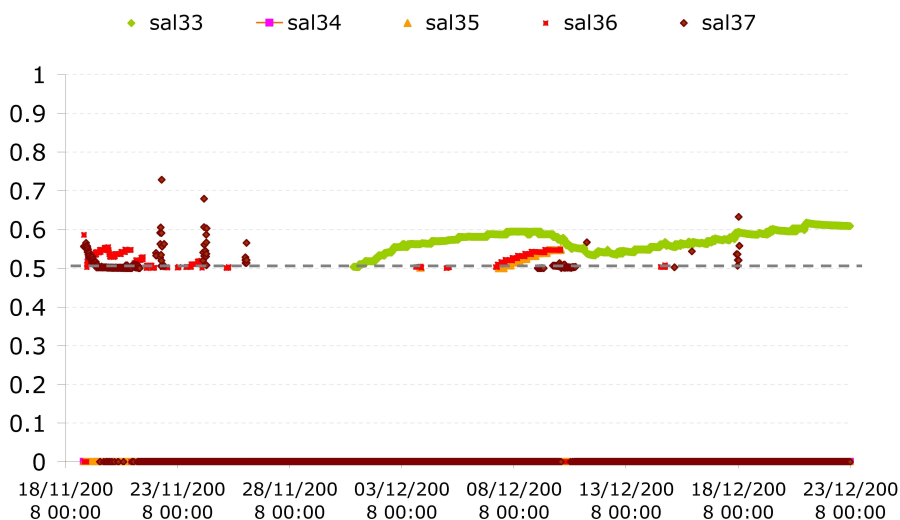
figuur 3-4: Saliniteitsvariatie Op Schor van de Notelaer (SAL43-47)

3.2.3 Zoete zone met lange verblijftijd: Groot Schoor van Hamme

In het Groot Schoor van Hamme gelegen in de zoete zone met lange verblijftijd wordt de 0.5 PSU-grens over het algemeen minder frequent overschreden in de winterperiode. Een uitzondering is de meest stroomopwaartse en het hoogst gelegen meetpunt SAL33. Hier meten we 65% van de waarden boven de 0,5 PSU-grens.

Tabel 4: Procentueel aandeel van de metingen op het Groot Schoor van Hamme met een psu-waarde hoger dan 0,5

	SAL 33	SAL 34	SAL 35	SAL 36	SAL 37
Aantal metingen	6505	0	794	2165	944
% boven 0.5PSU	65.1	0.0	7.9	21.7	9.4



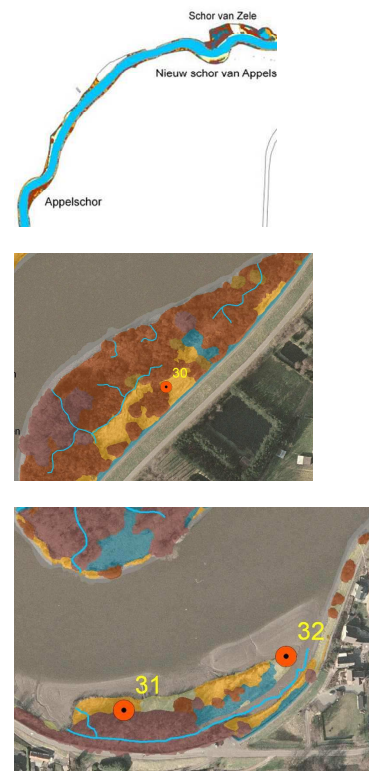
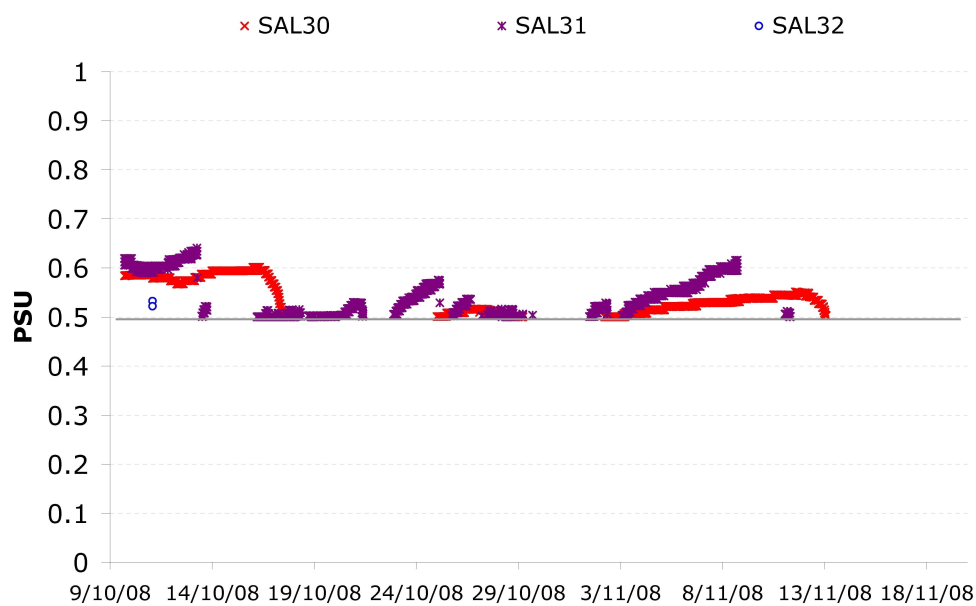
figuur 3-5: Saliniteitsvariatie in het Groot Schoor van Hamme (SAL33-37) en b) meetlocaties

3.2.4 Zoete zone met korte verblijftijd: Schor Appels en Nieuw Schor van Appels

De maxima in het saliniteitsverloop in 3 meetpunten in het Nieuw Schor van Appels en het nabijgelegen Schor van Appels schommelt rond 0.6 PSU wat vergelijkbaar is met de metingen van Groot schoor van Hamme. De hogere schormetpunten (SAL30-31) vertonen een relatief hogere saliniteit dan het pionierschor aan de overgang met slik (SAL32). Ook de frequentie aan overschreidingen van de 0.5 PSU-grenswaarde ligt bij de hogere schorren rond de 50% terwijl in het pionierschor het nagenoeg nihil is.

Tabel 5: Procentueel aandeel van de metingen op het Schor Appels en Nieuw Schor van Appels met een psu-waarde hoger dan 0,5.

	SAL 30	SAL 31	SAL 32
Aantal metingen	6492	5075	2
% boven 0.5PSU	65	50,8	0

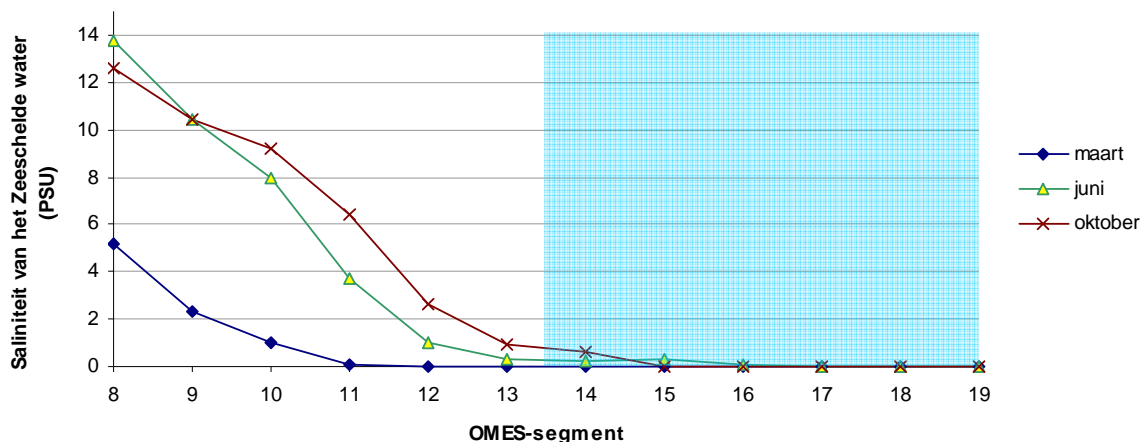


figuur 3-6: Saliniteitsvariatie op Schor van Appels (SAL30) en Nieuw Schor van Appels (SAL31-32)

3.2.5 Algemene discussie

De variatie in saliniteit vertoont grote verschillen tussen de verschillende saliniteitszones. Binnen de zoete zones is er nagenoeg geen variatie. Binnen één schorgebied verschillen de variatie en de saliniteit tussen komgrond en oeverwal, jonge en oude schordelen. Ook het seizoenaal effect verschilt naargelang de plaats in het schor.

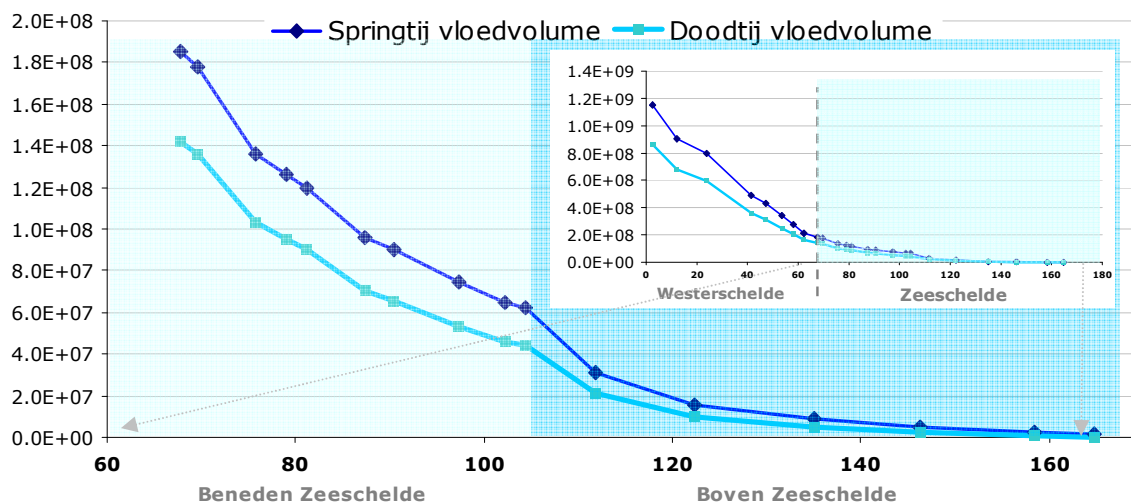
De algemene variatie langsheen de Schelde zoals af te leiden uit Tabel 2 en *figuur 3-7* vertoont een sterke daling tussen de grens en Burcht, gekend als zone met sterke saliniteitsgradiënt (Van Damme et al.1999).



figuur 3-7 Saliniteit in maart, juni en oktober van 2007 in de verschillende OMES-segmenten

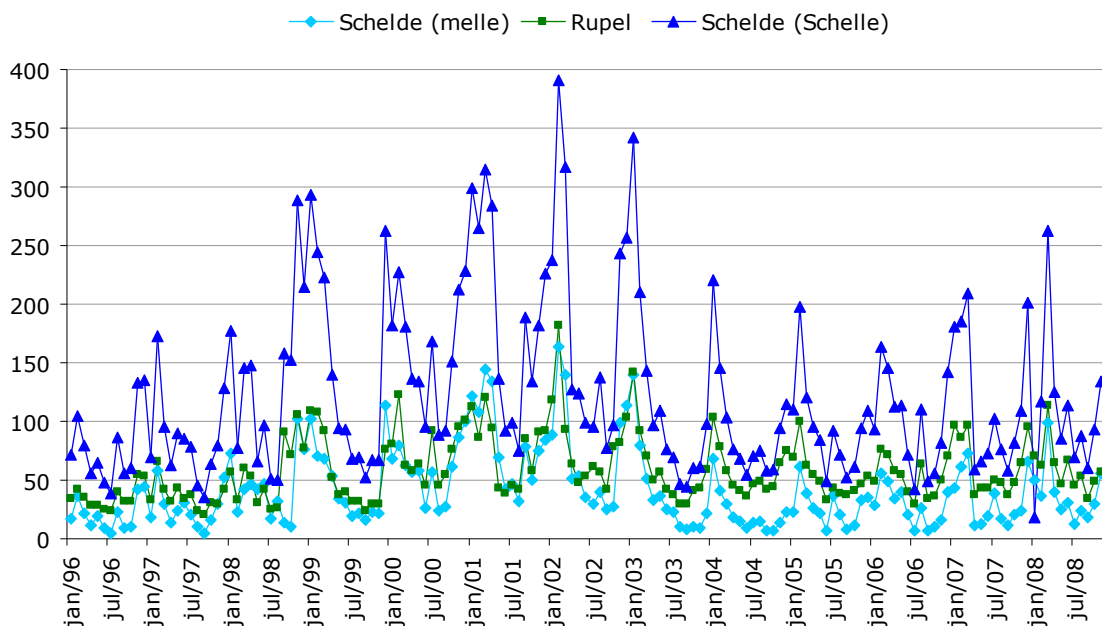
De sterke saliniteitsgradiënt is deels te verklaren door sterke daling van het vloedvolume (

figuur 3-8)



figuur 3-8: 2D-gemodelleerd Springtij en doodtij vloedvolume in de Zeeschelde (Maximova et al., 2009b)

Naast het vloedvolume en evapotranspiratie speelt ook de bovenafvoer een belangrijke rol in de saliniteitsgradiënt en -variatie in de oligohaliene zone. Het is te verwachten dat de saliniteitsvariatie verder doorheen het jaar verandert tussen Temse en Burcht. Tot ergens rond 2000 was de afvoer van het Rupelbekken in de zomer steeds groter dan die van de Bovenschelde, in de winter darentegen was het omgekeerde waar (Taverniers, 1998, data bron HIC). In de laatste jaren blijkt immers dat het gemiddelde debiet van het Rupelbekken over het hele jaar groter is dan dit afkomstig van het Scheldebekken (figuur 3-9).

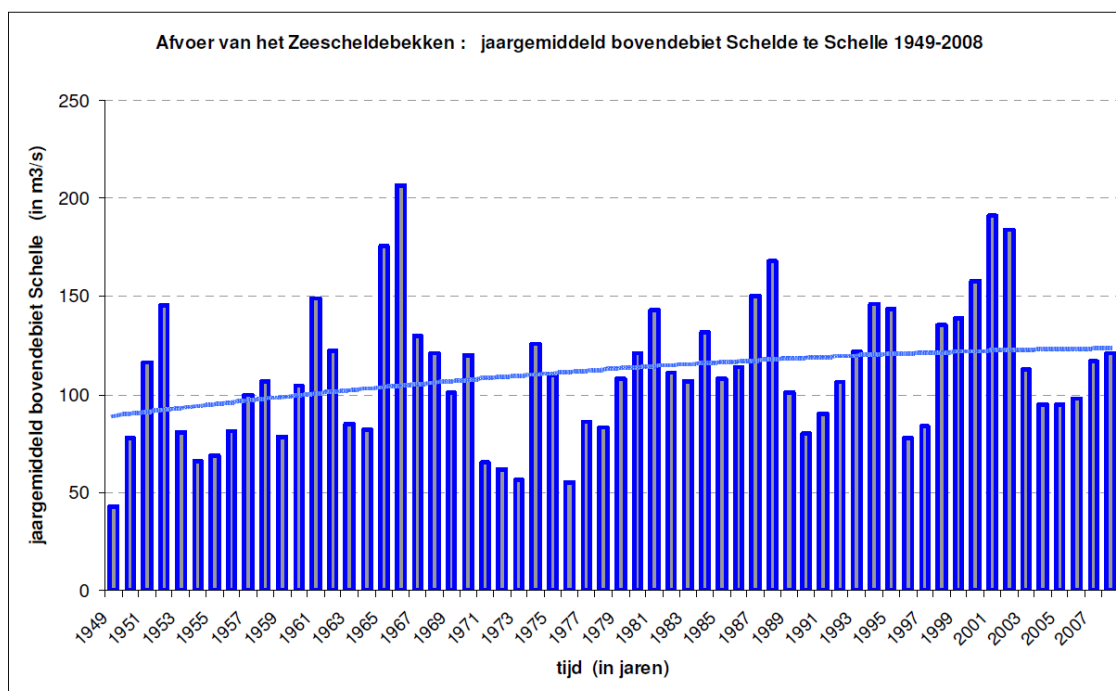


figuur 3-9: Maandgemiddelden voor de bovenafvoer van de Schelde te Schelle, Melle en de Rupel : 1995-2008 (bron HIC)

Hoe zat het in het verleden en wat mogen we verwachten in de toekomst?

In het Schelde-estuarium beïnvloeden ook menselijke activiteiten de gemiddelde saliniteit en de variatie hiervan. Door manipulaties in de debieten van de bovenafvoer van zowel de Leie als de Boven-Schelde is de gemiddelde zoetwaterafvoer te Schelle lager dan de natuurlijke bovenafvoer. De omvang van de piekdebieten zou wel vergelijkbaar gebleven zijn (zie hoofdstuk 5). Sedert 1950 is er een lichte globale stijging van de jaargemiddelde bovenafvoer (figuur 3-10).

Naast het water van de Rupel en de Schelde komt ook nog zoet Maaswater het estuarium binnen via het Albertkanaal (en de Antwerpse haven) en via het spuikanaal van Bath komt er zelfs Rijnwater in de Schelde. Deze variabele toevoer in de mesohaliene zone heeft zijn weerslag op de variatie in het zoutgehalte. Deze antropogene beïnvloeding van de saliniteitsgradiënt heeft onvermijdelijk zijn weerslag hebben op de vegetatiesamenstelling van de schorecotopen.



figuur 3-10: Jaargemiddelde bovenafvoer van de Schelde te Schelle: 1949-2008 (Taverniers & Mostaert, 2009).

Holland & Smit (1994) modelleerden dat het verloop van de saliniteitsgradiënt in de jaren '90 door al deze beïnvloedingen enerzijds vlakker zou worden. Anderzijds zouden de lokale schommelingen groter worden. In de omgeving van de Belgisch/Nederlandse grens zou de verhoogde zoutindringing in de Westerschelde gecompenseerd worden door de zoetwaterlozingen. Het gevolg is een uitbreiding van de polyhaliene zone ten koste van het mesohalien en het in elkaar drukken van de brakwaterzone. Verwacht werd dat de verdieping van de Westerschelde deze trends zal versterken (Van den Bergh et al., 1999). Dit blijft dus één van de belangrijke factoren die zorgvuldig moet opgevolgd worden!

3.3 Geomorfologie

3.3.1 Inleiding

Om bodemontwikkeling, overspoelings- en drainage regime beter te begrijpen is het nuttig om de evolutie van de geomorfologie in elk gebied zo veel als mogelijk te analyseren. Het geomorfologisch onderzoek in de focusgebieden is gebaseerd op oud kaartmateriaal en luchtfoto's aangevuld met veldwaarnemingen.

Voor elk van de focusgebieden wordt er ingegaan op de leeftijd van het schor, voormalig landgebruik veranderingen in oppervlakte, en de oorsprong en ontwikkeling van de krekken.

De betekenis van densiteit en vorm van kreeknetwerken voor het algemeen functioneren van een schorgebied is in de literatuur uitvoerig besproken. Krekken staan in voor verspreiding van water, sediment, nutriënten en propagulen in het schor, drainage en export van productie. Voor het ecologisch herstel van intergetijdengebieden wordt dan ook terecht veel aandacht besteed aan de optimale Ausgangssituatie voor de ontwikkeling van een goed functionerend krekennetwerk. (Allen, 2000; Boumans et al. 2002; French and Clifford 2000; Hood 2002; 2004; Sanderson et al. 2000; Van Oevelen et al., 2000; Williams et al., 2002,...)

Onderzoek naar kreekpatronen in een schorgebied kan inzichten opleveren in de geschiedenis van het landgebruik en de schorontwikkeling, maar ook in de veranderingen in hydrodynamische omstandigheden op het schor en in het estuarium (Allen, 2000). Schorkreken met een rechthoekig patroon ontstaan meestal uit een antropogeen grachtenstelsel op een voormalige akker; enkelvoudige rechte kreken in het slik wijzen op een relatief steile helling. Kreken met een hoge sinusiteit, waarbij de lengte van de kreek veel langer is dan de kortste weg, evolueerden meestal natuurlijk. Aanwezigheid van een kreekstelsel met hoge sinusiteit en vertakingsgraad wijst dikwijls op ontwikkeling met volledige en onbeperkte getij uitwisseling. De hoeveelheid water die bij elk getij wordt uitgewisseld bepaalt het volume van dergelijk kreekstelsel. Deze hoeveelheid is enerzijds gestuurd door de komberging van het te draineren/bevloeiende schorgebied en anderzijds door lokale hydrodynamiek en getij in het estuarium. Telkens één van beiden verandert zullen het getijvolume het volume van het kreeknetwerk naar een nieuw evenwicht evolueren. Bij toenemend volume zullen kreken verbreden en zich verder vertakken naar hogere orde kreken, bij verminderde getijuitwisseling zullen de kreken terug aan.

Kreekpatronen langs de Schelde zijn vaak sterk antropogeen beïnvloed. Enerzijds direct door het graven van drainagegrachten in perioden dat de schorren als landbouwgebied in gebruik waren, anderzijds indirect door beperking op de getij-uitwisseling en dynamiek als de schorrand en de kreektoegangen met breuksteen verdedigd zijn. Ook drainage van achterliggende polders door de schorren beïnvloedt de kenmerken van het kreekennetwerk. Tot het midden van de jaren 70 waren de meeste schorgebieden nog onder landbouwbeheer.

3.3.2 Methoden

Voor analyse van schorevolutie in de focusgebieden werden volgende luchtfotoreeksen gebruikt:

- Schor van Ouden Doel, zowel de Nederlandse als de Belgische kant: 1954, 1964, 1972, 1982, 1992 en 2003
- De Notelaer, reeks gecentreerd rond de grootste kreek (in het vervolg omschreven als de megakreek), en een reeks iets ten noorden van de megakreek: 1954, 1969, 1977, 1982, 1996 en 2004.
- Groot Schor van Hamme, meest stroomafwaartse gebied: 1944, 1955, 1960, 1971, 1975, 1982, 1990, 1996, 2004.
- Schor van Zele, buitenbocht: 1949, 1956, 1975, 1996, 2004.

Voor de studie van het *kreekpatroon* werden kreken gedigitaliseerd in ARCVIEW 9.2 op basis van de orthofoto's van april 2004, aangevuld met de orthofoto's van Doel-Boomke-Melsele, de orthofoto's van Oost-Vlaanderen uit 2006, en provincie Antwerpen 2007. Herkenning van kreken op orthofoto's is in de zoete zone met struweel en bosontwikkeling lastiger dan in het brakke deel. Met behulp van digitale hoogtemodellen, combinatie van verschillende luchtfotoreeksen, aangevuld met veldcontrole, werd het kreekpatroon zo goed mogelijk in kaart gebracht.

Kreekbreedtes zijn met behulp van een distometer (Leica A2) per 10 meter opgemeten. De meting gebeurde op 'grens tussen vegetatie en ondergrond'. Bij een holle oever betekent dit eveneens dat men de kreek meestal op het breedste punt meet. In Doel werden de monding en het eindpunt van de kreken met een GARMIN hand-gps ingemeten en vervolgens op orthofoto's aangeduid. In de Notelaer zijn de kreekmondingen met een RTK-GPS ingemeten.

Hoogteligging werd bepaald met een theodoliet (referentiepunten ingemeten met een RTK-GPS) en door een TRIMBLE RTK-GPS.

3.3.3 Mesohaliene zone: Schor van Ouden Doel

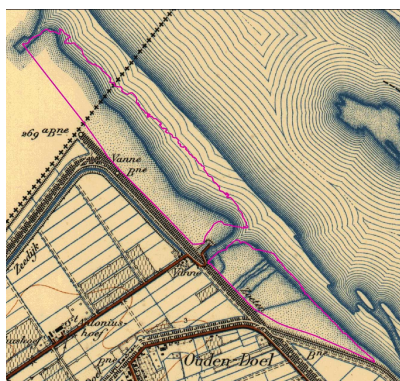
3.3.3.1 Algemene oppervlakte evolutie

Het Schor van Ouden Doel is een brakwaterschor op de Nederlands-Belgische grens. Het gebied maakte met de Hertogin Hedwigepolder en Prosperpolder tot halweg 19^e eeuw deel uit van een uitgestrekt slik- en schorgebied. Het schor was een uitgestrekte graasweide. Een groot deel van het huidige schor van Ouden Doel was toen slik en toegangskreek tot dit schor (figuur 3-11a). In 1846-47 werd de Prosperpolder ingepolderd; de Hedwigepolder volgde in 1904-1907 (figuur 3-11b, De Hedwigepolder in NL is niet weergegeven als ingepolderd weergegeven). Rond 1894-1889 werd in het zuiden van het gebied ook het Paardenschor van een zomerdijk voorzien (figuur 3-11b).

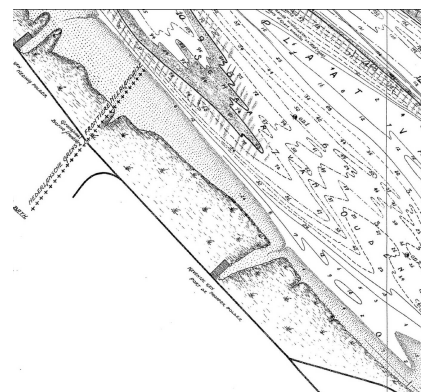
A voor **1850**



B **1928**



C **1936**



figuur 3-11: Lange termijn evolutie van het Schor van Ouden Doel tussen 1850 en 1936.

Tot het begin van de 20^e eeuw reikte het ontwikkelende slikgebied slechts tot de helft van de huidige schorbreedte. Door aanslibbing is de slikplaat van Ouden Doel steeds breder geworden en kwam er een periode van pionierschorontwikkeling (figuur 3-11c). De vegetatiekaarten (Leemans & Verspaandonck 1980) geven aan dat het gebied tegen 1935/36 tot lage schorhoogte is opgeslibd met reeds een komgrond-oeverwal structuur zonder begrazing. De komgronden herbergden nog vooral pioniersoorten zoals Engels slijkgras en Zeebies terwijl de oeverwallen reeds door Strandkweek maar vooral Spiesmelde werden gedomineerd.

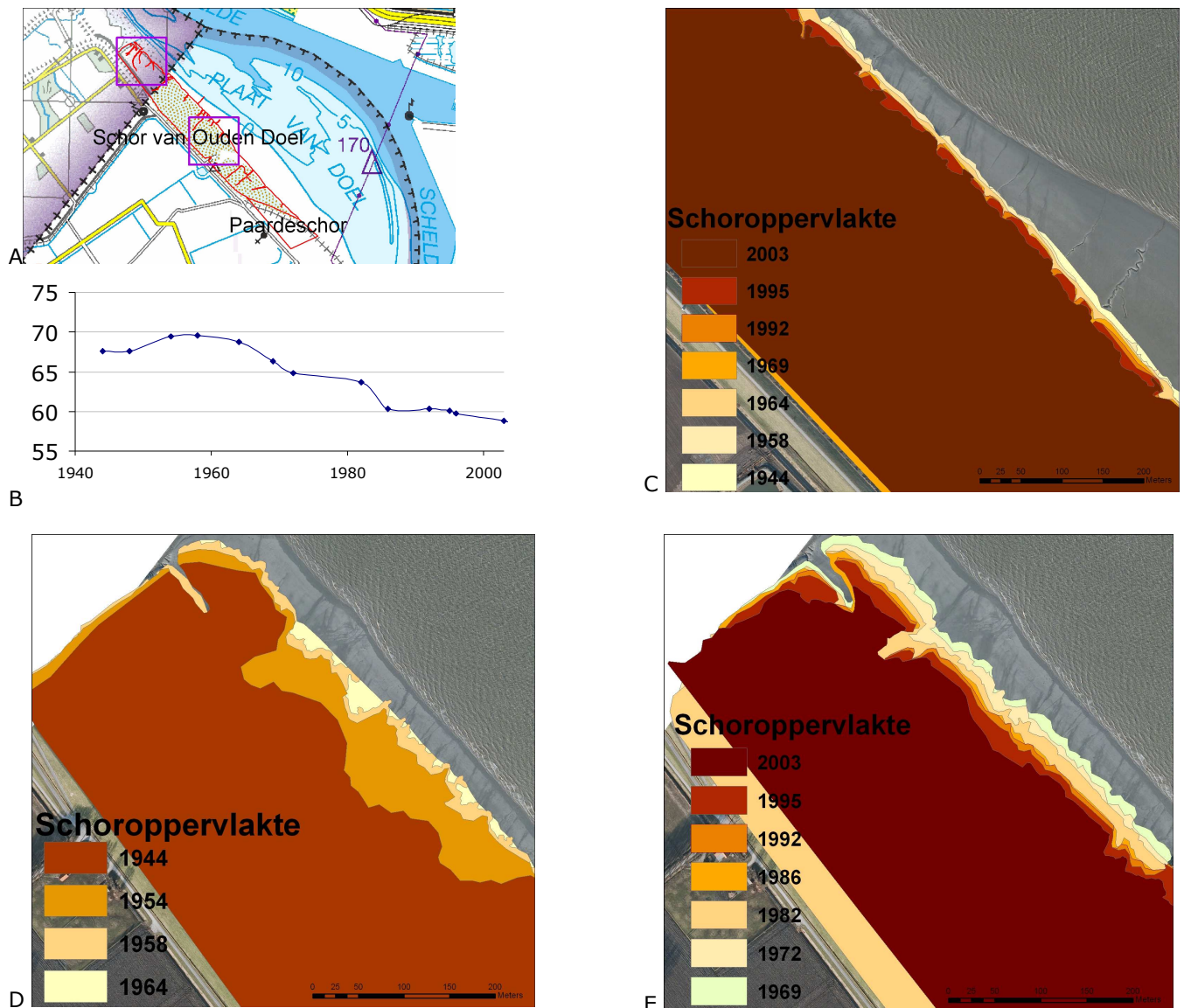
Op de kaart van 1957 heeft het schor ongeveer dezelfde vorm en afmetingen als nu. De totale schoroppervlakte in 1958 bedroeg 69,5 ha tegenover de huidige oppervlakte van 58 ha. Tussen 1958 -1964 werd het schordeel stroomopwaarts het haventje van de Prosperpolder met breuksteenbestorting verdedigd. In het deel stroomafwaarts van het haventje gebeurde dit pas tussen 1966 en 1969. Het schor bestond grotendeels uit begraasd zilt grasland met één rietveldje, enkele lage kommen met Engels slijkgras en lage oeverwallen met Gewoon kweldergras en Spiesmelde.

Tussen 1964 en 1969 daalde de oppervlakte door de uitbreiding van het haventje van de Prosperpolder (figuur 3-12). Rond de periode 1971 werd het gebied zeer intensief beweid door runderen en paarden. De vegetatie bestond voor het grootste deel uit zilt grasland met enkele rietvelden naast kommen met Zeebies en oeverwallen met Strandkweek.

Na de bouw van de kerncentrale te Doel rond 1975 is de begrazing op het schor achterwege gebleven (Mond. Med. Jean Mabe). De sterkere differentiatie in kom- en oeverwalgerelateerde patronen van de vegetatie in de jaren '80 bevestigt dit. Delen van de dichte rietpopulaties werden echter wel gemaaid in de winter (Vanallemeersch et al., 2000). Vanaf 1999 is plaatselijke seizoensbegrazing door runderen (~2 GVE/ha) de beheermaatregel.

Naast het landgebruik werd er ook direct ingegrepen in de schorstructuur; er werden drainagegrachten aangelegd, bestaande kreken rechtgetrokken en de schorrand in het Vlaamse deel werd beschermd met breuksteen. Deze ingrepen, uitgevoerd in 1964-1975 beïnvloedden nog steeds de morfologische processen, drainage en vegetatieontwikkeling in het schor.

Er werd voor de analyse gefocust op 2 deelgebieden van het schor Ouden (figuur 3-12a): een noordelijk Nederlands deelgebied waar geen oeverbescherming aanwezig is en een zuidelijker Vlaams deelgebied waar oeverbescherming het schor begrenst.



figuur 3-12: Oppervlakte evolutie van het Schor van Ouden Doel tussen 1936-2003. a) situering en b) oppervlakteevolutie (ha) in Schor van Ouden Doel, c) schorafslag in het Vlaams deelgebied, d) schoraangroei en e) schorafslag van het Nederlands deelgebied

Het Nederlandse deelgebied vertoont een periode van schoraangroei tussen 1944 en 1964 gevolgd door een periode van schorafslag (figuur 3-12 d&e). Tussen 1982-86 verdween een landwaartse strook van het noordelijk Nederlandse deel van het schor Van Ouden Doel onder de verbreding en verhoging van de dijk. In het Vlaamse gedeelte lag de schorrand min of meer vast na de breuksteenbestorting en veranderde er weinig aan de oppervlakte sinds 1944 (figuur 3-12c).

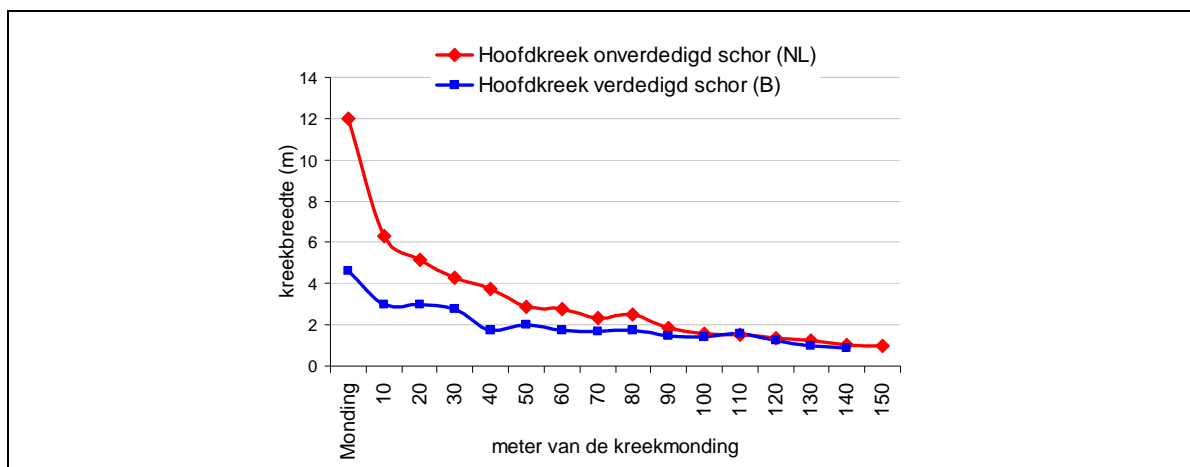
3.3.3.2 Kreekpatronen

Kreekpatronen op het schor van Ouden Doel zijn antropogeen beïnvloed. Het gebied was tot in 1975 begraasd. Om het begrazingsbeheer tot later op het seizoen te kunnen laten doorgaan werden drainagegrachten gegraven, al dan niet aansluitend op aanwezige kreken. In te natte omstandigheden zou het grasland immers te veel vertrappeld worden door het vee. De dichtheid van aangelegde grachten is hoger aan Vlaamse zijde dan aan Nederlandse zijde. De uitgegraven grachten zijn van eerste orde en voeren rechtstreeks naar de geul (figuur 3-13).

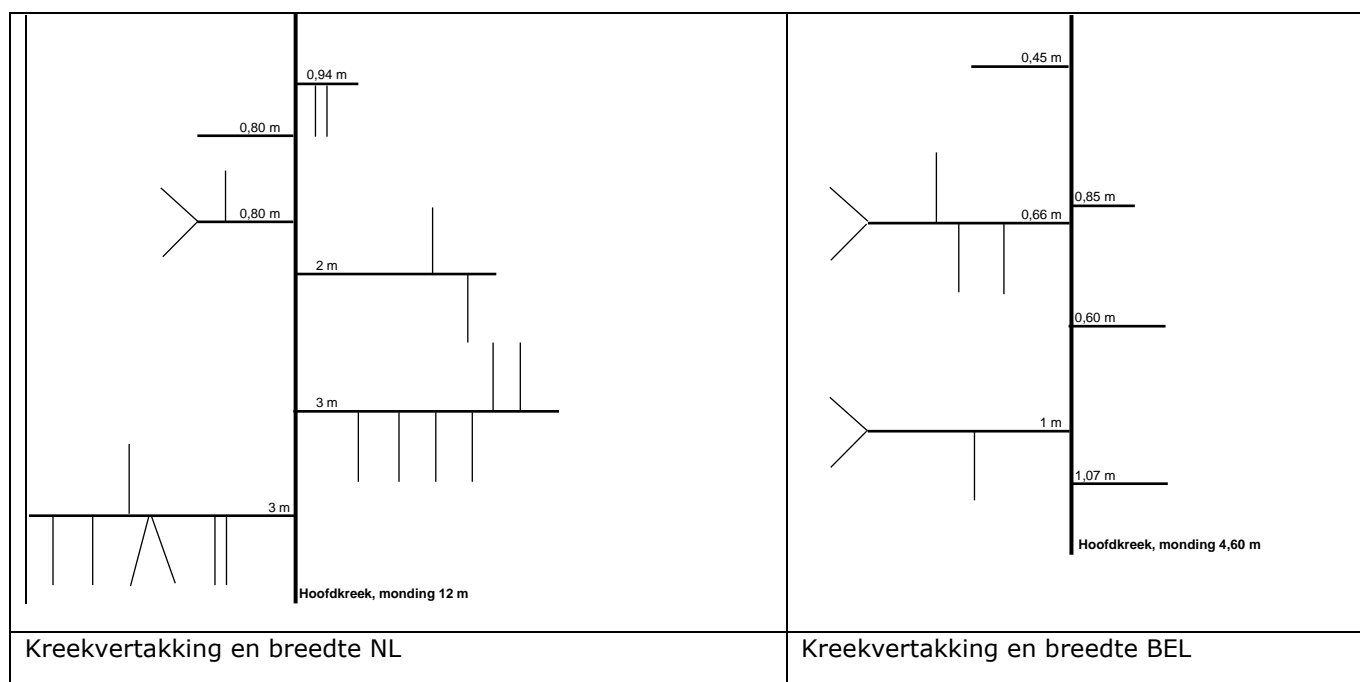


figuur 3-13: Kreekontwikkeling en oorsprong- natuurlijk of antropogeen, in de mesohaliene zone bij Schor Ouden Doel.

Niet alleen de sinuositeit van de kreken verschilt tussen het Nederlandse en het Belgische focusgebied maar ook de twee factoren die het volume van het kreeknetwerk bepalen: de kreekbreedte en vertakkingsgraad. In het Nederlandse onverdedigde schorgedeelte zijn de hoofdkreken breder. Vooral de eerste 80m vanaf de monding is dit opvallend (figuur 3-14). Daarnaast zijn er meer kreken van hogere orde ontwikkeld (figuur 3-15). Daartegenover staat dat het totaal aantal hoofdkreken (natuurlijk plus drainage grachten) in het Belgische gedeelte groter is (figuur 3-13).



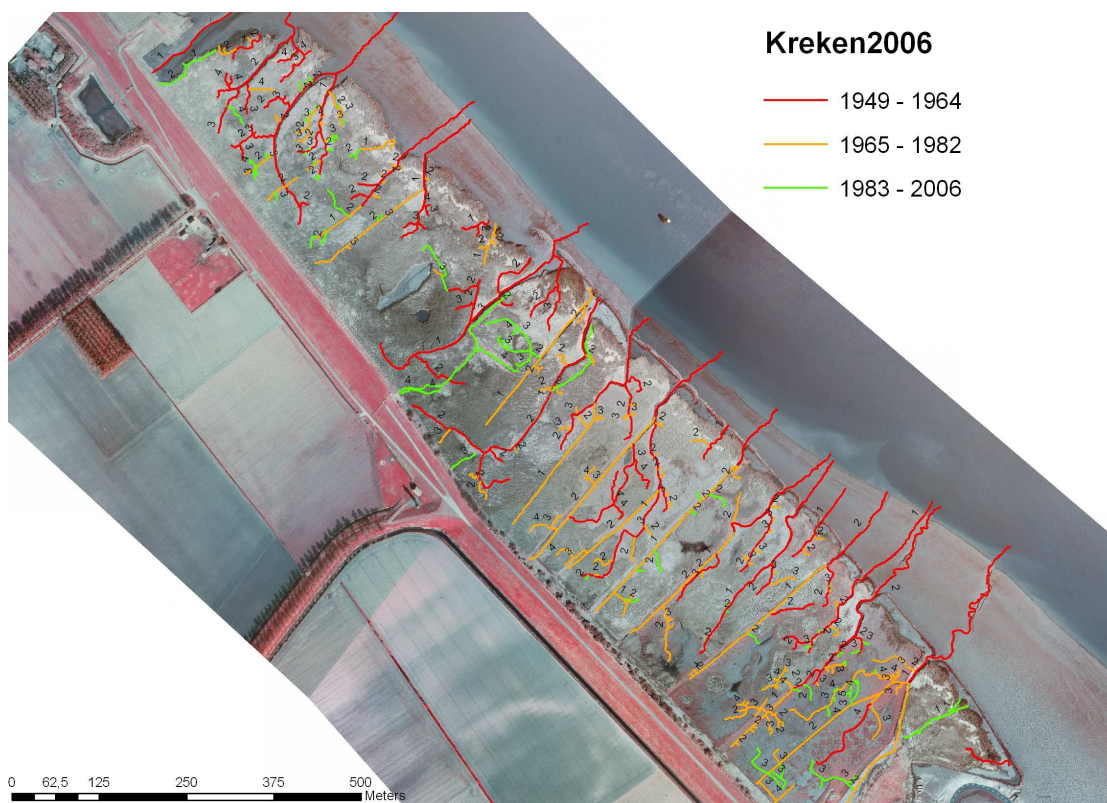
figuur 3-14: Kreekbreedte in functie van de afstand tot de kreekmonding. De figuur toont het verschil aan tussen een onverdedigde (NL) en een verdedigde schorrand (BE).



figuur 3-15: Vertakkingsgraad en breedte van krekken aan de (a) Nederlandse en (b) Belgische kant van Schor van Ouden Doel.

3.3.3.3 Kreekontwikkeling

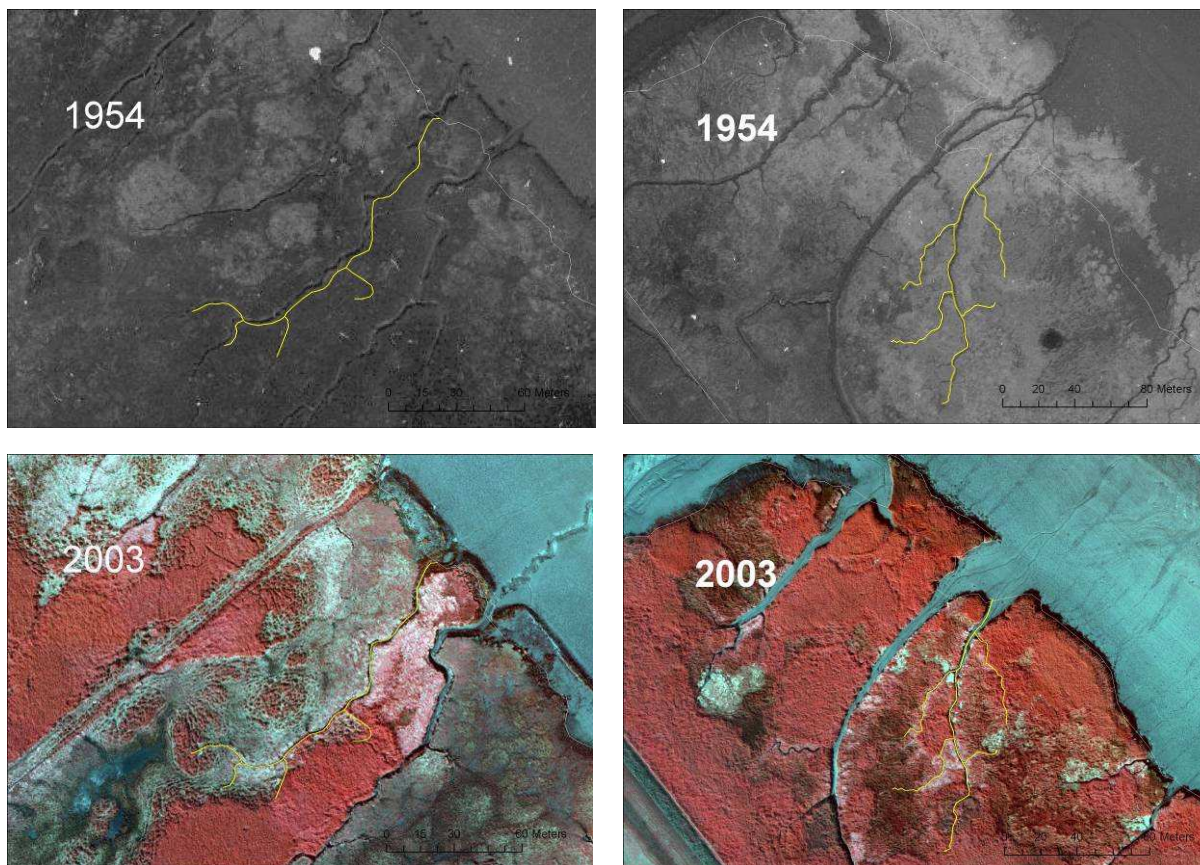
Bij het karteren van de krekken werd eveneens genoteerd wanneer een kreek of zijkreek voor het eerst op een luchtfoto kon waargenomen worden. Op deze manier worden de krekken opgedeeld in krekken die al op de luchtfoto's tot 1964 te zien waren (rood), krekken die zijn ontstaan in de periode toen de landbouwactiviteiten intensiever waren (1964-1982), en krekken die ontstonden na 1982 toen het schor weer onbeheerd was (figuur 3-16). Er zijn de originele natuurlijke krekken, aangevuld met antropogene drainagegrachten. Nadat het gebied werd verlaten door de landbouwers zijn er, vooral in het noordelijke Nederlandse deel nog een aantal natuurlijke krekken van hogere orde bijgekomen. De gegraven drainagegrachten aan Vlaamse zijde blijven de functie van kreek van 1^e orde behouden en ze blijven recht, aanwezigheid van deze antropogene structuren verhindert de ontwikkeling van natuurlijke dendritische kreekssystemen met hogere sinuositeit. Aangezien de drainagedichtheid hier hoog was komen ontwikkelen zich ook weinig kreekjes van hogere orde.



figuur 3-16: De kreken volgens hun ouderdom

Bovendien verbreedden ook de kreekmondingen aan de Nederlandse kant. (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Aan de Vlaamse zijde is verandering van het kreekpatroon beperkter gebleven na 1982; de dimensies van de kreekmondingen bleven dezelfde en er ontwikkelden relatief minder nieuwe kreekjes van hogere orde. Samengevat nam aan de Nederlandse zijde het kreekvolume veel meer toe dan aan de Belgische zijde van het Schor van Ouden Doel.

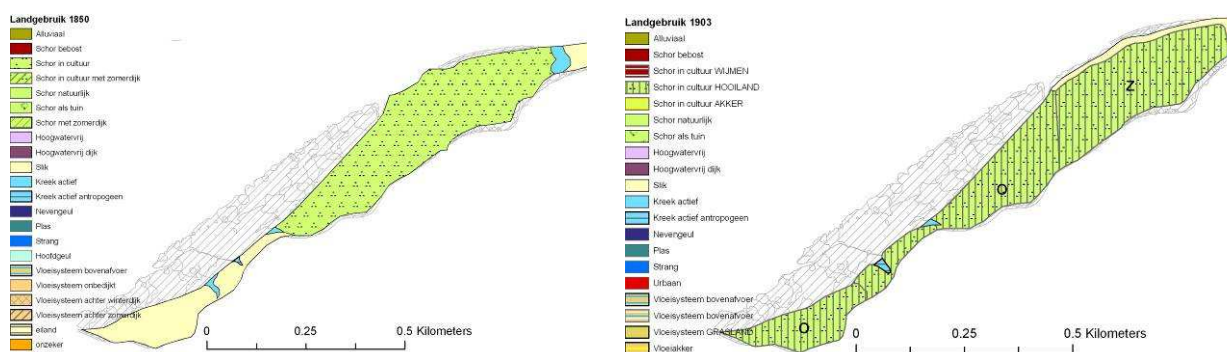
Zoals hoger vermeld verandert het kreekvolume in een natuurlijk ontwikkelend schor met het volume water dat ieder getij uitgewisseld wordt. Zowel komberging als getijdynamiek bepalen dit evenwicht. De komberging of schoroppervlakte nam aan Nederlandse zijde af, onder andere door de dijkwerken. De toegenomen getijdynamiek is dus verantwoordelijk voor de waargenomen evolutie van het kreeknetwerk. Eventuele toegenomen afwatering van de polder ter hoogte van de poldergracht zou eveneens de kreken verbreden. De komberging van het schor aan de Belgische zijde veranderde niet, maar het schor was onderhevig aan dezelfde toename van de hydrodynamiek. Nochtans evolueerde het kreeknetwerk nauwelijks. Het schor evolueerde niet echt natuurlijk. De breuksteenbestorting die aangebracht werd aan de schorrand en kreekmondingen (tussen '58-'64: stroomopwaarts het haventje, '66-'69: noordelijk deel) legt de kreekmondingen vast en verhindert eventuele erosie. Ze is aldus beperkend voor getij uitwisselingsvolume van het water. Anderzijds was de drainagecapaciteit onnatuurlijk hoog door de vele afwateringsgrachten. Beide antropogene aspecten hebben waarschijnlijk hun deel aan het feit dat de kreken niet verbreedden en dat er geen hogere orde kreekjes meer ontstonden.



figuur 3-17: Luchtfoto's van Schor van Ouden Doel, jaartal 1954 en 2003. Links het Vlaamse onderzoeksgebied, rechts het Nederlandse onderzoeksgebied.

3.3.4 Oligohaliene zone: schor van de Notelaer

3.3.4.1 Algemene oppervlakte evolutie

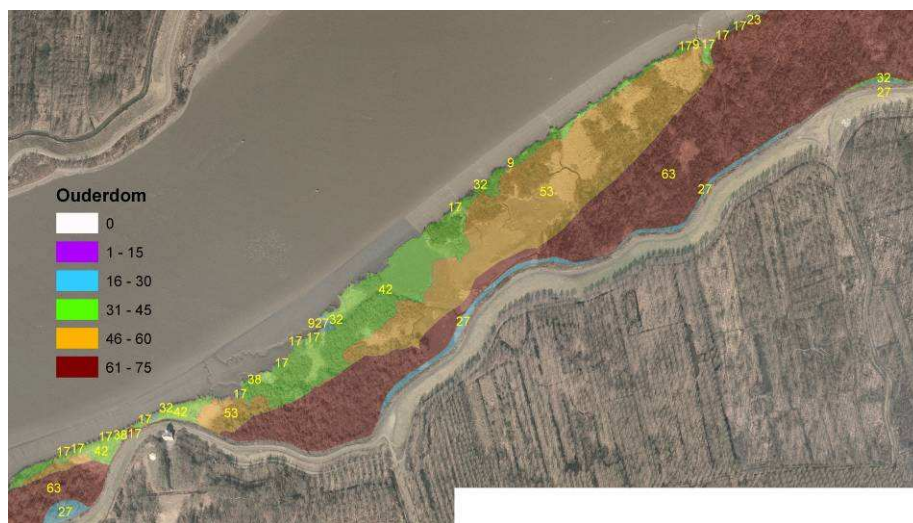


figuur 3-18: Landgebruik op de Notelaer. Gegevens op basis van het gereduceerd kadaster (1850) en DG2 (1903)

Grote delen van het schor van de Notelaer zijn van redelijk recente datum. In 1850 (Vandermaelen) was het noordoostelijke gebied een niet bedijkte weide en was het zuidwestelijke gebied nog volledig slik (figuur 3-18). In 1903 was ook het zuidelijke deel

begroeid en was het volledige schor in cultuur als onbedijkt hooiland. Een belangrijk deel van het huidige schor was toen echter nog onbegroeid slik. Op basis hiervan kunnen twee delen onderscheiden worden in het oude schor: Een noordoostelijke oudste deel dat minstens 150 jaar oud is en 100 jaar landbouwgebied is geweest en een zuidwestelijke deel dat minstens 100 jaar oud is. Een zomerdijk beschermt het Molenbroek, het meest noordelijke deel van de Notelaer, daar waar nu de breuksteenverdediging is.

De aangroei van het schor na 1950 is weergegeven op figuur 3-19. Het slik stroomafwaarts het jachtpaviljoen ontwikkelde zich langzaam tot schor, een proces dat tot begin jaren 90 duurde. Vergelijking van de vegetatiekaarten van 1992 en 2003 leert dat het proces zich sindsdien niet meer verder zette, maar dat de vegetatie deels naar volgende successiestadia evolueerde en dat er eerder beperkte schorafslag aan de rand waargenomen wordt (Van Braeckel et al, 2006).



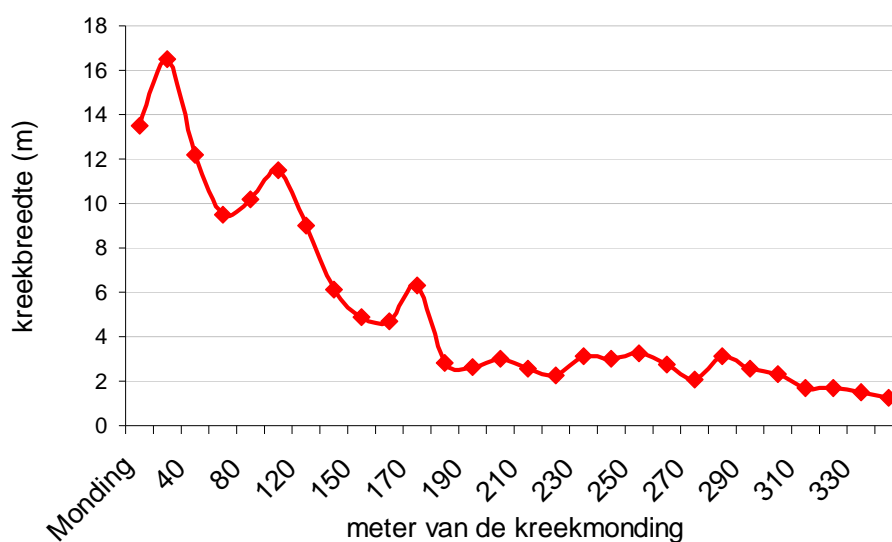
figuur 3-19: Ouderdom van de huidige schordeelgebieden op de Notelaer. De ouderdom is geschat op basis van een reeks luchtfoto's.. De exacte ouderdom is met geel becijferd op de kaart. Aan de voet van de dijk is bij de dijkverhoging een strook schor vernietigd, wat de jonge leeftijd van deze strook verklaart..

3.3.4.2 Kreekpatronen

Het jongste deel van de Notelaer is pas een vijftigtal jaar oud en kende weinig of geen antropogene invloed op de drainagestructuur. Het krekensysteem ontstond er samen met het schor en heeft een natuurlijke sinuositeit en dendritische structuur. Op het oude schorgebied werden op regelmatige afstand kleinere drainagegreppels aangelegd toen ze als hooiland in gebruik waren. Met het wegvallen van de landbouwactiviteiten slibten deze greppels grotendeels terug dicht. Antropogene 'kreekstructuren' op het schor van de Notelaer zijn de polderafwateringen en dijksloten met als belangrijkste de grote 'megakreek' die voor de afwatering van de Schellandpolder instond. Het afvoervolume van deze kreek staat niet alleen in verhouding tot de oppervlakte schor die ze doorkruist maar ook tot de oppervlakte polder die ze daar bovenop draineert, vandaar de grote afmetingen en het redelijk rechte verloop (figuur 3-20; figuur 3-21).



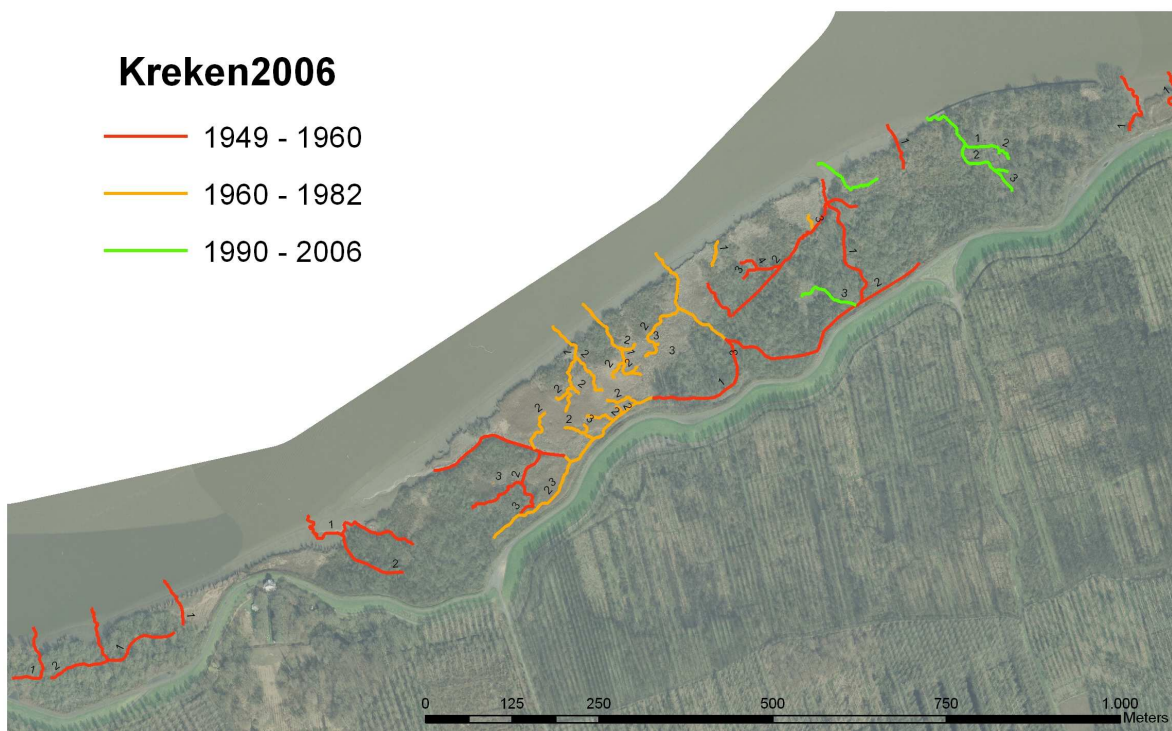
figuur 3-20: Kreekontwikkeling en oorsprong in de Oligohaliene zone; schor van de Notelaer



figuur 3-21: Kreekbreedte in functie van de afstand van de kreekmonding op schor van de Notelaer. De kreek werd opgemeten in de winter van 2009.

3.3.4.3 Kreekontwikkeling

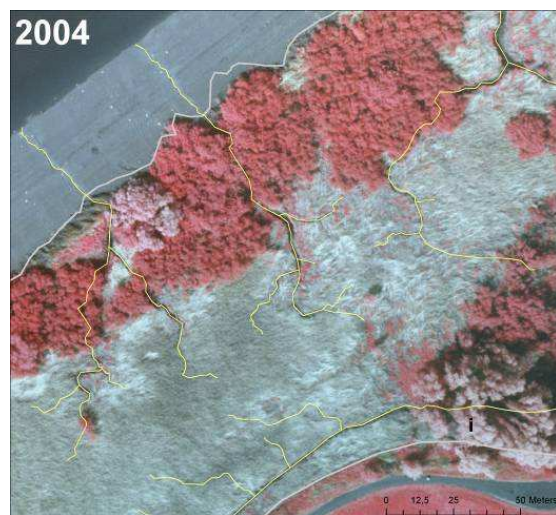
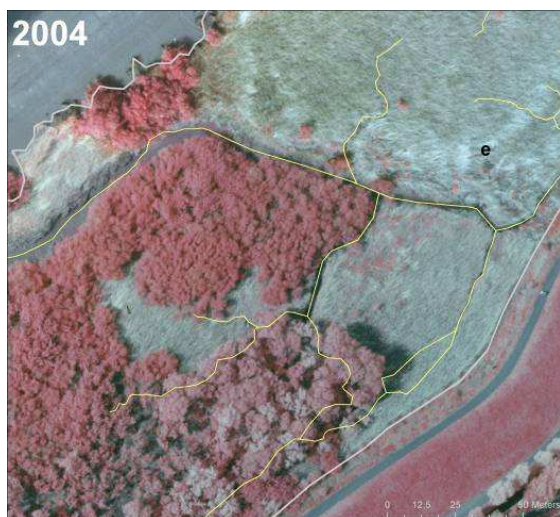
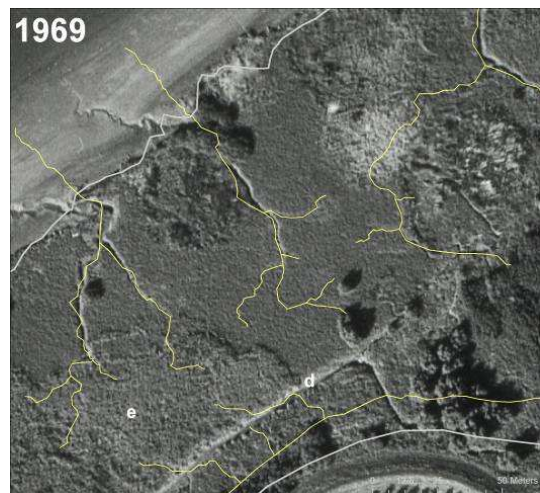
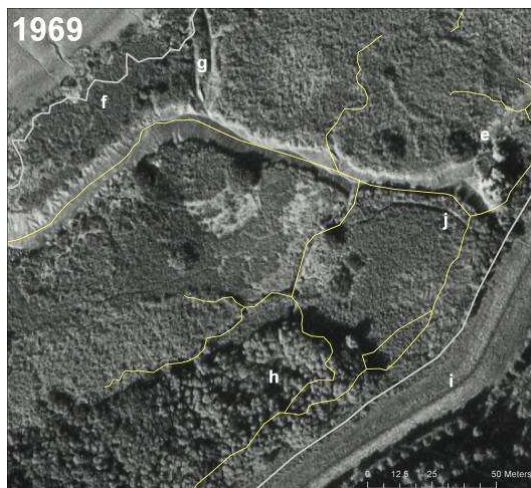
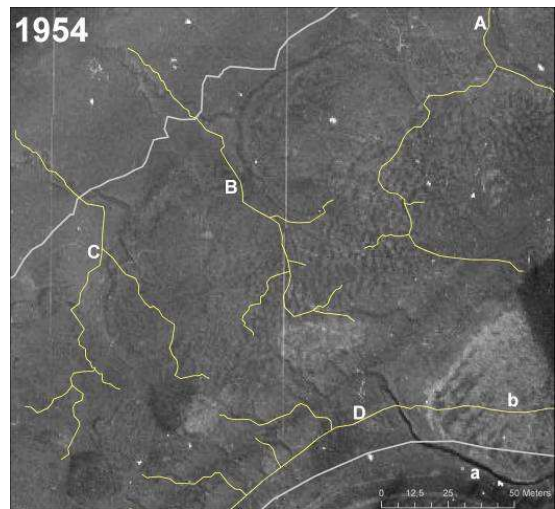
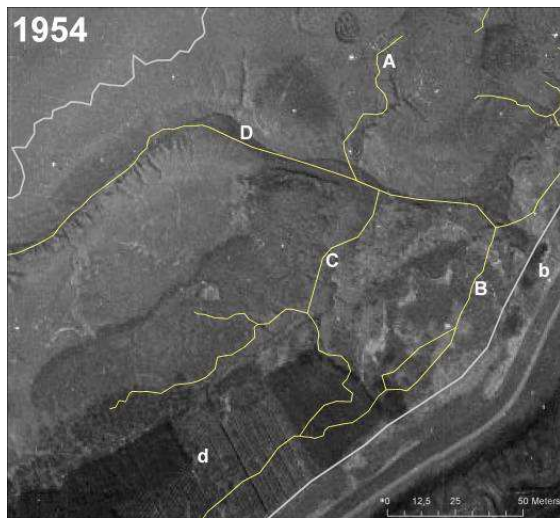
De kreken van eerste orde op de Notelaer ontwikkelden zich in dezelfde volgorde als de schorgebieden. De schorkreken van eerste orde bleven die functie behouden en veranderden ook weinig in respons op veranderende hydromorfologie. Kreken van hogere orde kunnen ook later en in een andere sequentie ontstaan of verdwijnen in respons op veranderende hydromorfologie (Figuur 3-22).



Figuur 3-22: Ouderdom van kreken op de Notelaer

De evolutie van het kreeknetwerk in de Notelaer werd meer in detail geanalyseerd in de buurt van de megakreek en in de buurt van het nieuwe relatief recent ontwikkelde schor (figuur 3-23):

- De megakreek heeft uitzonderlijk grote dimensies, en vertoonde die al op de foto van 1954, toen het schor van de Notelaer in volle uitbreiding was. Deze grote dimensies waren het resultaat van de drainagefunctie van de achterliggende Schellandpolder. Voorbij de uitwateringssluis liep de kreek nog verder in NO richting langs de dijk om daar ook het schor in landbouwgebruik te ontwateren. Met de Sigmadijkwerken (1977) is de sluis verplaatst naar het noorden van het gebied. Het drainage oppervlak van de kreek is hierdoor verkleind en gaandeweg slibte ze aan en werden de dimensies kleiner. Aan de ligging van de kreek veranderde niets in de loop van meer dan 50 jaar.
- Het gebied ten zuidwesten van de megakreek was in 1954 in landbouwgebruik als hooiland. Er was een dichte greppelstructuur aangebracht die afwaterde naar een zijkreek van de megakreek (c). Deze greppelstructuur is vandaag verdwenen omdat hij niet onderhouden werd; omdat het volume te groot was in relatie tot de huidige komberging van het gebied slibten de greppels grotendeels dicht. Antropogene hoofdkreken zoals op schor Ouden Doel blijven dus die functie behouden; antropogene kreekjes van hogere orde zoals hier daarentegen verdwijnen eventueel indien ze niet onderhouden worden.
- In alle perioden zijn er kreken en kreekjes van hogere orde die zich ontwikkelen op het slik en tussen de pioniervegetatie. Sommige hiervan verdwijnen, andere ontwikkelen zich verder. Zolang er geen hogere vegetatie was wijzigden ligging en vorm nog. De afwateringskreken die in 1969 op het slik voor het nieuw ontwikkelend schor lagen veranderden later niet alleen van ligging maar ook de sinuositeit verdween. Dit laatste wijst op een grotere dynamiek, die verschillende oorzaken kan hebben: versteiling van het slik, groter verhang, groter afvoerdebiet,... Eéns er hogere planten op het schor zijn ligt de ligging van de kreken echter vast en schuren ze hoogstens nog uit of slibben ze dicht in respons op wijzigende hydrodynamiek.

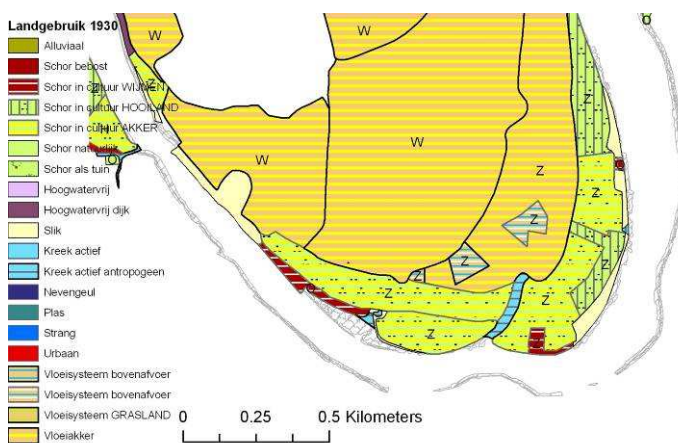


figuur 3-23: Luchtfoto's van Notelaer jaartal 1954, 1969 en 2004. Links omgeving megakreek, rechts gebied met schoraangroei (ligt net ten noordoosten van het megakreekgebied). De lichtgele lijnen geven de huidige schorkreken weer, de witte lijn is de huidige schorrand.

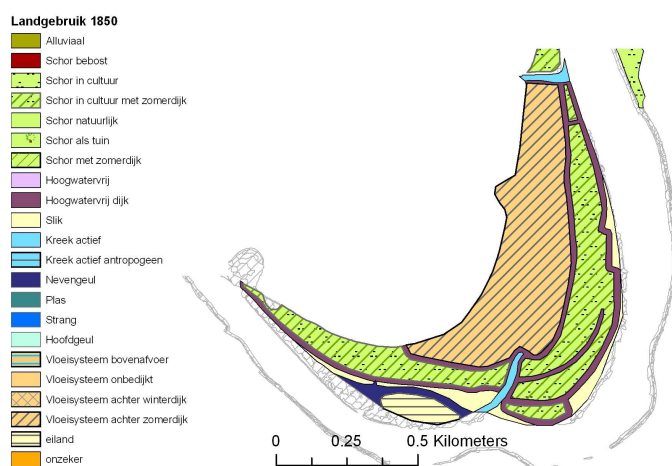
3.3.5 Zoete Zone met lange verblijftijd: Groot Schoor van Hamme

3.3.5.1 Algemene oppervlakte ontwikkeling.

Reeds aan het einde van de 18^e eeuw had Het Groot Schoor van Hamme haast zijn huidige vorm bereikt. Het was toen al in gebruik als vloeiveiden, omgeven door met bomen beplante zomerdijkjes (Vanallemeersch et al, 2000). In het zuidwesten was er nog een plaat. De kaart van 1850 geeft een zeer gelijkaardig beeld (

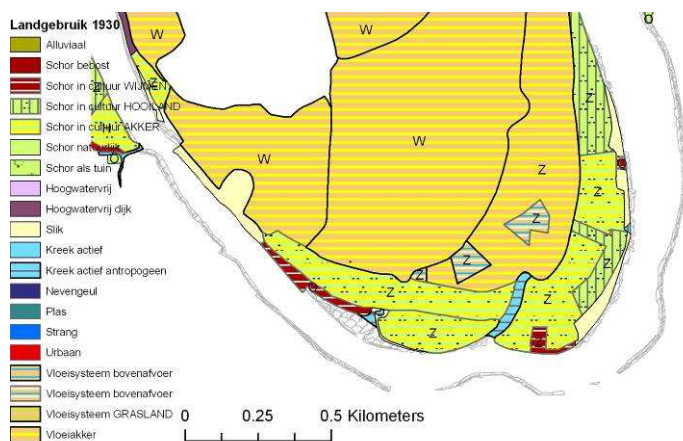


).

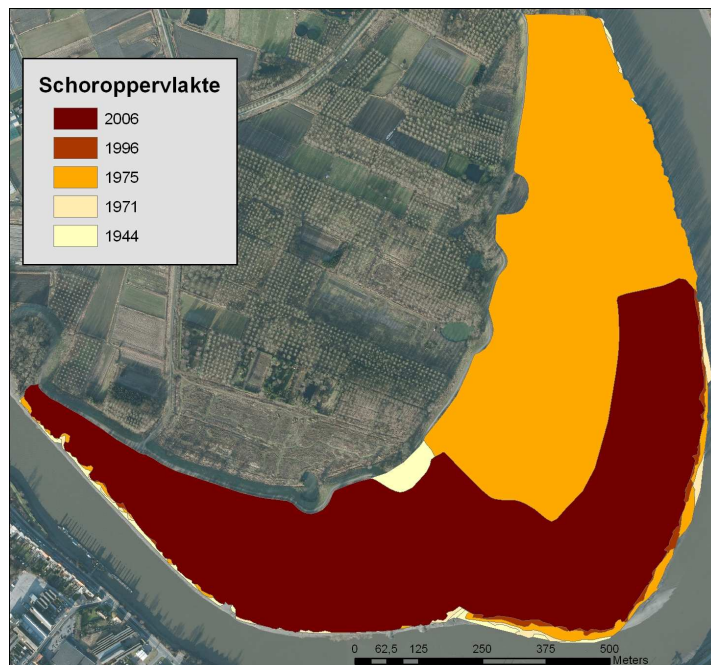


figuur 3-24.: Landgebruik op Groot Schoor van Hamme. Gegevens op basis van topografisch kaart uit 1850

Rond de eeuwwisseling is ook de plaat omgezet in hooiland en in verbinding met het schor. Tegen 1930 is heel veel omgezet in akkerland en verspreid komen percelen wijmenteelt voor. Het schor groeit na 1930 nog zeer beperkt rivierwaarts uit (figuur 3-25).



figuur 3-25: Landgebruik op Groot Schoor van Hamme. Gegevens op basis van topografisch kaart uit 1930.



figuur 3-26: Schoroppervlakte aan het Groot Schoor van Hamme sinds 1944.

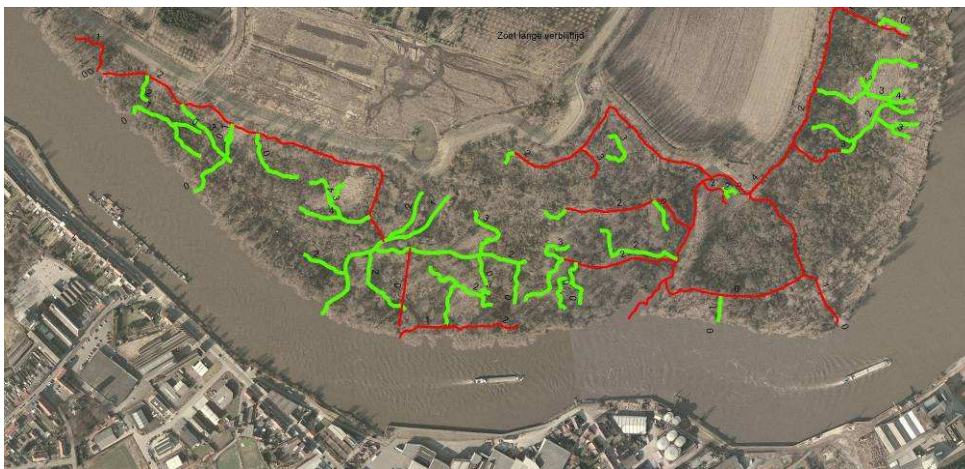
De landbouw wordt in de tweede helft van de twintigste eeuw gaandeweg verwaarloosd. Hier en der worden Canadapopulieren aangeplant voor houtproductie. Tegen de eerste helft van de jaren 70 is ook die verwaarloosd, de zomerdijkjes en drainagestructuren worden niet meer onderhouden en het volledige gebied kan naar schor evolueren (figuur 3-26). Kleine oppervlakte verliezen landwaarts van het schor worden veroorzaakt door de constructie van kraagdijken na een dijkbreuk. Het noordelijk deel wordt eind jaren 70 terug ingepolderd en ingericht als één van de eerste GOG's voor het eerste Sigmapijn waarna tot maïsakker omgevormd werd. Ontpoldering van dit gebied één van de projecten van het geactualiseerde Sigmapijn. Vrij snel komt het terug in akkerbouw. Na een periode van aangroei aan de schorrand wordt nu beperkte erosie waargenomen. Deze gaat gepaard met het vormen van schorkliffen. Halfweg de jaren '90 wordt de schorrand verdedigd met slijbakken van perkoenpalen en wilgenteenbussels.

3.3.5.2 Kreekpatronen

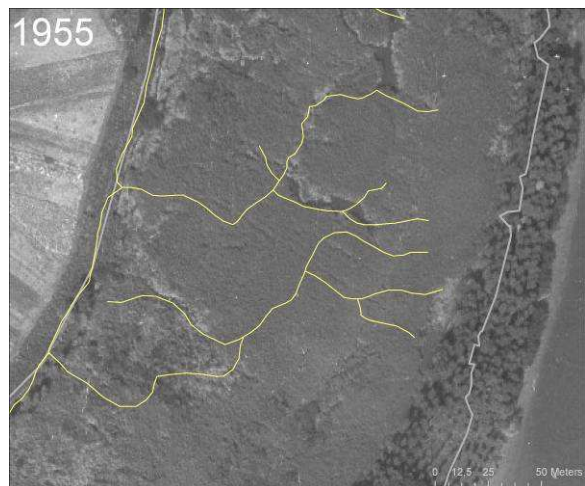
Tot halweg de 20^e eeuw was het volledige gebied in landbouwgebruik en was er een volledig antropogeen drainagesysteem. Het gebied waterde grotendeels af naar de dijksloot onderaan de winterdijk, die samenkwamen aan de uitwatering van het huidige GOG en van daar naar de Zeeschelde liep (figuur 3-27). De oorspronkelijke drainagegrachten zijn de basis van het huidige kreekennetwerk. De vroegere dijksloot en afwatering functioneren nog steeds als kreek van eerste orde. Een groot deel van het schor heeft dan ook een 'omgekeerde' afwatering naar de binnendijk toe en vandaar langs de grote kreek naar de Schelde. Aan de rivierzijde ligt nog steeds de zomerdijk met bomen. De zijkreeken vinden hier en daar hun oorsprong in de vroegere drainagegrachten. Daaraan ontwikkelden zich verder ook kreeken en kreekjes van hogere orde.

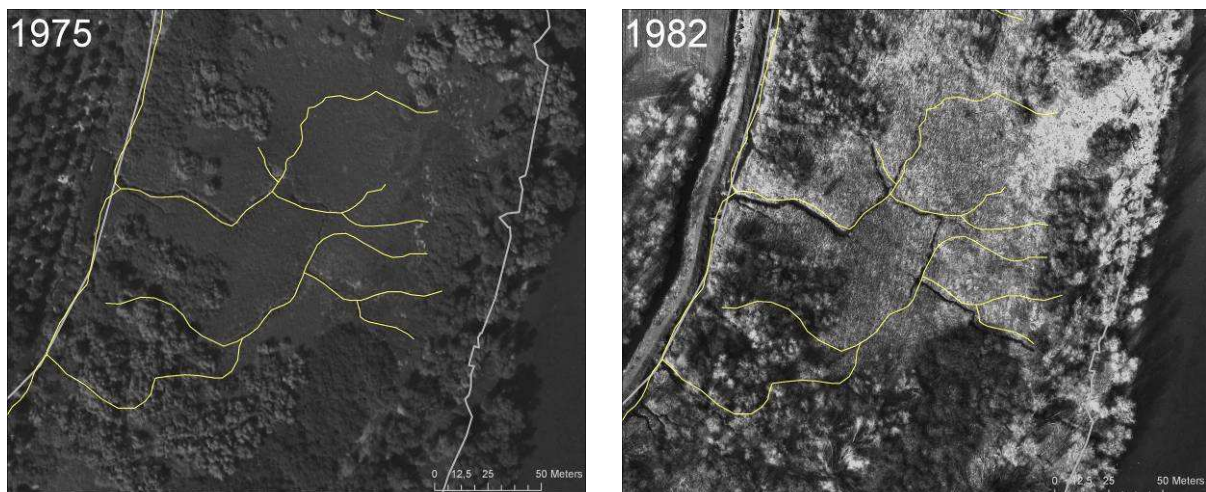
3.3.5.3 Kreekontwikkeling

Na het staken van de landbouwactiviteiten, kort na de Tweede Wereldoorlog evolueerde het schor vrij snel. Zo was het oostelijk deel in 1944 bijna helemaal cultuurlandschap.



figuur 3-27: Zoete zone met lange verblijftijd: Groot schoor van Hamme en haar kreekensysteem; zowel de antropogene (rood) als de natuurlijke kreeken (groen).





figuur 3-28 Luchtfoto's van Groot Schoor van Hamme, jaartal 1944, 1955, 1975 en 1982. De lichtgele lijnen geven de huidige schorkreken weer, de witte lijn is de huidige schorrand.

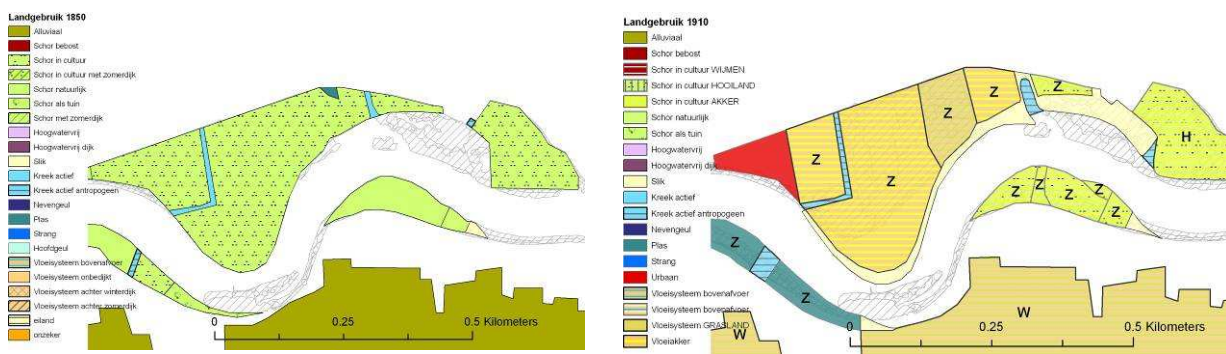


figuur 3-29: De krekens op Groot schoor van Hamme volgens hun leeftijd.

Na 11 jaar was het landschap hier al zeer ingrijpend veranderd. De dijksloot en hoofdgracht bleven hun watervoerende functie behouden. De kleine drainage grachtjes slibden dicht omdat het volume en de densiteit van het drainage systeem niet in relatie tot de getjuitwisseling waren. Gaandeweg ontwikkelden zij krekens en kreekjes zich tot een nieuw netwerk in respons tot de toenemende getij uitwisseling; grotere drainagegrachten zijn hierin deels ingelijfd (figuur 3-28). Hogere orde kreekjes worden nog steeds bijgemaakt, wat betekent dat het getij uitwisselingsvolume nog steeds toeneemt (figuur 3-29). Enerzijds wordt de zomerdijk niet langer onderhouden en vormt die minder een restrictie op de getjuitwisseling, anderzijds is er de evolutie van het getij in de Zeeschelde.

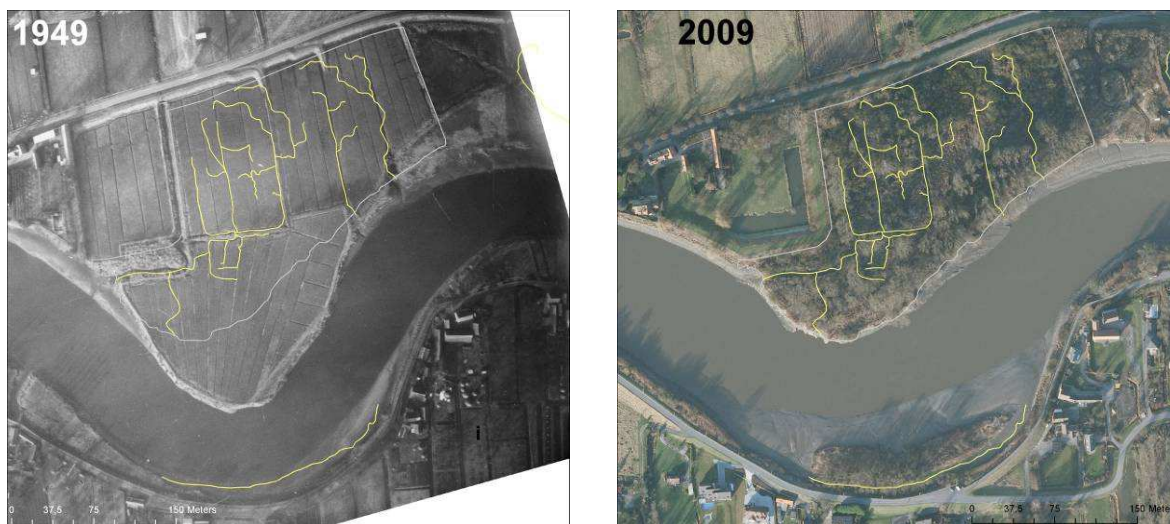
3.3.6 Zoete zone met korte verblijftijd: Schor van Zele en Nieuw schor van Appels

3.3.6.1 Algemene oppervlakte evolutie.



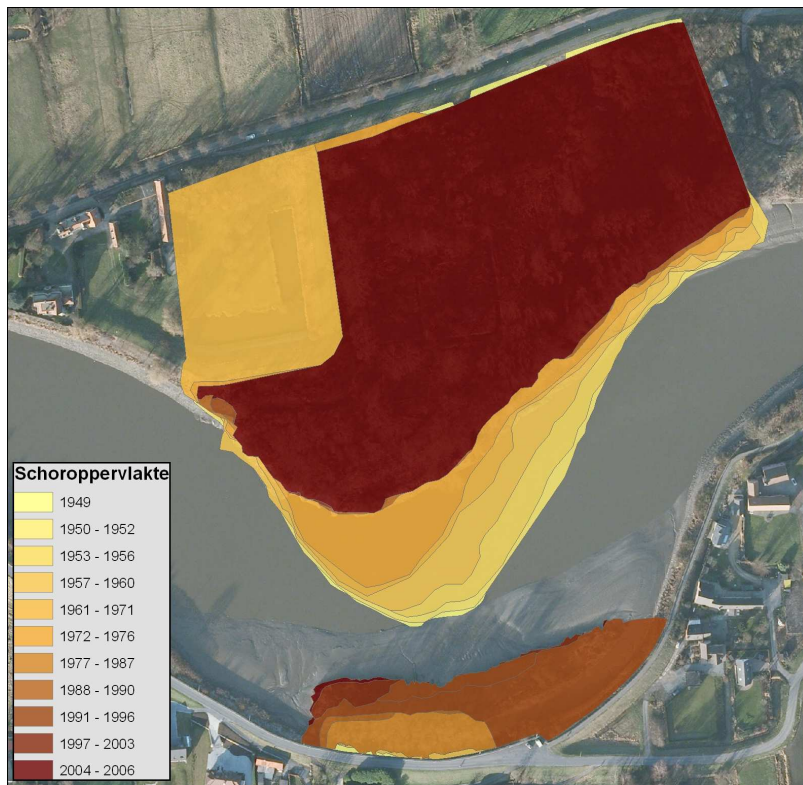
figuur 3-30: Landgebruik op het Schor van Zele. Gegevens op basis van topografisch kaart uit 1850 en 1910.

Reeds in 1850 was het Schor van Zele volledig in cultuur gebracht. Het staat gekarteerd als onbedijkte weide met uitgegraven grachten en aangplante bomenrijen. In 1910 is het een bedijkt vloeisysteem met twee sluisjes. Het westelijke deel is een boomgaard, de rand van het schor is slik geworden, dit wijst op erosie aan de binnenbocht (Vanallemeersch et al., 2000).



figuur 3-31: Luchtfoto's van Schor van Zele, jaartel 1949 en 2009. De lichtgele lijnen geven de huidige schorkreken weer, de witte lijn is de huidige schorrand.

Zeker tot na de 1960 is het schor van Zele in gebruik als bedijkt hooiland of vloeimeers met een dicht netwerk van grote drainagegrachten. De Groene Meersch wordt in de jaren 50 wordt opgehoogd tot boven de getij-invoel (figuur 3-31).



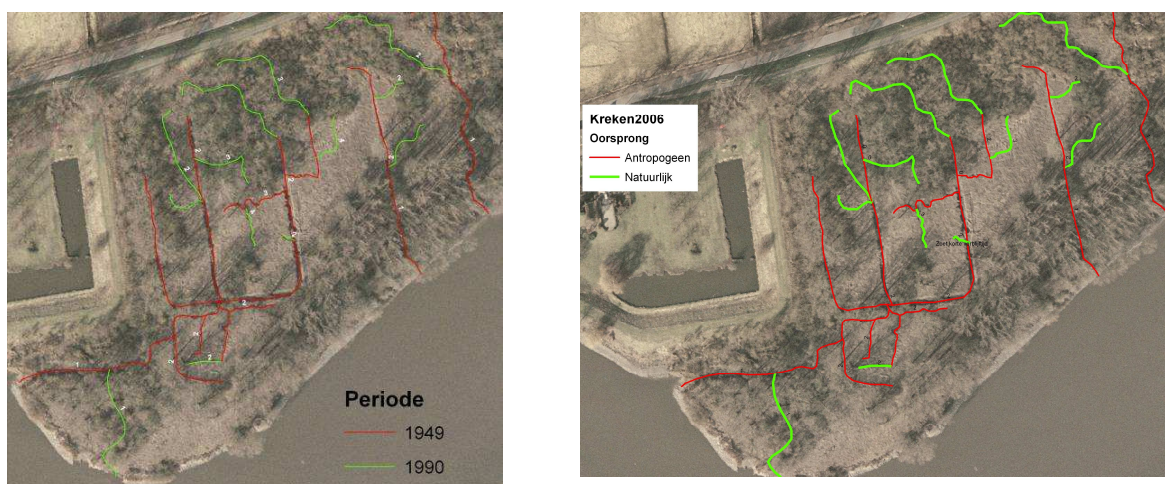
figuur 3-32: Oppervlakte evolutie van het schor van Zele en het nieuw schor van Appels.

De geul van de Zeeschelde heeft zich in dit traject verlegd; de linkeroever erodeerde langzaam weg terwijl zich aan de overkant gaandeweg een slikplaat vormde. Dit proces kwam eind jaren '70 tot stilstand (figuur 3-32).

Op de nieuwe slikplaat van Appels kwam de schorvorming pas eind jaren '80 zeer traag op gang. De dynamiek op die plaats leek te groot voor de vestiging van pioniersoorten. In 1993 werd dit schor kunstmatig uitgebreid met een experimentele biezenaanplant. Het onderzoek kaderde in de zoektocht naar alternatieven voor breuksteenbestorting en schanskorven als schorrandverdediging (Hoffmann et al, 1997).

3.3.6.2 Kreekpatronen

Het volledige Schor van Zele was een vloeimeers of hooiland met een zeer dicht en regelmatig netwerk van lange rechte drainagegrachten (figuur 3-31).



figuur 3-33: Kreken op Schor van Zele. a: per ontstaansperiode; b. naar oorsprong..

In het huidige krekennetwerk zit nog steeds een groot aandeel van dit oorspronkelijke grachtenstelsel, er zijn relatief weinig nieuwe kreken van hogere orde (figuur 3-33b).

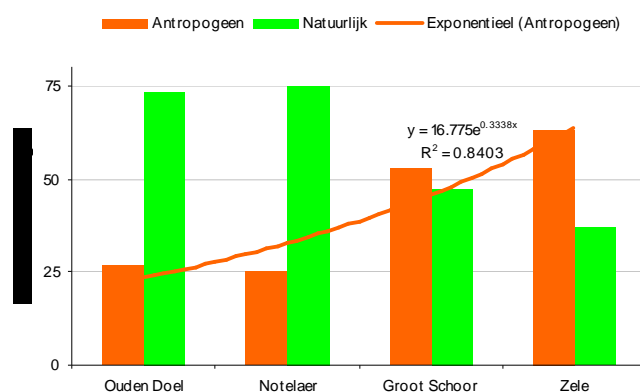
3.3.6.3 Kreekontwikkeling

De eerste nieuw gevormde natuurlijke kreken worden zichtbaar in 1975 zijn zichtbaar. Deze sluiten aan op oude grachten die nog steeds een drainagefunctie hebben. Toch blijft kreekvorming van hogere orde zeer beperkt op het schor van Zele. Enerzijds zijn de aanwezige drainage grachten breed, anderzijds neemt het getijvolume op het schor niet toe; de erosie van de punt van het schor en de toename van het getijvolume in de Zeeschelde werken elkanders effect op het getij uitwisselingsvolume van het schor tegen.

Op het nieuw schor van Appels onstond een geul tussen het schor en de dijk (figuur 3-33a).

3.3.7 Algemene discussie voor Schelde

Als we de ontwikkeling van de schorren in de focusgebieden langs de Zeeschelde beschouwen merken we dat de vorming van nieuw schorgebied gedurende de laatste eeuw toeneemt in stroomafwaartse richting: Het schor van Zele erodeerde voor een groot stuk weg terwijl het schor van Ouden Doel zich in diezelfde periode bijna volledig nieuw ontwikkelde. Ook aan de Notelaer werd nog een groot stuk nieuw schor bijgevormd. Kijken we naar het landbouw gebruik en de impact op de schorstructuur dan neemt dat toe in stroomopwaartse richting. De zoete schorren waren aan het begin van de 20^e eeuw volledig bedijkt en in gebruik als hooi- of weiland. Gaandeweg werd het aandeel akkerbouw groter. Meer stroomafwaarts werd er veel minder gebruik gemaakt van zomerdijken en was akkerbouw veel minder algemeen. Ook de aangelegde drainagestructuren verschilden in densiteit en afmetingen. Zowel de zomerdijken als de aanwezige drainage structuur hadden een invloed op de manier waarop het krekennetwerk evolueerde na het staken van de landbouw activiteiten. Het aandeel kreken in het huidige krekennetwerk met antropogene oorsprong neemt toe in stroomopwaartse richting (figuur 3-34).



figuur 3-34: De lengte van kreken geïnterpreteerd als sterk antropogeen of natuurlijk in functie van de locatie langs de saliniteitsgradient van de Zeeschelde.

3.4 Bodem

3.4.1 Inleiding

Eén van de sturende processen achter de evolutie van schorren is de bodemgenese in zijn brede betekenis; van compleet onrijp sediment, afgezet door de rivier, tot sterk ontlichte, gestructureerde bodems. Bodemonderzoek op de verschillende schorren kan mee inzicht verschaffen in de waargenomen evoluties van de slik- en schorgebieden langs de Zeeschelde. In dit rapport worden resultaten weergegeven van bodemanalysen op de slikken en schorren van Ouden Doel en de Notelaer.

3.4.2 Methodes

In de focusgebieden werden bodemprofielen beschreven en bemonsterd van slikken en schorren. De verdeling van de bodemprofielen in functie van geomorfologisch locatie is als volgt:

Tabel 6: Locatie van de bodemprofielen aan het schor van Ouden Doel en de Notelaer

Slikbodems			Schorbodems			
Type slik	SvOD	Notelaer	Type schor	SvOD	Notelaer	Appels
Hoger midden	P17	P52	Schor	P12*	P60	-
Lager midden	P1, P18	P51	Schorrand	P3**	P55, P67	P80
Laag	P19	P50	Oeverwal	P4, P6, P13	P57, P61, P62, P63	-
			Komgrond	P2, P5	-	-

*P12 is op de rand van een komgrond uitgegraven maar leunt morfologisch eerder aan bij gewone schorgronden; ** P3 is zowel een schorrand als een kreekmond profiel.

Het Amerikaanse bodemclassificatiesysteem (Soil Survey Staff 1999) werd op basis van het werk van Demas & Rabenhorst (1999) uitgebreid zodat subaquatische bodems ook als bodems worden beschouwd. Deze definitie werd grotendeels overgenomen door het World Reference Base classificatiesysteem (IUSS Working Group WRB 2006) en werd hier gevolgd zodat zowel slik als schorgebieden als bodems kunnen beschouwd worden.

Voor de interpretatie van de kleuren werd gebruik gemaakt van de Musell kleurcodes die gebruik maken van tint, donkerte en intensiteit van de kleur (hue, value & chroma).

Bodemstalen werden geanalyseerd voor pH (pH-H₂O; toevoeging van 50ml water aan 10g bodem en pH-CaCl₂; toevoeging van CaCl₂ oplossing), conductiviteit, organische koolstof, N-Kjeldahl en N-tot, C/N, CaCO₃ en extraheerbare kationen en elementen. Textuur werd bepaald met een Coulter lasertoestel, textuurklassen worden in volumepercentage gemeten.

3.4.3 Mesohaliene zone: Schor van Ouden Doel

Langs het Schor van Ouden Doel werden 11 bodemprofielen onderzocht gelegen langs 3 raaien: één aan de Nederlandse zijde waar het schor niet verdedigd is, één langs het onbegaasde en één langs het begraasde schor aan de Vlaamse zijde (figuur 3-35).

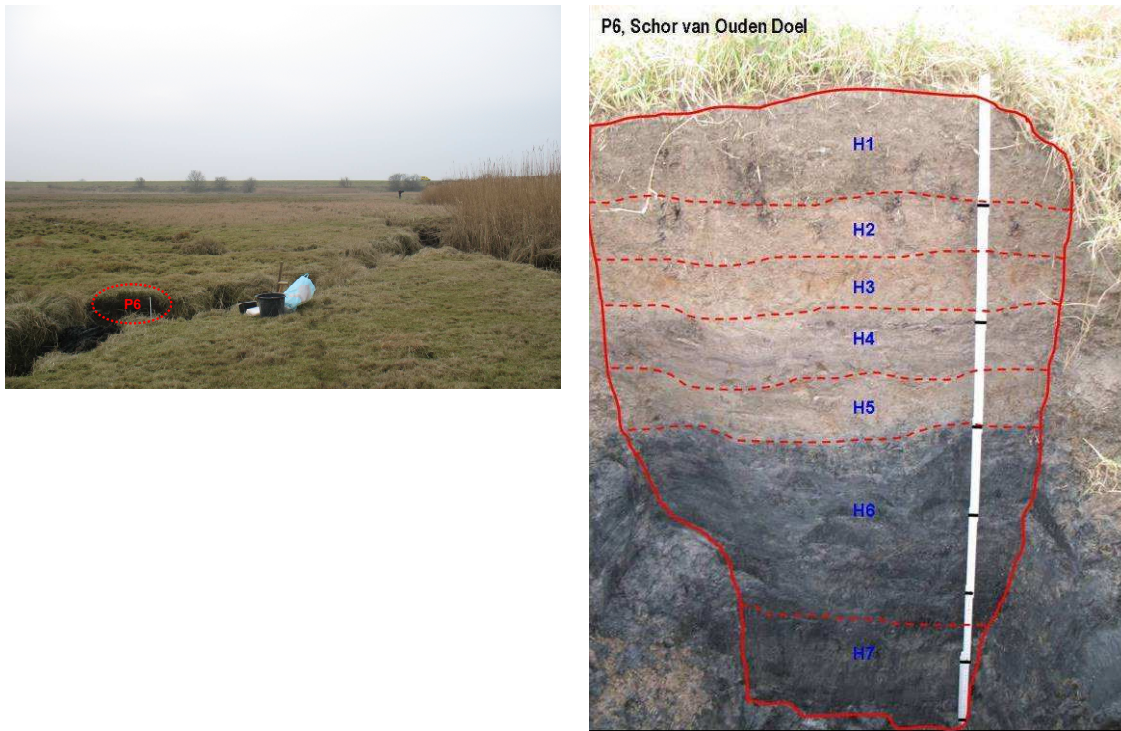


figuur 3-35: Ligging van de bodemprofielen op het schor van Ouden Doel (Foto van 2003).

3.4.3.1 De belangrijkste visuele kenmerken van brakke schor - en slikbodems

Op het Schor van Ouden Doel vallen de slikprofielen in de categorie "onrijp", zonder periodes van uitdroging blijven bodems onrijp. Toch is er zelfs op het slik een gradiënt: P18 (lagere midden slik) is meer onrijp dan P19 (laag slik). Dit komt omdat P19 meer dynamisch is en een grotere zandfractie heeft. Een bodem zonder klei en organisch materiaal kan niet onrijp zijn.

Alle schorbodems hebben een hoger niveau van rijping, tenminste in de bovenste horizonten. In alle schorbodems zijn zuurstofarme toestanden gevonden met variërende dieptes, maar dit gaat niet altijd gepaard met onrijpe toestanden. Zo werden bijvoorbeeld in P6 (oeverwal van begraasd schor) zuurstofarme toestanden teruggevonden vanaf 60 cm diepte (H6), maar omdat deze vroeger een oppervlakte met vegetatie was, heeft die een zekere rijping ondergaan. Door de sedimentatie op het schor maakt H6 nu deel uit van het permanent waterverzadigde niveau (figuur 3-36). P5 (riet in komgrond) is dan weer een voorbeeld van een bodem die nooit echt uitgedroogd is geweest. Hierdoor is het rijpingsproces niet erg ver gevorderd. Dit is weerspiegeld in de bodem: de kleurontwikkeling in de bovenste horizont is zwak en er is geen structuur ontwikkeld. Door de lagere ligging begint de zuurstofarme toestand begint al op 42 cm diepte.



figuur 3-36: Voorbeeld van een van de bestudeerde bodemprofielen. Links de landschappositie van P6 binnen het zilte grasland- gebied. Rechts de verticale doorsnee van P6. De grens tussen de zuurstofhoudende en de zuurstofarme horizonten is bijzonder scherp op deze foto (beige tot antracietgrijze kleurgrens).

Kleur blijkt in deze studie een waardevolle parameter om bodemhorizonten van elkaar te onderscheiden. In feite kon op basis van de kleur alleen, heel wat informatie verschaft worden betreffende zuurstoftoestand, grondwaterfluctuaties en vegetatie. Zuurstofrijke horizonten hebben een beige tot bruine kleur (bv. P6: H1-5). Matig zuurstofarme horizonten worden gekenmerkt door grijze kleuren en zeer zuurstofarme horizonten hebben een antracietgrijze tot zwarte kleur. Dit gaat vaak gepaard met een petroleumgeur (P6 H6-7).

Bij een stabiel grondwaterniveau is de overgang tussen zuurstofrijke en zuurstofarme toestanden zeer scherp. Bij fluctuaties in het grondwaterniveau wordt een zone met roestvlekken (of oxido-reductie vlekken) gevormd. De kleurintensiteit van de roestvlekken geeft informatie over de intensiteit en frequentie van de grondwaterfluctuaties. (P6: H5).

Bij rietvegetatie wordt in de bovenste lagen een zeer homogene bruine kleur gevormd, doordat de rietwortels voor een goede beluchting zorgen. In de onderliggende horizonten vinden wij beige tot bruine kleuren rond de rietwortels door lokale zuurstofrijke toestanden. Strandkweek en gras zijn niet in staat om de bodem zodanig te homogeniseren dat de originele stratificatie wordt uitgewist. In functie van de accumulatie van organisch materiaal wordt de bodem donkerder. Dit wil zeggen dat de kleur informatie kan verlenen over concentratie in de bodem, zowel voor wat betreft de productie als de omzet van organisch materiaal (bv. P6: H1). Aangezien de bodem ook donkerder wordt bij zuurstofarme toestanden kunnen enkel horizonten met dezelfde zuurstoftoestand vergeleken worden.

Op het Schor van Ouden Doel vormen roestvlekken eerder de regel dan de uitzondering, maar in de meeste gevallen zijn de vlekken slechts wazig zichtbaar. Ze zijn altijd ontwikkeld in de horizont(en) net boven de gereduceerde horizonten. Dit wijst erop dat de vlekken gevormd zijn door een fluctuerende grondwatertafel. In de slikprofielen werden geen roestvlekken gevonden,

enkel een zeer scherpe overgang tussen gereduceerde toestanden en de zuurstofhoudende toplaag.

Aan de 11 bodemprofielen die onderzocht werden, werden de drainageklasse e, f en g (van matig slecht, tot zeer slecht gedraineerd) toegekend. De classificatie is volgens de legende van de Belgische Bodemkaart (Van Ranst & Sys, 2000).

In vergelijking met de studie van Van de Moortel & Deckers (1997) zijn de onderzochte bodems duidelijk droger. Dit heeft vermoedelijk te maken met het hoge aandeel aan oeverwalprofielen. Door de goede drainage in deze landschapspositie bevindt de reductiehorizont zich grotere diepte.

Op het Schor van Ouden Doel hebben alle bodems profielontwikkelingssymbool 'p,' wat: gronden zonder profielontwikkeling (alluviale en colluviale bodems) (Van Ranst & Sys, 2000). P6 en P13 hebben een lichte verkleuring van de B-horizont maar onvoldoende voor het symbool b (gronden met structuur of met een weinig duidelijke kleur B-horizont). De slikprofielen vertonen geen enkel spoor van profielontwikkeling en krijgen het symbool 'g'.

3.4.3.2 Analytische gegevens van brakke schor- en slikbodems.

Om een beter inzicht te krijgen in de chemische en granulometrische eigenschappen van de schorbodems, werden laboratoria-analysen uitgevoerd. De gegevens zijn afkomstig van 37 stalen uit 7 schorbodemprofielen en 13 stalen uit 3 slikbodemprofielen.

pH-H₂O van de schorbodems op het Schor van Ouden Doel is overal alkalien met waarden tussen 7,5-8,8, gunstig voor plantengroei. pH is vrij stabiel dankzij de regelmatige overstromingen met nieuwe sedimenttoevoer en aanrijking van zouten en door de matig hoge kalkinhoud.

Conductiviteit: De gemeten waarden op het schor variëren tussen 0,81 en 4,96 (dS/m). Bij waarden boven 1,5 begint de zoutinhoud in de bodem een probleem te vormen voor zoutgevoelige planten. Slechts in 7 van de 37 schorstalen (en in 5 van 13 slikstalen) is de geleidbaarheid lager dan 1,5. Conductiviteit stijgt met de diepte, dus zolang de wortels niet al te diep groeien hebben zij minder last van de aanwezige zouten. De stijgende zoutinhoud in functie van de diepte wijst er enerzijds op dat de bodems enkel in uitzonderlijke gevallen te maken hebben met capillaire opstijging tot aan de oppervlakte, met evaporatie en vervolgens neerslag van zouten tot gevolg. Anderzijds wijst dit erop dat laterale drainage voornamelijk in de bovenste horizonten gebeurt, terwijl de diepere horizonten min of meer permanent waterverzadigd blijven met water dat eerder stagneert dan dat het draineert naar krekken en slikgebieden. Op het slik zien wij dezelfde stijgende geleidbaarheid met de diepte, hoewel de absolute waarden duidelijk lager zijn.

Organisch koolstof: Organische koolstof in de schorstalen varieerde van 1,4% tot 7,9% met 4,1% als gemiddelde waarde. Dit zijn over het algemeen vrij hoge waarden maar voor alluviale bodems niet buitengewoon. De inhoud aan koolstof is duidelijk veel lager in de slikstalen (0,1-2,7% met 1,0% als gemiddelde waarde).

Een vrij hoge concentratie in de diepere horizonten van het zilte grasland - bodemprofiel (P6) werd tijdens veldwerk omschreven als begraven plantfragmenten, voornamelijk grasstro. De hypothese is dat deze bodem ook vroeger was bedekt met gras. Door een reeks zware overstromingen werd telkens de grasvegetatie begraven. Het stro werd hierbij begraven, maar het gras kon overleven door nieuwe scheuten naar de oppervlakte te laten groeien. Waarschijnlijk vonden de overstromingen plaats buiten de groeiperiode. Zeker in de tweede helft van de winter is het grasstro zodanig verweerd dat een belangrijke sedimentafzetting mogelijk is. In plaats van één enkele krachtige overstroming kan het ook zijn dat tijdens de wintermaanden, wanneer het gras niet groeit, een dikke laag (meerdere cm) sediment werd

afgezet. Het gras kan dan nog steeds verder groeien maar het oude stro is definitief begraven. Dit herhaalde zich over een langere periode (meerdere jaarcyclussen). In de bovenste horizonten vinden wij geen stro terug omdat hier momenteel een zuurstofrijk milieu heerst, wat de afbraak van organisch materiaal bevordert.

Stikstof: De hoogste N-concentraties, werden teruggevonden in P5(komgrond), P6 (oeverwal begraasd) en P12 (begraasd schor). De laagste concentraties zijn verspreid over meerdere profielen, voornamelijk P3 (schorrand) en P13 (oeverwal onbegraasd) en in sommige horizonten van P2 (komgrond onbegraasd) en P4 (oeverwal onbegraasd). Verhoging van het stikstofgehalte door grazend vee is een mogelijke conclusie voor de hogere N-gehaltenes, gevonden in P6 en P12.

Iets meer dan de helft van de stalen hebben een optimale C/N ratio. Van de overige stalen hebben de meeste een bijna optimale ratio. Slechts één staal (P6H4) van het zilte grasland - profiel heeft een relatief hoge C/N ratio van 17. Dit is eveneens het staal met uitzonderlijk veel organisch materiaal. Het is aangenomen dat de uitzonderlijke hoge ratio van dit staal het resultaat is van het abrupt begraven van de bestaande vegetatie. Hierdoor is er een onevenwichtige verhouding van de afgezette koolstof en stikstof ontstaan.

Calciumcarbonaat: De gemeten kalk concentraties variëren van 6,2 tot 17,4%, met een gemiddelde en mediaanwaarde van 11,7%. Op het slik is de laagste concentratie 10,8% en de hoogste 15,0% met als gemiddeld 13,3%. Er is dus duidelijk een hogere concentratie aan kalk in het slik sediment dan op het schor. Er is voor de schorstalen een zekere trend dat de inhoud aan carbonaat daalt naar de oppervlakte toe. Hoewel, hoe dichterbij de oppervlakte, hoe meer variatie wij vinden in de bodem. De vrij hoge en relatief stabiele (10-15%) inhoud aan kalk wijst enerzijds op een redelijk constante aanvoer aan opgeloste kalk in het rivierwater, anderzijds wijst die er op dat er weinig of geen secundaire verplaatsing van kalk in het sediment/bodem plaatsvindt. Het gebrek aan uitdroging is hiervoor verantwoordelijk.

Basis kationen: De concentratie aan calcium kationen is relatief hoog, wat normaal is wanneer de bodem kalk bevat. Ook de inhoud aan natrium kationen is vrij hoog, uiteraard te wijten aan de regelmatige overstromingen met brak water. Desondanks, als wij de verhouding van de drie voor planten belangrijke kationen bekijken, zien wij dat vooral magnesium in relatief hoge concentraties aanwezig is.

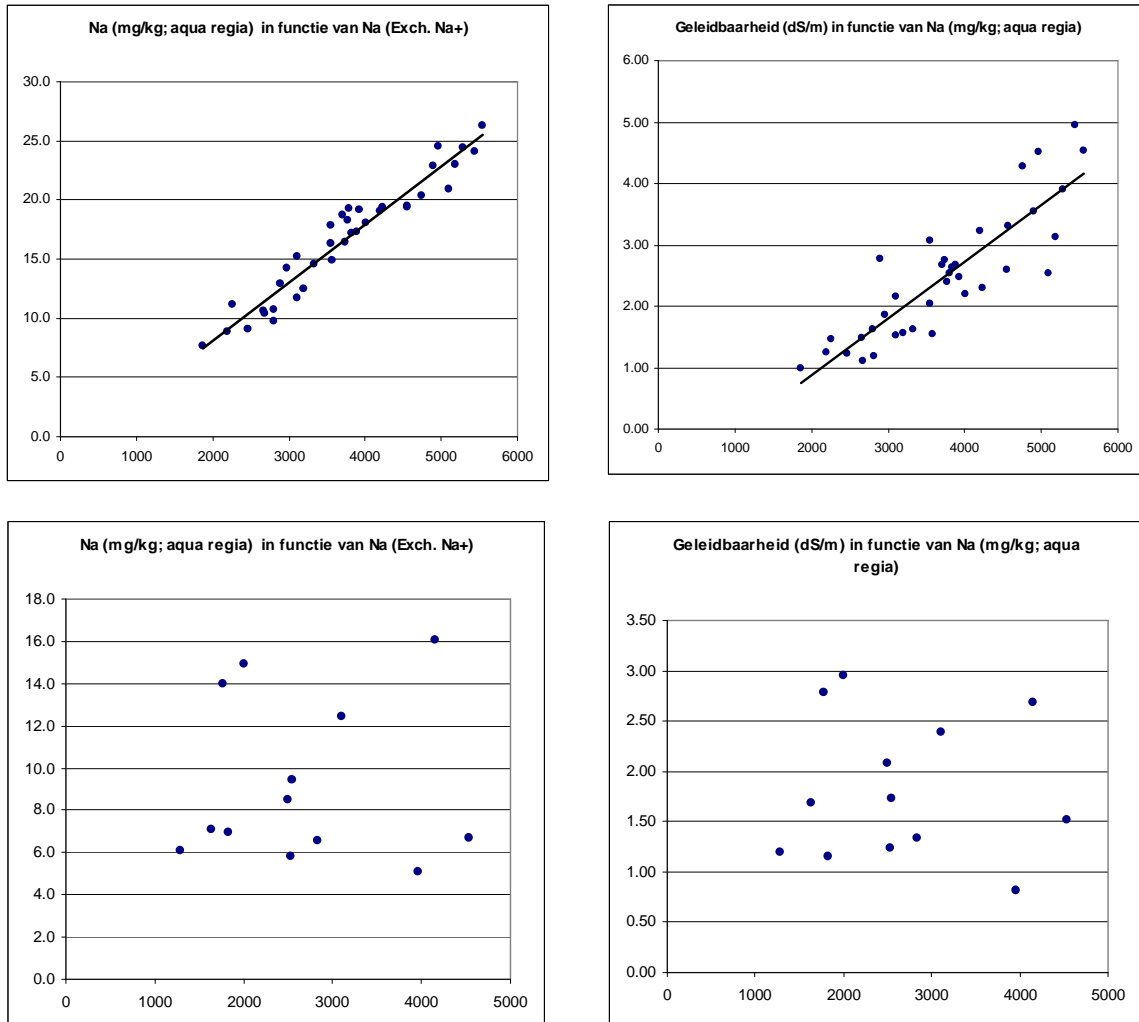
De gemiddelde inhoud aan kationen op het schor is ongeveer het dubbele van op het slik. De schorbodems hebben gemiddeld een dubbel zo hoog opslagvermogen voor kationen dan de slikbodems. Het opslagvermogen is rechtstreeks gerelateerd aan het organisch materiaal en klei gehalte en schorbodems bevatten meer dan dubbel zoveel klei en 4 keer zoveel organische koolstof dan de geanalyseerde slikbodems.

Er werd een zeer goede relatie gevonden tussen de inhoud aan natriumkationen en het natrium aanwezig in één of andere minerale compositie (aqua regia extraheerbaar). Dit wijst op een zeer snelle aanpassing van de kationencomplexen met natriumkationen indien de natrium-zoutinhoud in de bodem veranderd is (figuur 3-37). Er werd eveneens een positieve relatie gevonden tussen de geleidbaarheid en de inhoud aan natrium. Dit wijst erop dat natrium voornamelijk als zout in de bodem aanwezig is.

In tegenstelling tot de schorbodems blijkt er op het slik geen relatie te zijn tussen de natriumkationen en de aqua regia extraheerbare natriumconcentratie. Waarschijnlijk komt dit omdat de bodem op het moment van de staalname verzadigd was met zout water. Op het slik is er ook geen relatie tussen de geleidbaarheid en de concentratie aan Na (aqua regia).

Aqua regia extraheerbare elementen: Kenmerkend voor bodems onder mariene invloed is aanrijking met zwavel. De inhoud aan zwavel als element is gemiddeld 0.4% met variaties tussen 0.08-1.5% op het schor en gemiddeld 0.34%, met variaties tussen 0.15-0.81% op het slik. Er is geen relatie gevonden met de diepte. Als richtlijn moet er ongeveer 3 keer meer kalk

aanwezig zijn in de bodem om voldoende buffercapaciteit te hebben tegen extreme verzuring. Dit is in alle horizonten het geval. Zolang de bodem kalkrijk blijft, vormt oxidatie van zwavel geen probleem.



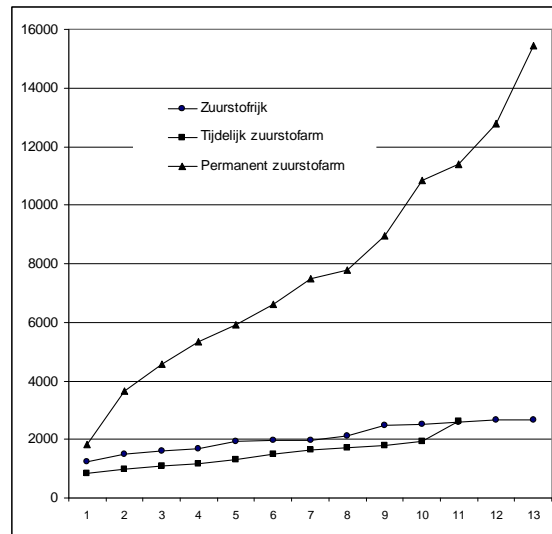
figuur 3-37: A: boven links de relatie tussen natrium kationen (vastgebonden op de klei of organisch materiaal) en natrium geëxtraheerd door aqua regia op de schorstalen. B: boven rechts relatie tussen de geleidbaarheid en de inhoud aan aqua regia extraheerbaar natrium op de schorstalen. C: onderaan links de relatie tussen Na kationen en Na (aqua regia) op de slikstalen. D: onderaan rechts de verhouding tussen geleidbaarheid en de concentratie aan Na (=aqua regia) op de slikstalen.

De zwavelconcentratie volgens het zuurstofgehalte, geïnterpreteerd op basis van morfologische kenmerken in het veld, is weergegeven in (figuur 3-38) Uit deze figuur blijkt dat hoge zwavelconcentraties vooral in permanent zuurstofarme horizonten gevonden worden.

Zware metalen. De schorbodems zijn zwaar vervuild met cadmium, koper en zink, en hebben ook regelmatig te hoge concentraties van arseen, chroom en lood. Enkel nikkel blijkt in het algemeen in lage concentraties aanwezig te zijn. Aangezien de bodems allemaal een alkaliën zijn is er weinig of geen translocatie van zware metalen. Dit betekent dat de concentraties in de diepere lagen dateren van het tijdstip toen deze lagen werden afgezet. Dit is dus een duidelijke aanwijzing dat de vervuiling met zware metalen een veel groter probleem was in het verleden. Deze stelling wordt mooi ondersteund door het feit dat de vervuiling gemeten in de

slikhorizonten veel lager is, behalve voor cadmium. Ook op het slik stijgt de inhoud aan zware metalen in functie van diepte, hoewel in lagere concentraties dan op het schor.

figuur 3-38: De concentratie aan zwavel (mg/kg) gemeten op de schorbodem- stalen van het Schor van Ouden Doel. De resultaten zijn opgedeeld volgens horizonttype in resp. zuurstofrijk, tijdelijk zuurstofarm en permanent zuurstofarm. De gegevens zijn gerangschikt volgens zwavelconcentratie van laag naar hoog.



Textuur: Op basis van de textuuranalyse met behulp van laserdiffractie kunnen wij enkele landschappelijke trends vaststellen. Zo blijkt het kleigehalte lateraal te stijgen met enerzijds de afstand tot de schorrand en anderzijds met de afstand tot de kreekranden. Verder stijgt het kleigehalte ook met de diepte in het profiel. Dat het kleigehalte zou stijgen met de afstand tot kreek en schorrand was te verwachten. Eens het schor wordt overspoeld, wordt als resultaat van de verminderde energie van het overspoelingswater, eerst het grovere materiaal afgezet en vervolgens de fijnere texturen. Dat het kleigehalte stijgt met de diepte, wijst erop dat er vandaag een energierijker stromingsmilieu heerst dan vroeger.

Op het slik is de textuursamenstelling duidelijk grover dan op het schor. Zo is zand de belangrijkste fractie op het slik, terwijl dit op het schor gemiddeld de silt-fractie is. Verder stijgt het kleigehalte met de hoogte van het slik.

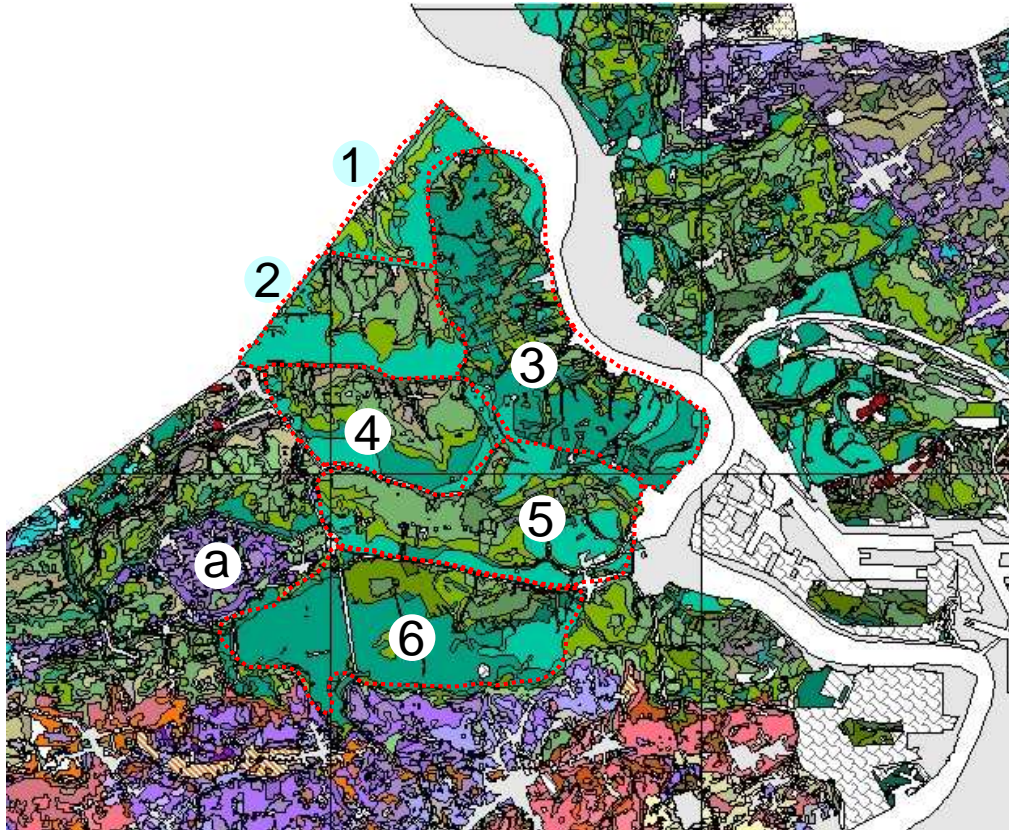
3.4.3.3 Bodemvariatie, een synthese op basis van de Belgische Bodemkaart

Hoewel de buitendijkse schorren- en slikkengebieden niet werden gekarteerd bij het vervaardigen van de Belgische Bodemkaart is de informatie van de achterliggende poldergebieden en schorren zeer waardevol.

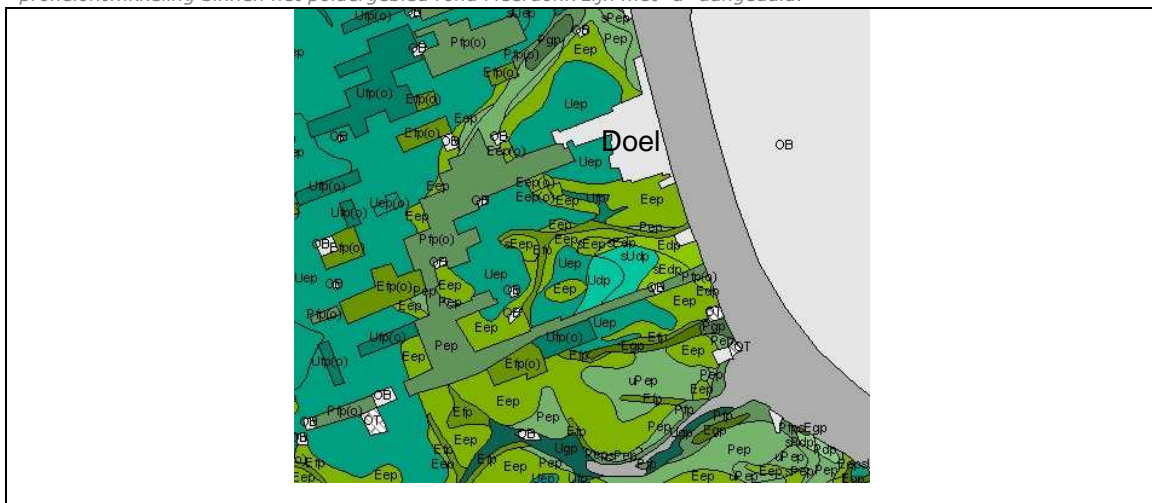
De sequentie van inpoldering vertaalt zich voornamelijk in drainagegradiënten, en oude krekensystemen die zeer abrupt stoppen aan de voet van een nieuwe dijk. Zo werd bijvoorbeeld de Doelpolder vrij nat gekarteerd in vergelijking met de nieuw Arenbergpolder en Prosperpolder. Het dient wel opgemerkt te worden dat de gekarteerde drainagetoestand een momentopname was van de periode van het veldwerk in 1956-1957 (figuur 3-39).

Op de Nieuw-Arenbergpolder zijn duidelijke granulometrische gradiënten te observeren. Zo hebben de oude komgronden textuurklasse U (zwaar klei), en is er een duidelijke gradiënt naar de krekentoe van E (klei), P (licht zandleem) en eindigt bij de oude oeverwallen die een klasse S (lemig zand) hebben. In de fossiele krekens vinden wij textuurklasse P en in diepste delen E terug. Ongeveer hetzelfde textuurpatroon kan waargenomen worden in de Prosperpolder. Op het Doelpolder- gebied zijn de grootste krekens eveneens te zien op het kaartblad, voornamelijk door een nattere drainageklasse. Op de Doelpolder zijn ook de talrijke vergravingen in de

periferie rond Doel dorp zeer opvallend. Deze vergravingen komen tot uiting als vierkanten van slechter drainerende bodems. De vierkante vormen komen hoogstwaarschijnlijk overeen met perceelsgrenzen. Het gaat om veenontginningsputten (figuur 3-40). Bij de bodemkartering werden de bodems hier omschreven als sterk vergraven door het winnen van het onderliggend veen. In de bodem worden nog steeds kleine turfbrokjes teruggevonden (Snacken 1963, p. 32).



figuur 3-39: Overzicht van de bodemtypes gekarteerd in de poldergebieden (groene kleuren) op de linkeroever van de Zeeschelde ter hoogte van de Antwerpse haven. Een aantal van de grotere inpolderingen zijn duidelijk af te lijnen op basis van de bodemkaart. Deze zijn: 1) Prosperpolder, 2) Nieuw-Arenbergpolder, 3) een conglomeraat van noord naar zuid bestaande uit Paardenschorpolder, Doelpolder, Kleine-Doelpolder, St Annapolder en Ketenispolder, 4) Oud-Arenbergpolder, 5) St Nicolas polder en kallopolder, 6) Vrasenepolder en Beverenpolder. De bodems met profielontwikkeling binnen het poldergebied rond Meerdonk zijn met "a" aangeduid.



figuur 3-40: Detail van de bodemkaart rond het polderdorp Doel. De talrijke veenputten zijn hier duidelijk zichtbaar door hun nattere drainagetoestand in vergelijking met de niet ontgonnen polder. In het meest zuidelijke gebied van de kaart is de inslagkreek het Grote Gat gekarteerd.

Gezien de drassige toestanden, typisch voor schorgebieden, hadden wij verwacht om veenlagen tegen te komen bij de bodemkundige studies, maar dit is tot op heden nog niet het geval geweest.

3.4.3.4 Extrapolatie van karteringskennis op Linkeroever naar Schor van Ouden Doel

Bij de bodemkartering van de poldergebieden in de omgeving is gebleken dat voornamelijk de textuur en de drainage van belang zijn voor het onderscheiden van de bodemtypes. Wat eveneens belangrijk is, is dat bij elke inpoldering een nieuwe fase van sedimentopbouw met kreekontwikkeling begon vóór de nieuwe dijk. Een kleine, nog actieve restant van dit uitgebreide overspoelingsgebied is het Schor van Ouden Doel. Het kan aangenomen worden dat dit schor eenzelfde genese heeft ondergaan als de achterliggende poldergebieden. Dit betekent dat op de grootste afstand van de Schelde, waar, indien aanwezig, de krekten het minst uitgesproken zijn, voornamelijk komgrondbodems met een textuurklasse 'U' en drainageklasse 'zeer nat' tot 'uiterst nat' teruggevonden worden (Ufp of Ugp). De 'Ugp' kunnen wij waarschijnlijk terugvinden waar de vegetatie zeer schaars is door waterverzadiging. Dit komt overeen met de gebieden die bij de vegetatiekartering van 2003 als 'water' of 'vegetatieloos' werden ingekleurd. Gebieden waar waarschijnlijk 'Ufp' bodems kunnen teruggevonden worden, bevinden zich in het achterste gedeelte van het zilte grasland, waar een polvormige grasvegetatie overheerst. 'Uep' bodems die bijvoorbeeld in de Nieuw-Arenbergpolder en de Prosperpolder over zeer uitgesproken uitgestrekte gebieden te vinden zijn, zijn waarschijnlijk iets te droog voor het Schor van Ouden Doel, tenminste met deze textuurklasse.

Een textuurgradiënt, zoals deze is teruggevonden op de Nieuw-Arenbergpolder is teruggevonden, kunnen wij ook verwachten op het Schor van Ouden Doel, hoewel minder uitgesproken. De meer zandige texturen zouden zich gevormd hebben dicht bij de Schelde, en langs de oevers van de grotere krekten. Hoeveel textuurklassen wij kunnen terugvinden, is niet duidelijk. Ter hoogte van de Doelpolder zijn geen bodems gevonden met textuurklasse lemig zand (S), maar de omvang van de paleokrekten is hier ook duidelijk minder dan die gevonden op Nieuw-Arenbergpolder, iets wat misschien de minder zandige textuur kan verklaren. Inderdaad, als een gebied door een centrale geul wordt overspoeld moet de watersnelheid en het sedimenttransport potentieel veel hoger zijn dan in het geval datzelfde gebied wordt overspoeld door een reeks kleinere krekten. Het Schor van Ouden Doel is inderdaad overstroomd door een net van kleinere krekten.

Door de grotere stroomsnelheden kunnen wij op het slik verwachten dat de textuurklasse hier zal zijn zoals de geanalyseerde stalen, dus voornamelijk lemig zand en licht zandleem. Met drainageklasse 'g' en een compleet gebrek aan profielontwikkeling zou het ganse slikgebied dus als 'Pgp' en 'Sgp' kunnen ingekleurd worden. A, en aangezien de 'S' textuur overheerst in de bovenste 40 cm, zou het meest voorkomende bodemtype volgens de legende van de Belgische Bodemkaart de 'Sgp' kunnen zijn. Op locaties waar de slikkrekten voldoende zijn ingesneden, is het mogelijk dat de textuur iets fijner is, dus 'Lgp' of misschien zelfs 'Egp'.

3.4.3.5 Bodems op Schor van Ouden Doel, discussie en conclusies:

Uit het morfologische onderzoek blijkt dat op basis van enkele parameters een differentiatie van de hoofdbodem-types mogelijk is. Deze parameters zijn:

- Kleur (en geur) en diepte van de verschillende kleurlagen:

- Beige en bruine kleuren zijn een indicatie van zuurstofrijke toestanden.
 - Gevlekte kleuren, waar er een zone met fluctuerend zuurstofarme en zuurstofrijke toestanden aanwezig zijn.
 - Grijskleuren, waar er permanent zuurstofarme toestanden overheersen.
 - Antracietgrijze kleuren, dikwijls gepaard met een petroleumgeur. Dit zijn de horizonten met een zeer lage redoxpotentie en waar pyriet aanwezig is.
- Bodemrijpheid. De rijpheid wordt bepaald door de ouderdom en de drainagemogelijkheid van het afgezette sediment. Bodemlagen die nooit hebben kunnen draineren blijven onrijp, zelfs al zijn er meters rijp sediment bovenop afgezet.
 - Bodemstratificatie. Indien de originele bodemstratificatie nog zichtbaar is wordt de bodem als zeer jong beschouwd. Door bioturbatie (vegetatie en fauna) en bodembewerking werden de bovenste horizonten gehomogeniseerd en verdween de stratificatie.
 - Bodemstructuur. Bijvoorbeeld kruimelstructuur in de oppervlakte-horizont, of hoekige structuur in de onderliggende horizont.

In functie van de bodemrijpheid, aanwezigheid of niet van stratificatie en structuur kan een onderscheid gemaakt worden tussen zeer jonge bodems en bodems met iets meer ontwikkeling. Volgende algemene trends zijn geldig op Schor van Ouden Doel:

Compleet onrijpe bodems werden binnen de diepte van de bodemprofielen op het schor enkel in de kreken gevonden en op het slik zelf. Door het plaatsen van divers op het schor weten wij dat in de bovenste 2 m geen onrijp sediment aanwezig is. Dit is dus een schor dat gedurende lange tijd is ontwikkeld en dit bij niet verzadigde toestanden.

Op schor van Ouden Doel werd zowel in P6 (begraasde oeverwal) als bij P13 (oeverwal met riet) een gekleurde B horizont gevonden. Dit zijn dus voorbeelden van de best ontwikkelde bodems op het schor. Beide hebben ook een goed ontwikkelde kruimelstructuur in de bovenste horizont. P12 is gematigd ontwikkeld en in P2 is er een zwakke kruimelstructuur. In P3 en P4 is stratificatie nog steeds dominant en P5 heeft een massieve bodem tot aan de oppervlakte. Ter hoogte van P3 en P4 is de overstroming met sedimentatie van vers sediment nog steeds een belangrijker proces dan de bodemstructuurontwikkeling. In P5 is het de slechte drainage van dit profiel wat de reden is voor het gebrek aan structuur. De mate van bodemontwikkelingsgraad van P13>P6>P12>P2>P4-P3>P5>P17>P18-19 klopt goed met de diepte tot de antracietgrijze laag. H, dus hoe beter ontwikkeld de bodem, hoe dieper deze laag ligt. Enkel P3-4 wijkt hiervan een beetje af (waarschijnlijk door hun gelaagdheid, waar de zandlagen de drainage versnellen).

Zowel verticaal als lateraal zijn de schorbodems relatief homogeen betreffende chemische en fysische eigenschappen. De pH is stabiel in de neutrale tot alkaline range. Enkele stalen liggen hoger dan pH 8,5, te verklaren door de hoge inhoud aan natrium, zouten en kationen. Dit verklaart eveneens de hoge geleidbaarheid. De pH en geleidbaarheid zijn hoe dan ook niet hoger, zodat de meeste planten hiervan weinig of geen hinder ondervinden.

Hoge concentraties aan organisch koolstof werden in alle bodems en in alle stalen gevonden. Dat er geen link is tussen de inhoud aan koolstof en de diepte is te verklaren door het feit dat de grootste fractie met het minerale sediment is afgezet. Enkel een kleine fractie is door de vegetatie afgezet. De accumulatie van calcium-carbonaat is hoger op het slik in vergelijking met de schorstalen. Overall is het carbonaat-gehalte ruim voldoende om oxidatie van pyriet te neutraliseren. De schorbodems hebben allemaal een hoge concentratie natrium-kationen, maar ook magnesium is hier in verhouding te veel aanwezig. Zeewater kan de bodem met beide kationen aanrijken.

Zwavel is overal aanwezig maar in de beige en grijze horizonten is de concentratie relatief laag en min of meer stabiel. In de antracietgrijze horizonten zijn de concentraties zeer duidelijk hoger. Dus op basis van veldkleur alleen, kunnen wij een redelijk goede voorspelling van de zwavelinhoud maken.

Uit de textuurgegevens kunnen wij bevestigen dat hoe verder de afstand is tot de schorrand, en in minder mate de afstand naar een kreekrand, hoe fijner de textuur. Dat de textuur fijner wordt naargelang de diepte kan een aanwijzing zijn van een huidig actiever milieu dan in vergelijking met het verleden.

3.4.4 Oligohaliene zone: schor van de Notelaer

Op de Notelaer werden 12 bodemprofielen beschreven. Eveneens werden 2 transecten van profielboringen uitgevoerd (figuur 3-41).



figuur 3-41: Ligging van de bodemprofielen aan de Notelaer. Foto van 2003.

3.4.4.1 Analytische gegevens van oligohaliene schorbodems.

Analytische gegevens zijn tot op heden beschikbaar van profiel 55 (gelegen aan de schorrand onder een solitaire wilgenstruweel op een van de jongste schorgebieden) en profiel 57 (gelegen dicht bij de dijk onder een wilgen - en populierenbos, en op een van de oudste schorgebieden).

pH en conductiviteit: Op de Notelaer zijn de bodems licht alkalien met pH waarden die nergens hoger liggen dan 8. Dit is gemiddeld 0,6 eenheid lager dan op het Schor van Ouden Doel. Ook de elektrische geleidbaarheid is op de Notelaer 3,6 keer lager dan op Doel. Een lagere concentratie aan zouten (invloed op de geleidbaarheid) en een lagere concentratie aan natriumkationen (indirecte invloed op de pH) zijn hiervoor de verklaringen. pH stijgt naar de

oppervlakte toe. Voor wat betreft de geleidbaarheid wordt een omgekeerd patroon geobserveerd. Hier zien we een stijgende trend met toenemende diepte.

Organische koolstof: De inhoud aan organische koolstof is gemiddeld 5,0% met variaties tussen 2,8 en 7,2% (TOC methode). Er is geen duidelijke relatie tussen de koolstofconcentratie en de diepte. Daarentegen is er een duidelijk verschil tussen de twee geanalyseerde profielen. Zo is het gemiddelde van profiel P55 gelegen aan de schorrand 4,2% en het gemiddelde van profiel P57, gelegen op een van de oudste schorgebieden, maar ook op veel groter afstand van de Schelde, 6,1%.

Mogelijke verklaringen hiervoor zijn:

- P57 is gelegen op een schor dat minstens 100 jaar oud is. Uit oude kaarten blijkt dat dit gebied in 1850 nog slik was en in 1903 cultuurschor was geworden (zie deelrapport geomorfologie). P55 is gelegen op een schorgebied dat nog slik was in 1954, gedeeltelijk met vegetatie was begroeid in 1965 en pas volledig begroeid was in 1969.
- De afstand tot de schorrand. P55 is vandaag aan de schorrand gelegen maar dit is slechts zo geworden na een lange periode van erosie. Zo was P55 bij het ontstaan van het schor op ongeveer 12 m van de schorrand gelegen. P57 is bijna aan de dijk gelegen, op 150 m afstand in vogelvlucht van P55.
- Landschapspositie: P55 is gelegen op een schorrand, P57 is gelegen in een komgrond.

Calciumcarbonaat : De inhoud aan calciumcarbonaat varieert in P55 tussen 4,4% en 11,4% en in P57 tussen 9,8% en 11,3%. De gemiddelde waarde bedraagt 7,3% in P55 en 10,4% in P57. Het gemiddelde voor alle stalen van de Notelaer is 8,6%, wat duidelijk lager is dan de 11,7% gevonden op het Schor van Ouden Doel. De hogere inhoud aan calciumcarbonaat die in de nabijheid van Doel wordt waargenomen, valt te verklaren door de menging met zeewater dat verzadigd is met opgelost calciumcarbonaat. Bij overstroming infiltreert het water en kan telkens een kleine fractie van het carbonaat precipiteren in de bodem. Op de Notelaer is de invloed van zeewater minder, maar in de bovenafvoer zit er ook opgeloste kalk, afkomstig van de kalkrijke geologische sedimenten binnen het stroomgebied.

K, Na, Mg en Ca als kationen en als aqua regia extraheerbare elementen:

Verhoudingsgewijs is er een groot verschil in de inhoud aan kationen tussen het Schor van Ouden Doel en de Notelaer. Zo zijn de natriumkationen relatief belangrijk op Schor van Ouden Doel, maar ook magnesiumkationen zijn hier sterk aanwezig en dit ten koste van de inhoud aan calciumkationen. Op de Notelaer is calcium zeer dominant ten koste van zowel natrium, magnesium als kalium. De aanrijking met magnesium en natrium kan verklaard worden door de mariene input. Eens deze input kleiner wordt, stijgt het relatieve belang van calcium.

Wat betreft de inhoud van deze vier grondstoffen als element zien wij voor calcium, magnesium en kalium weinig verschil in concentratie tussen de twee schorren, zowel absoluut als relatief. De inhoud aan natrium is dan weer 6 keer minder op de Notelaer dan ter hoogte van Doel.

Wij hebben dus twee schorren waar de concentratie en verhouding van de macronutriënten kalium, magnesium en calcium als element gelijkaardig zijn. Voor de kationen-uitwisselingscomplexen ligt de verhouding evenwel heel anders. Dit wijst op een bodemmilieu waar het bodemvocht zodanig verzadigd is met kationen dat de uitwisselingscomplexen van hieruit continu kunnen bijgevuld worden. Er zal dus geen belangrijke aanrijking zijn van kationen die vanuit de uitwisselingscomplexen worden vrijgegeven als gevolg van verwerking of ontbinding van mineralen en organisch materiaal.

Aqua regia extraheerbare elementen: De concentratie aan zwavel is op de Notelaer 0,45% (tussen 0,14-1,05%), wat iets hoger is dan zowel de slik- als de schorbodems op het Schor van Ouden Doel. Binnen de twee geanalyseerde profielen is er een zeer duidelijke stijging van het

zwavelgehalte met de diepte. Voornamelijk de diepste horizont in P57 heeft met meer dan 1% een vrij hoog gehalte aan zwavel. Het lijkt dus zo te zijn dat de zwavelvervuiling vooral van historische aard is.

Textuur: In P55 daalt de zandinhoud van H4 naar H2. Tegelijk stijgt het klei- en siltgehalte. Dit is de sedimentaire trend die te verwachten is bij een stabiel sedimentatiemilieu waar eerst wat zandiger sediment wordt afgezet en met een stijgende schorhoogte stelselmatig materiaal met een fijnere textuur. In de oppervlaktehorizont is de textuur dan weer vrij zandig en met een laag kleigehalte. Een hypothese is dat H2-4 zijn sedimenten heeft afgezet tijdens de opbouwfase van het slik en schor. Door schorranderosie is P55 dichterbij de schorrand komen te liggen en is er bovenop een oeverwalafzetting gekomen. Dit sediment is grover van textuur omwille van de veranderde geomorfologische positie van de bodem. In P57 is de textuur vrij homogeen. Dit vrij homogeen textuurpatroon kan verklaard worden 1) door 1) de grote afstand tot de Schelde is het sedimentatiemilieu relatief stabiel, 2) dat dit profiel gelegen is in een gebied dat vroeger werd gebruikt als landbouwgebied is het profiel gehomogeniseerd door bewerking van de bodem (spitten, ploegen, grepels graven, drainage...), 3) door de goede doorluchting van deze bodem is er een goede bioturbatie (fauna en flora) waardoor de bodem wordt gehomogeniseerd. Uiteraard kan de geobserveerde homogenisatie ook het resultaat zijn van een combinatie van deze processen.

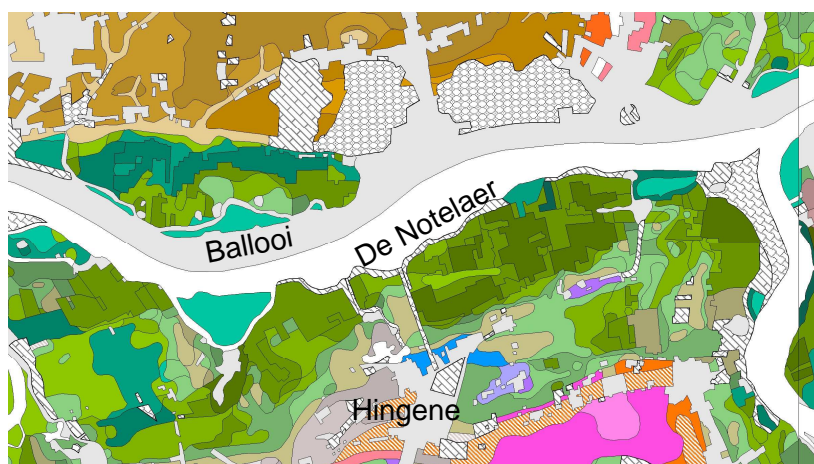
3.4.4.2 Bodemvariatie, een synthese op basis van de Belgische Bodemkaart

In de omgeving van de Notelaer heeft de Schelde zijn vallei tijdens duizenden jaren van meanderende erosie-sedimentatie breder gemaakt. In de gebieden waar de Schelde zijn bedding in historische en prehistorische tijd had, is er vandaag een relatief kleirijke bodemsamenstelling.

De Notelaer was bij de kartering in 1954 een buitendijks gebied en werd daarom niet gekarteerd voor de Belgische bodemkaart. De gebieden achter de dijk zijn wel beschreven.

Het poldergebied achter de Notelaer is gekenmerkt door een veenlaag beginnend op geringe diepte. Door de geringe diepte is dit veen over grote gebieden al ontgonnen, waardoor de kartering van de polder een duidelijke antropogeen aspect krijgt met veel hoek-vormige bodemeenheden, volgens ontgonnen perceelsgrenzen. Op de percelen waar het veen is ontgonnen is de drainageklasse typisch één eenheid natter geworden ten opzichte van de niet ontgonnen, dichtbijliggende percelen (figuur 3-42).

Of er veen op de Notelaer aanwezig is, kan enkel met diepe boringen getest worden. Vandaag ligt het schor namelijk meerdere meters boven het maaiveld van de achterliggende polders. De trend dat het kleigehalte iets hoger is op de polders van Ballooi, in plaats van de tegenoverliggende polders van achter de Notelaer, lijkt wel overeen te komen met eigen veldwaarnemingen.



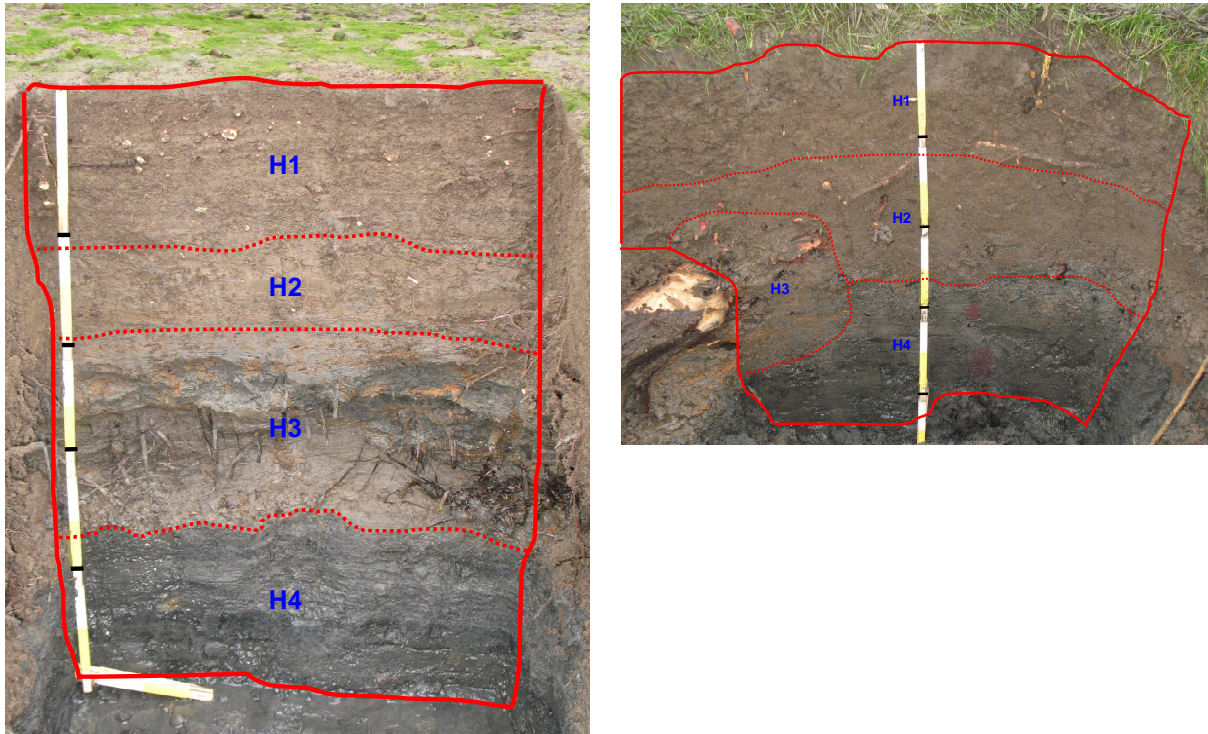
figuur 3-42: Detail van de bodemkaart in de omgeving van het dorp Hingene met de schor – en slik gebieden De' Notelaer' en 'Ballooi' aangeduid.

3.4.5 Bodems op de Notelaer, discussie en conclusies:

De Notelaer kan opgedeeld worden in twee belangrijke morfologische eenheden die zeer belangrijk zijn voor de bodemontwikkeling. Er zijn de oude cultuurschorren die tot enkele tientallen jaren geleden nog actief werden beheerd, en er is het centrale schorgebeid dat 50 jaar geleden nog slik was. Wij hebben dus bodems binnen korte afstand die duidelijke leeftijdsverschillen en ontwikkelingsstadia hebben.

Antracietgrijze horizonten zijn ook op de Notelaer aanwezig en beginnen algemeen ondieper dan op het Schor van Ouden Doel. Aangezien op de Notelaer de meeste gegevens zijn verzameld van op het jonge schorgebeid is dit een niet onverwacht patroon. Dit is echter ook het geval op het slik en hier kunnen wij er vanuit gaan dat leeftijd geen rol speelt.

P57 heeft als oudste bodem de beste structuur, maar de structuurontwikkeling gevonden op de veel jonger P55 is niet veel minder uitgesproken (figuur 3-43). Dit toont aan hoe snel, onder optimale toestanden (voldoende drainage, neutrale of alkaline pH-milieu met overvloed aan macronutriënten, een actieve bodemfauna) een goede luchtige structuur zich kan ontwikkelen. P60 heeft een matige goede structuurontwikkeling in de bovenste horizont, P61 iets minder en P62 minst. P62 is dan ook een van de jongste schorbodems op de Notelaer, indien de dichtverslibbings-hypothese van de megakreek correct is (zie deelrapport geomorfologie).



figuur 3-43: Profielen van de Notelaer. a: Foto van P55, een bodem gelegen aan de huidige schorrand in de schaduw van wilgen. b: Foto van P57 een bodem gelegen dicht bij de dijk in een populieren - en wilgen bos.

Op basis van de geanalyseerde bodems op de Notelaer stellen we vast dat:

- De pH op de Notelaer is gemiddeld 0.6 eenheid lager en de geleidbaarheid 3.6 keer minder dan op Ouden Doel. Een lagere concentratie zeewater is hiervoor verantwoordelijk.
 - Er is geen verschil in pH of EC tussen de jonge schorrand- bodem (P55), en de oudere P57, gelegen bijna aan de dijk.
 - Er is wel een verschil in geleidbaarheid tussen de bovenste zuurstofrijke horizonten met een lage geleidbaarheid en de diepere zuurstofarme horizonten met een hogere geleidbaarheid. Deze trend werd in beide profielen waargenomen. Op schor van Ouden Doel is de stijgende trend met de diepte waargenomen, maar er werd geen duidelijke link met de overheersende zuurstofconcentratie vastgesteld.
- Het aandeel organisch materiaal ligt binnen dezelfde range, zowel op Notelaer als op Doel. Wel is de gemiddelde inhoud iets hoger op de Notelaer (4.1% versus 5.0%).
 - P57 bevat ongeveer dubbel zoveel koolstof als P55, mogelijke hypothesen zijn:
 - Leeftijd en landbouwkundige impact gaat de inhoud verhogen in P57 (maar dan zou de inhoud meer homogeen zijn en de hoogste concentratie niet in de diepste horizont, maar eerder in de oude ploeglagen (bij 'mulching') moeten terug te vinden zijn).

- Door de grotere afstand tot de schorrand wordt ter hoogte van P57 eerder fijn materiaal afgezet (zoals klei, silt en fijn gefractioneerd organisch materiaal)
- P57 ligt morfologisch–landschappelijk meer in een komgrond
- De calcium-carbonaat-inhoud is gemiddeld 26% lager dan op Doel, maar de inhoud is nog steeds vrij hoog en meer dan voldoende om voor de nodige buffer te zorgen tegen oxidatie van sulfiden
- Tussen Notelaer en Doel is er een groot verschil in de verhouding van de kationen Na, K, Mg en Ca. Waar op Doel Na en Mg relatief belangrijk waren, is op de Notelaer Ca zeer dominant en is de concentratie van Na sterk verminderd. Een concentratieverschil in het overspoelingswater is hiervoor verantwoordelijk
- De textuur in P57 is zeer homogeen. Dit is een reflectie van de landschapspositie, dieper in het schor, en de bewerking voor landbouwdoeleinden. In P55 wordt een fijnere textuur naar boven gevonden, behalve in de bovenste horizont die dan weer zandiger wordt. Dit wordt geïnterpreteerd als het resultaat van erosie waardoor de bodem dichter bij de schorrand komt en dus in een energierijkere positie valt.

3.5 Overspoelings-en drainageregime

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het overspoelingsregime en het drainageregime binnen de verschillende focusgebieden en eventuele contrasterende nabijgelegen gebieden langs de Schelde. Tevens wordt een eerste verkenning uitgevoerd naar de relatie tussen meetreeksen van het waterregime in het schor en een nabijgelegen tijpost.

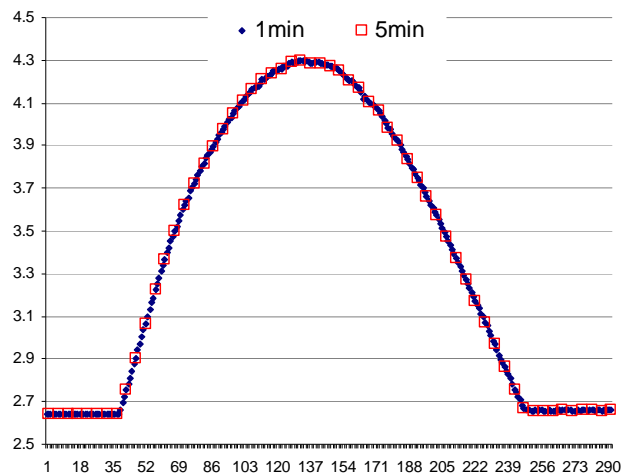
Het doel hier is een beeld te krijgen op de verschillende overspoelings- en drainagepatronen binnen één gebied in functie van de geomorfologie, ligging in het schor, afstand tot de Schelde, kreekmonding en de nabijgelegen kreek. Naast de ligging en ruimtelijke variabelen wordt ook ingegaan op de verschillen van overspoelings- en drainagepatronen tussen pionier schor en oudere en/of hogere schorzones. Om de patronen in de drainage en overspoeling die los staan van het getij te verklaren wordt een verkennende vergelijking gemaakt met neerslagdata van Brasschaat (data KMI).

3.5.1 Methodes

Om overspoelingsfrequentie en – duur te meten wordt geopteerd om gebruik te maken van CTD-divers opgesteld in een volledig geperforeerde buis.

De CTD-Diver® van Eijkelkamp heeft een keramische behuizing, een keramische druksensor en een platina/keramische geleidbaarheidssensor (meetbereik 0 - 80 mS/cm), een diameter van 22mm, een lengte van 183mm, en een geheugencapaciteit van 16.000 meetwaarden.

Als meetfrequentie wordt geopteerd voor een 5 minuutinterval, wat een voldoende hoge resolutie is om overspoelingspieken bij hoog water goed beeld te brengen (figuur 3-44).



figuur 3-44: Overspoelingsgolf gemeten met een interval van 1 minuut versus 5 minuten

De divers worden opgesteld in volledig geperforeerde PVC-peilbuizen met filterkous. Hierdoor worden zowel overspoelings- als drainageregimes in beeld gebracht. De term grondwaterregime wordt hier expliciet niet gebruikt aangezien met deze methode geen sluitend beeld verkregen wordt van grondwaterpeilschommelingen. De methode met geperforeerde peilbuizen heeft echter een belangrijk voordeel dat zowel een maat voor overspoelingsfrequentie en –duur als het drainageregime kan verkregen worden.

Bij elke locatie wordt een bodembeschrijving gemaakt en een sedimentstaal genomen uit de bovenste bodemhorizon (max. 10cm –mv). Met een RTK-GPS wordt de top van de peilbuis en het naastliggende maaiveld gemeten om alle data te kunnen herleiden tot reële hoogteligging in meter TAW.

De referentiehoogte op een bepaald tijdstip wordt bepaald op het einde van de meetsessie. Soms gebeuren bijkomende referentiehoogtemetingen gedurende de meetperiode. Voor het meten van de referentiewaterhoogte wordt gebruikt gemaakt van een meetlint en peilapparaat of dompelklokje.

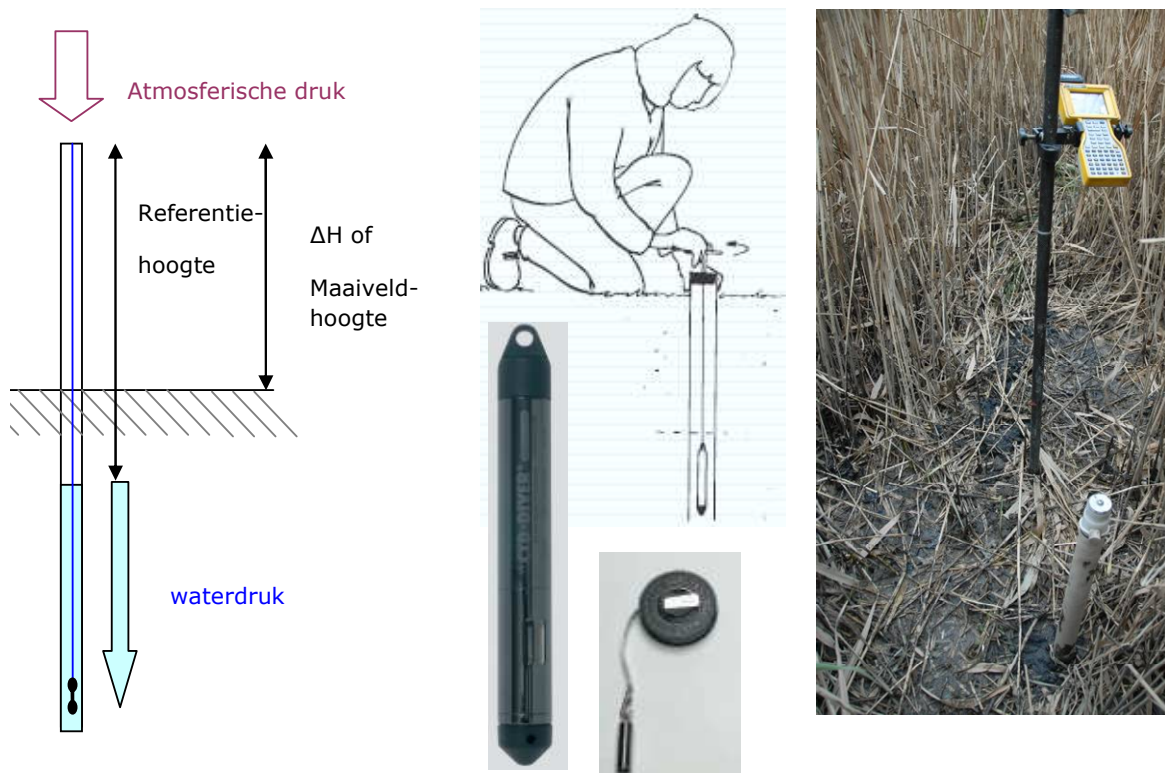
De atmosferische druk wordt gemeten aan de hand van een Barodiver in het binnendijkse gebied binnen een straal van 25 km.

Het waterniveau (cm TAW) wordt berekend op basis van volgende formule:

$$\text{Het waterniveau (cm TAW)} = [\text{totale druk}] + [\text{ijkfactor}] + [\text{maaiveldhoogte}] + ([Z_TAW] * 100)$$

- Totale druk (meting CTDdiver): waterdruk + atmosferische druk (barodiver)
- Ijkfactor: (referentiehoogte + waterdruk)
- Maaiveldhoogte: ΔH of de hoogte van de top van de peilbuis tot het maaiveld

De meetdata wordt bijkomend gecontroleerd en gekalibreerd op basis van het begintijdstip van de overspoeling en maximale overspoelingshoogte binnen elk gebied.

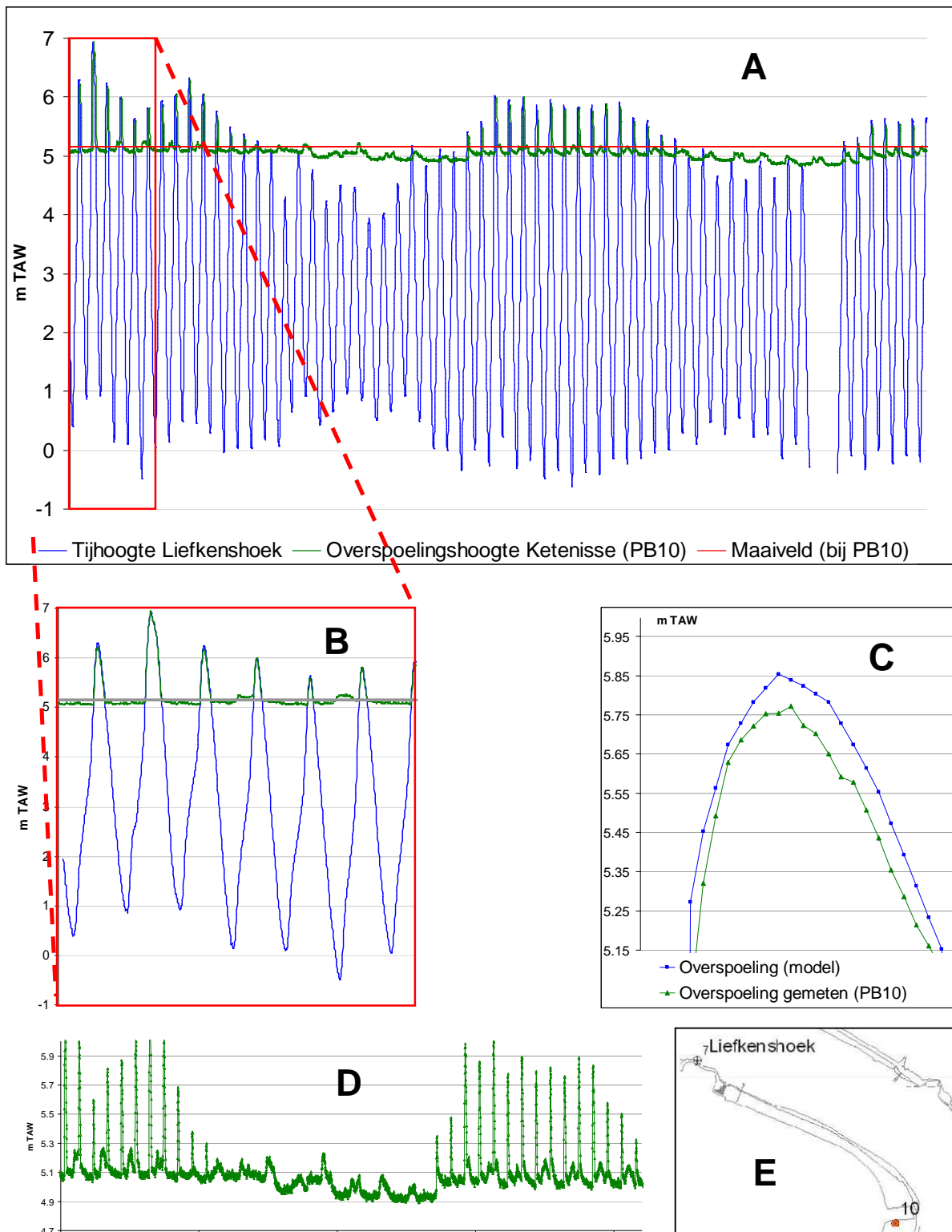


figuur 3-45: Schematische voorstelling meetmethode. Links: schematische voorstelling meetopstelling. Centraal: wijze van meten en benodigd meetmateriaal. Rechts: geperforeerde peilbuis met filterkous op meetlocatie met en RTK-GPS

3.5.2 Relatie overspoelingsregime in een schorgebied en getijdata in een naburige tijpost

In dit deel wordt een eerste oefening gemaakt om een relatie te vinden tussen de recent beschikbaar gekomen semi-gevalideerde tijdreeksen van verschillende tijposten (bron: Waterbouwkundig Laboratorium). Op basis van deze data willen we nagaan wat de mogelijkheden zijn naar extrapoleerbaarheid van de steekproef van peilmetingen in het schor gedurende 2 springtij-doodtijcycli naar een volledig jaar.

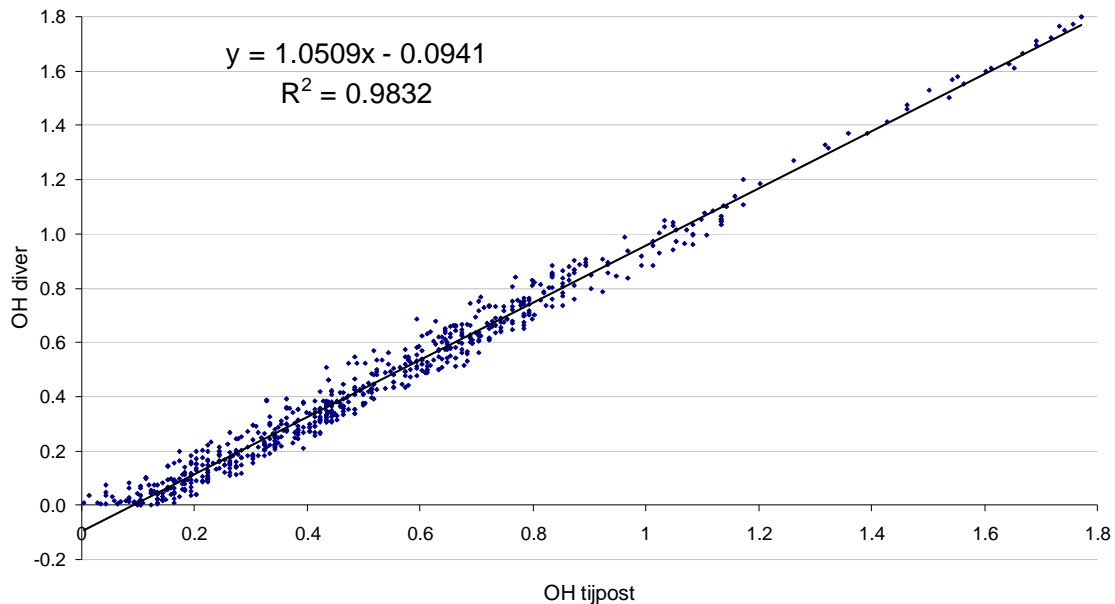
Als eerste testcase werd de relatie bekeken tussen **tijpost Liefkenshoek** (LH) en PB10 op Ketenisse schor (figuur 3-46). Belangrijkste reden is de relatief lage maaiveldhoogte van de meetlocatie op 5,15m TAW en de nabijheid van de tijpost op slechts 3km afstand tussen de punten.



figuur 3-46: A: vergelijking waterregime in Ketenisse en meetreeks tijpost Liefkenshoek voor periode 20 mrt 2008 -21apr 2008. B: detail van de eerste 6 hoogwatercycli. C: detail tussen overspoelingshoogte berekend en gemeten. D: detail van de PB10 overstromingscyclus, en E locatie van deze peilbuis PB10 ten opzichte van de tijpost Liefkenshoek.

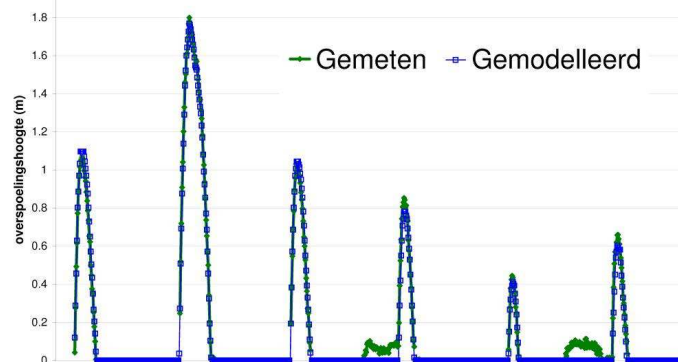
Het tijdsverschil tussen de tijpost Liefkenshoek en meetpunt MV10 bedroeg 5 minuten of 1 meeting. Bij hoogwater wordt de overspoelingshoogte in het schor van Ketenisse overschat

zoals geïllustreerd in figuur 3-46C. Het maximale verschil tussen overspoelingshoogte van diver en tijpost binnen deze meetperiode bedroeg 26 cm. Dit wordt bevestigd door de regressievergelijking die de relatie weergeeft tussen de verwachte overspoelingshoogte op basis van de tijpost en de gemeten overspoelingshoogte op het meetpunt (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).



figuur 3-47: Verschil in hoogte van de gemeten overspoelingshoogtes (OH) in m bij de diver en bij de tijpost Liefkenshoek

De gemeten overspoeling is globaal 9 cm lager dan de metingen in Liefkenshoek. Bij hoge waterstanden zijn de schormetingen hoger dan de metingen in de tijpost (richtingscoëfficiënt 1,05).



figuur 3-48: Verschil in overspoelingsregime op basis van enerzijds de gemeten diverdata (groen) en anderzijds de gemodelleerde (blauw) op basis van de tijpost Liefkenshoek

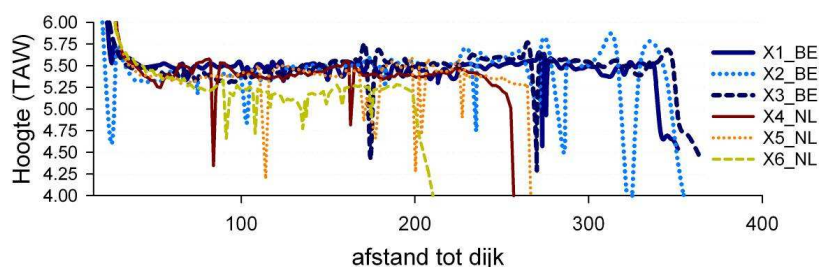
De overspoelingshoogte en – frequentie in het schor zijn door de regressievergelijking het best voorspeld bij hoog hoogwaterperioden in de Schelde.

De gemeten overspoelingsduur (n: 43975) bedroeg 12,37%. Dit staat in contrast tot de te verwachten overspoelingsduur op basis van de waterstanden in de tijpost die slechts 8,74% bedroeg. Na correctie voor de hoogte vermindert de gemodelleerde overspoelingsduur tot

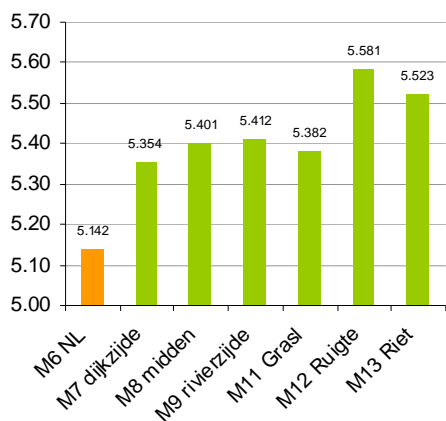
7,75%. Het verschil in gemeten tegenover gemodelleerde overspoelingsduur op het schor wordt echter nog door meerdere variabelen bepaald. Voorbeelden zijn locatie in het schorgebied, neerslag, etc. Dit wordt verder besproken in de analyse per deelgebied. Om de modellering van de overspoelingsduur te verbeteren is dus verder onderzoek nodig.

3.5.3 Mesohaliene zone: Schor Ouden Doel

Voor het Schor van Ouden Doel zijn 2 opeenvolgende meetreeksen beschikbaar. De divers zijn geplaatst op 5 verschillende locaties binnen het schorgebied, waarvan 6 in het Vlaamse deel en één in het Nederlandse deel. Ter hoogte van de meetlocaties werden schorprofielen gelopen met een TDK-Trimble GPS.



figuur 3-49: Hoogtevariatie langsheen 6 transversale transecten aan Nederlandse en Belgische zijde van het Schor van Ouden Doel



figuur 3-50: Hoogteligging in m TAW (links), en locatie van de peilbuizen op Schor van Ouden Doel (rechts)

Het Nederlandse deel van het schor van Ouden Doel bestaat hoofdzakelijk uit een smaller schor tov het Belgische deel. Het meest stroomafwaartse hoogtepunt (figuur 3-49: X6_NL) is het smalst en het laagst. Langs dit profiel ligt het pionierschor meetpunt (M6). Langs hoogtepunt X3_BE liggen de meetpunten M7-M9 en nabij hoogtepunt X2_BE liggen de meetpunten 11-13.

In het Vlaamse deel van het schor willen we nagaan hoe het overspoelings- en drainageregime verschilt afhankelijk van de positie binnen het schor en tussen de belangrijkste structuurtypen (grasland, ruigte, riet) en dit in deze hogere schorpunten verschilt van de patronen in het pionierschor (M6, NL). Om een deel van de drainagepatronen die onafhankelijk zijn van het getij te trachten te verklaren wordt ook een vergelijking gemaakt met neerslagdata van Brasschaat (data KMI).

3.5.3.1 Overspoelingsregime

De 1^e meetopzet in maart-april (M7-9) vertoonde een ruimtelijk gradiënt van de dijk tot aan de Schelde. Met afnemende afstand tot de schorrand betreft het de meetpunten M7 op 278m, M8 op 140m en M9 op 55m.

De 1^e meetreeks bestaat uit 2 hoge springtij- en 2 doortijperiodes. Binnen deze meetreeks vertonen de meetpunten een *overspoelingsfrequentie* van 50% (M7), 34% in (M8) tot 39% (M9) of een dalende tendens van dijk tot schorrand. Tijdens de 2^e meetreeks op het einde van de lente (april –juni) kwamen zowel hoge als lage springtijperiodes voor naast 2 doortijperiodes. In deze drogeperiode bedroeg de overspoelingsfrequentie voor een meetpunt met vergelijkbare hoogte als de 1^e meetreeks (M11) slechts 22%. Dit is een stuk lager en valt ook onder de te verwachten waarde van 37% op basis van de tijpostdata voor 2000 van de Prosperpolder.

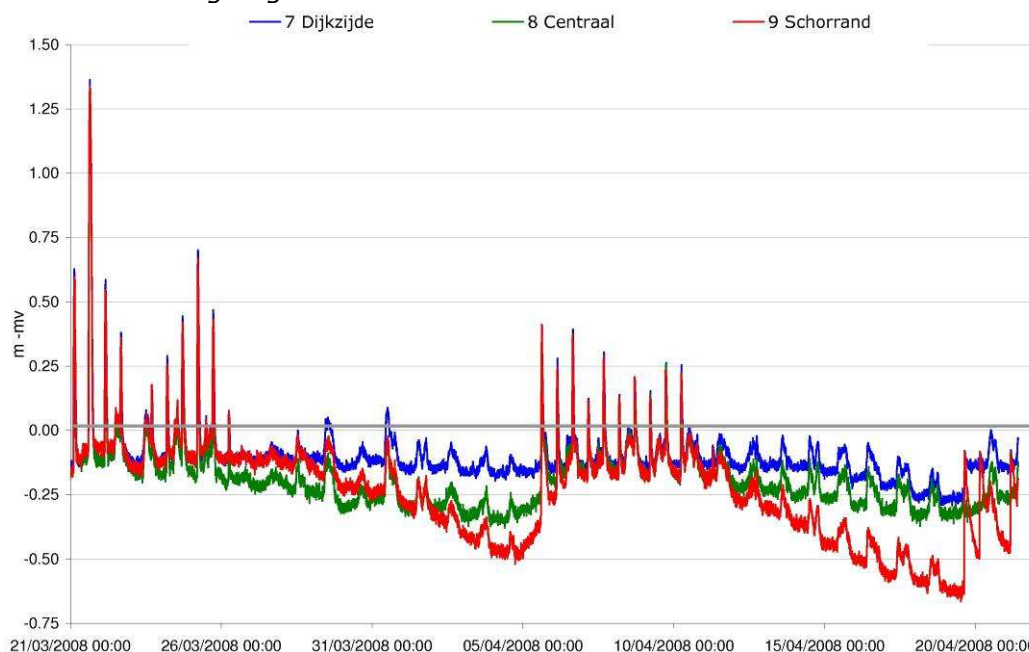
De *overspoelingsduur* bedroeg in de 1^e meetreeks 3,5 en 6,5% van de tijd, terwijl dit in de 2^e periode terugviel tot 2,0% van de tijd. De maximale overspoelingshoogte varieerde rond 1,3m in de eerste meetreeks en slechts 30cm in de tweede.

Naast deze meetlocaties (M7, M8, M9 en M11) gelegen op een hoogte rond de 5,4 m onderscheiden we nog een lager pionierschor M6 (NL, 5,14m TAW), een 2^e groep die boven de 5,50m TAW uitsteken (M12, M13).

Het *pionierschor* met Zeebies (M6, NL) is gelegen onder het gemiddeld hoogwater (GHW 5,19m en GHWS 5,63m) met een overspoelingsfrequentie van 66,9% en een overspoelingsduur van 9,3%. De maximale overspoelingshoogte op deze locatie in deze periode is 1,6m boven maaiveld. Op basis van de overspoelingsfrequenties voor een volledig jaar 2000 is op deze hoogte een overspoelingsfrequentie van 55% te verwachten.

De *hogere schormetpunten* gelegen 15cm onder GHWS (M12, M13; > 5m50), ondergaan in deze drogere periode slechts een overspoeling van 12 tot 13 % van de hoogwaters. Dit is een stuk lager dan de te verwachten overspoelingsfrequentie van 25% op basis van het jaar 2000. Het overspoelingsduur bedroeg slechts 0,66 tot 0,77% van de meetperiode en dit met een maximale overspoelingshoogte van slechts 19cm.

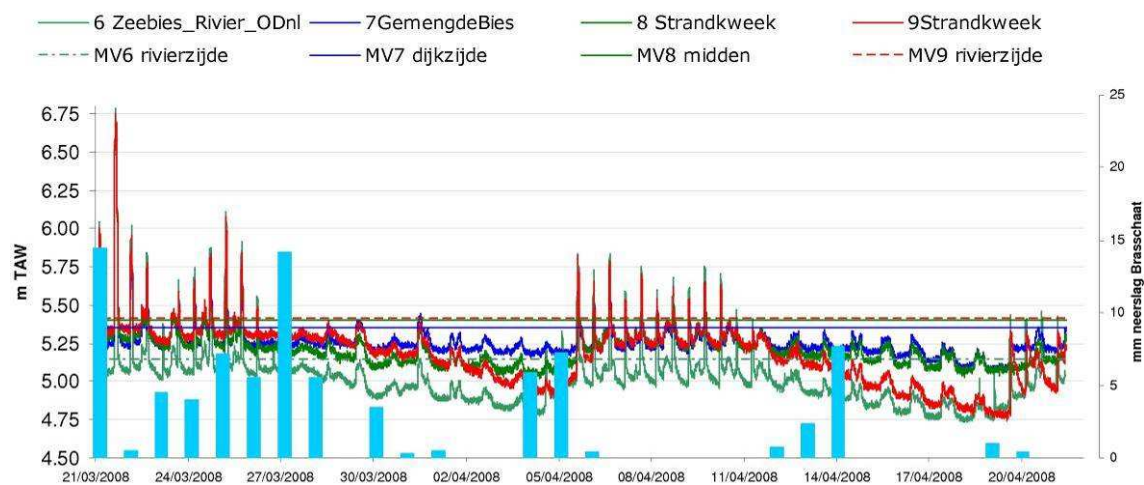
3.5.3.2 Drainageregime



figuur 3-51: Overspoelings- en drainageregime langsheen een afstandsgradiënt in 1e meetreeks maart-april 2008.

Globaal zien we een afwisseling van periodes met en zonder overspoeling (figuur 3-51). Deze vallen samen met de tweemaandelijks springtij- en doortijperiodes. Wanneer we de invloed van de afstand tot de Schelde bekijken, zien we dat hoe dichterbij de schorrand, hoe dieper de watertafel afwatert. In de komgronden nabij de dijk (M7) op een afstand van 278m van de schorrand zien we een maximale afwatering tot 29cm onder maaiveld. Nabij de schorrand op 55m van de rand bedraagt dit zelfs 67cm in de periode 20 maart tot 21 april 2008. Ook de variatie van het waterpeil in doortijperiode is het grootst nabij de schorrand. In de komgronden nabij de dijk blijft het waterpeil nagenoeg constant tot eind april, het begin van het vegetatiegroei-eizoen alsook een periode waar weinig neerslag werd geregistreerd.

Om het effect van *neerslag* op de peilschommeling in het schor te bekijken vergelijken we met de dagelijkse KMI neerslagdata voor Brasschaat op ongeveer 20km afstand van Schor van Ouden Doel.



figuur 3-52: Overspoelings- en drainageregime in combinatie met neerslag Brasschaat (mm/dag)

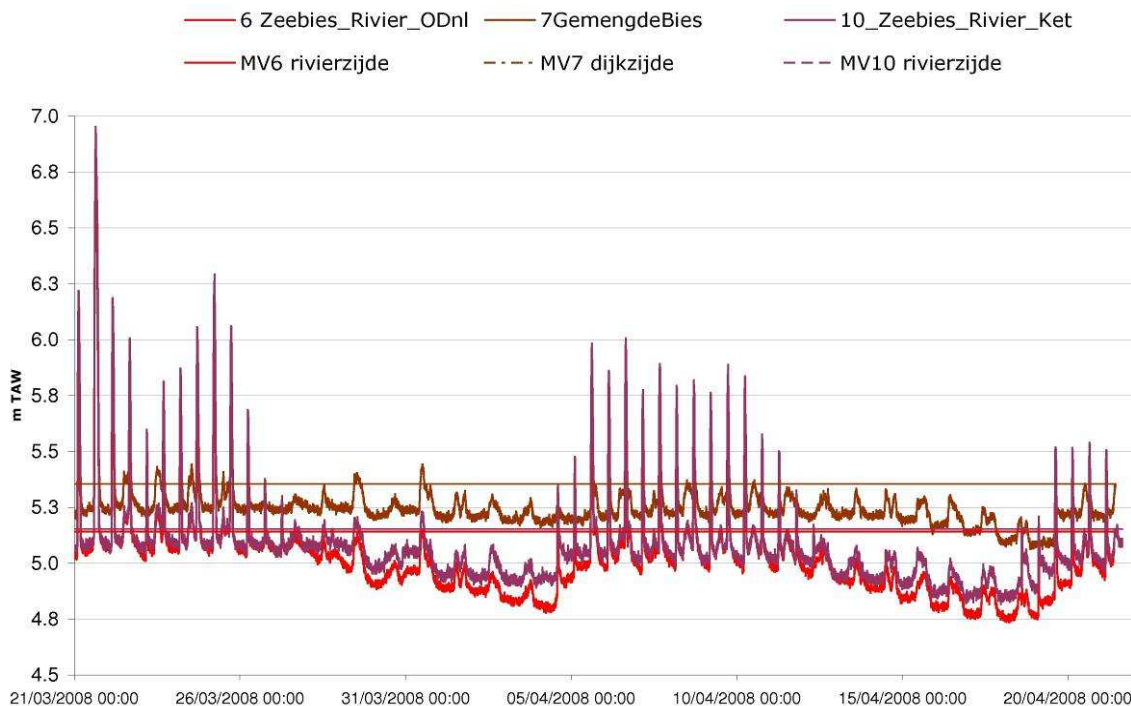
De neerslagperiode rond 27 maart (figuur 3-52) zorgt voor een beperkte vertraagde drainage in de meetlocatie 9 ten gevolge van een lokaal effect. Deze meetlocatie M9 is gelegen achter grotere oeverwallen in een kleine lokale komgrond. Meetlocatie 8 is nabij de kreek gelegen en ondervindt geen zichtbaar effect van de neerslag. M7 gelegen in de grote komgronden nabij de dijk vertoont na langdurige neerslag eind maart over een langere periode een constant peil.



figuur 3-53: Relatie tussen neerslag (data vanuit de meteorologisch station te Brasschaat) en drainage regime in functie van structuurtype op Schor van Ouden Doel

Uit de relatie neerslag en drainagepatroon in 2^e meetsessie (figuur 3-53) blijkt dat het drainage regime het sterkst beïnvloed wordt door neerslag in een doortijperiode. Voorbeelden zijn vooral te zien bij langere periodes met neerslag, zoals gemeten in Brasschaat rond o.a. 28-29 april en 15-16 mei.

Pionierschor versus schorzone

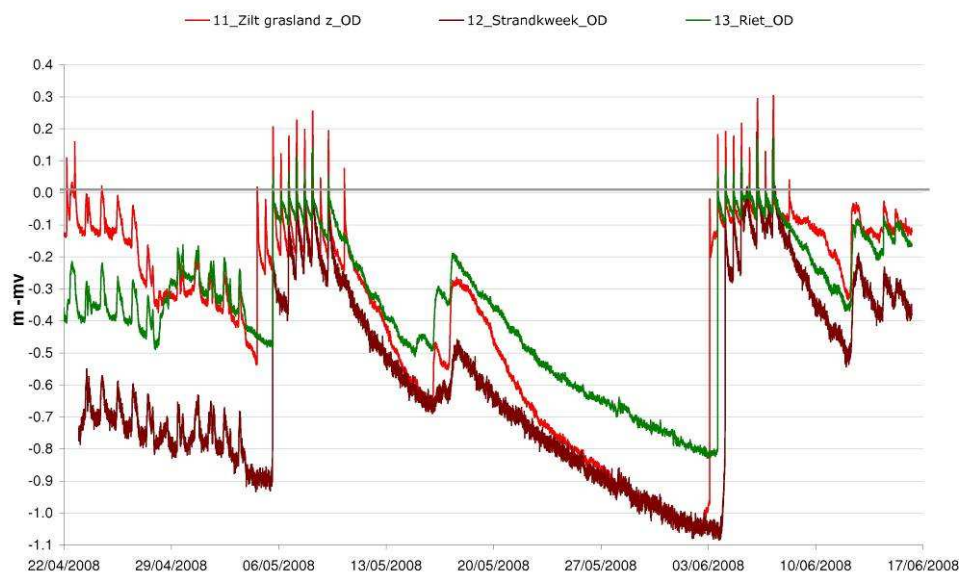


figuur 3-54: overspoeling- en drainage regime van een pioniervegetatie

Het overspoelings- en drainageregime van *pionierschortypes* met Zeebies of Heen (figuur 3-54, *Scirpus maritimus*) is in de 1^e meetreeks bekeken op 3 verschillende locaties: M6 gelegen in het Nederlandse deel en M7 in de komgronden van het Belgische deel van het Schor van Ouden Doel, M10 in Ketenisse (een natuurontwikkelingsproject in de oligohaliene zone nabij de Boudewijnsdijk).

Dit pionierschortype ondervindt door de lagere ligging hogere overspoelingshoogtes (max. M6: 1,65m; max M10: 1,8m) en een langere overspoelingsperiode. Het laagste drainageniveau varieert tussen 30 en 40cm in maart-april. De overspoelingsfrequenties varieerden van 66% in M6, 50% in M7 tot maar liefst 77% in M10. Dit wijst op de brede range van overspoelingsregime waarin het pionierschortype voorkomt. Allen liggen boven de 45% overspoelingsfrequentie (OF) grens voorgesteld voor pionierschorzones door Van Braeckel et al. (2008). Het drainageregime gaat bij Zeebiesgemeenschappen minder diep dan in de andere plantengemeenschappen. Dit wordt veroorzaakt door ofwel een frequente overspoeling, ofwel een verminderd afwateringsvermogen. Ecologisch blijken er verschillen tussen de 2.

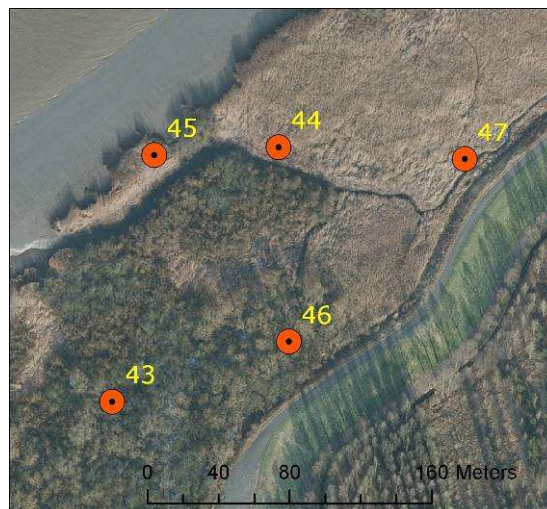
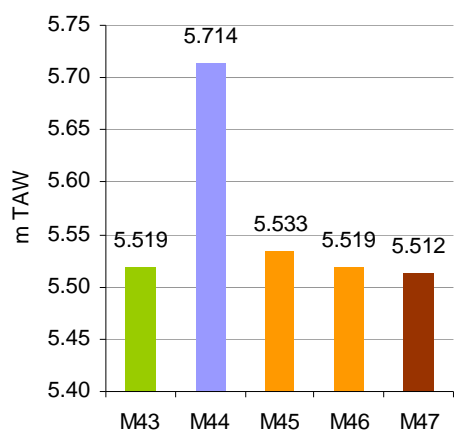
Het meetpunt M7 met de hoogste hoogteligging en overspoelingsfrequentie blijkt eerder een secundair pioniertype te zijn dat sterk in plantensoortensamenstelling kan variëren in de tijd. De andere locaties zijn pionierschorren. In het Nederlandse deel is dat ontstaan na een degradatie van het schordeel met mediane overspoelingsfrequentie, in Ketenisse betreft het een jong aangroeiende pionierschor met de hoogste overspoelingsfrequentie.



figuur 3-55: overspoelings- en drainageregime van verschillende structuurtypes in Schor van Ouden Doel op dezelfde afstand van de Schelde

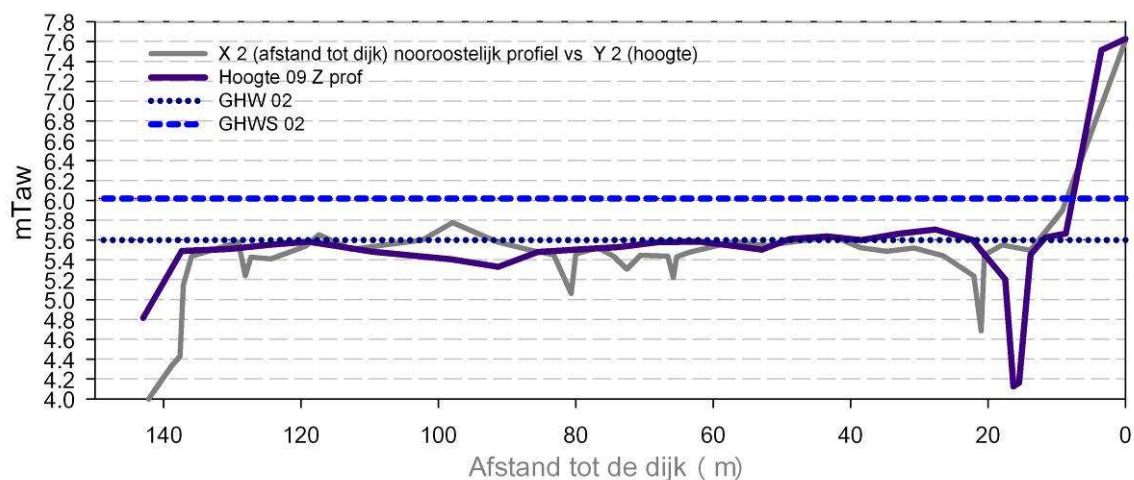
De riet en strandkweek-meetlocaties in meetreeks 2 (figuur 3-55) vertegenwoordigen een hoge *schorzone* tot 20cm hoger dan de gemiddelde hoogte van het schor. Hierdoor overspoelden de meetlocaties niet in het begin van de meetperiode. Dit is in tegenstelling tot meetlocatie M11 die deel uitmaakt van het zilte grasland. De hoogteligging van M11 is vergelijkbaar met de 1^e meetreeks. Bij deze vergelijking blijkt dat met het vorderen van het groeiseizoen (in loop van de 2^e helft van mei) de verhoogde evapotranspiratie verantwoordelijk is voor de sterke drainage tot ongeveer 1m onder het maaiveld. In de eerste meetperiode daarentegen bedroeg het maximale drainagepeil slechts 66cm onder het maaiveld.

3.5.4 Oligohaliene zone: Schor van Notelaer



figuur 3-56: Links: Hoogteligging en rechts: de locaties van de divers op de Notelaer

In het Schor van de Notelaer zijn begin 2009 een vijftal meetlocaties opgevolgd (figuur 3-56). De meeste diverlocaties liggen op een hoogte rond 5,5m TAW, met uitzondering van M44, die gelegen is op een oeverwal naast de megakreek.



figuur 3-57: Hoogtevariatie langsheen 2 transversale transecten in de Notelaer

Als we de hoogteprofielen bestuderen (figuur 3-57), zien we dat het grootste deel van het schor tussen 5,4 en 5,6mTAW ligt. In het noordoostelijk profiel zijn 3 komgronden met kreken te zien, een eerste nabij de schorrand, de tweede nabij de kreek die de grens vormt tussen oud en jong schor en een derde, de megakreek, dicht tegen de dijk. Het zuidelijk profiel vertoont twee grote oeverwallen (>5,6m) één nabij de rivier en één nabij de megakreek aan de dijk, met daartussen een komgrond.

Algemeen kunnen we stellen dat langs het grootste gedeelte van de megakreek een hoge oeverwal aanwezig is, waarop ook M44 ligt. Meetpunt M45 ligt aan de schorrand van een sterk afkalvend deel van het schor. M47 ligt op de lagere oeverwal van de dijkkreek.

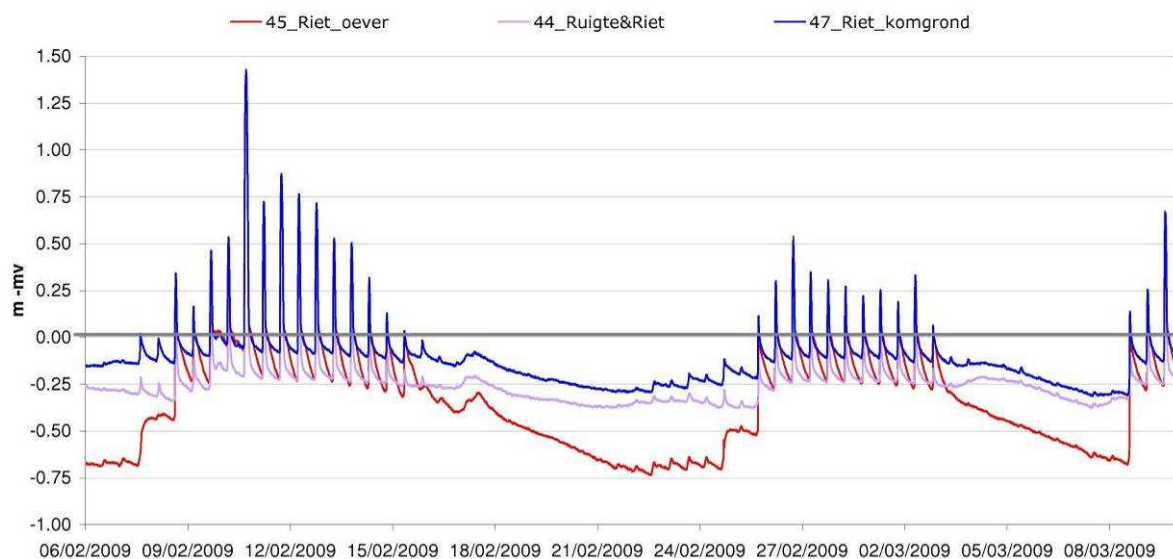
In deze meetreeks is gekeken naar de variatie bij toenemende afstand van de schorrand naar de dijk langsheen de megakreek: M45 op 9,5m van de schorrand, M44 op 44m en M47 op 130m van de schorrand. Verder worden deze meetpunten op het 'nieuwe schor' vergeleken met het oude beboste schorgebied (M43, M46).

3.5.4.1 Overspoelingsregime

De variatie in het overspoelingsregime op het schor van de Notelaer is beperkter dan op het Schor van Ouden Doel en gaat van oeverspoelingsfrequentie 56% in het beboste komgrond tot 42% op de hoge oeverwal langs de megakreek (figuur 3-58). Ondanks het feit dat de meetpunten dezelfde hoogteligging hebben is een grotere variatie gevonden in het meetpunt aan de schorrand (M45) dan in de komgrond nabij de dijk (M47). De schorrand overspoelt slechts 48% van de hoogwaters terwijl dit in de komgrond nabij de dijk (M47) 55% bedroeg. Het beboste oude schormeetpunt (M47) vertoont een vergelijkbaar overspoelingspercentage als M47 in de komgrond. Van de oude schorpunten vertoont het bosmeetpunt (M46) dichtst bij de megakreek het hoogste overspoelingspercentage van 56% terwijl het in het meer zuidelijk gelegen bosmeetpunt (M43) 52% bedraagt.

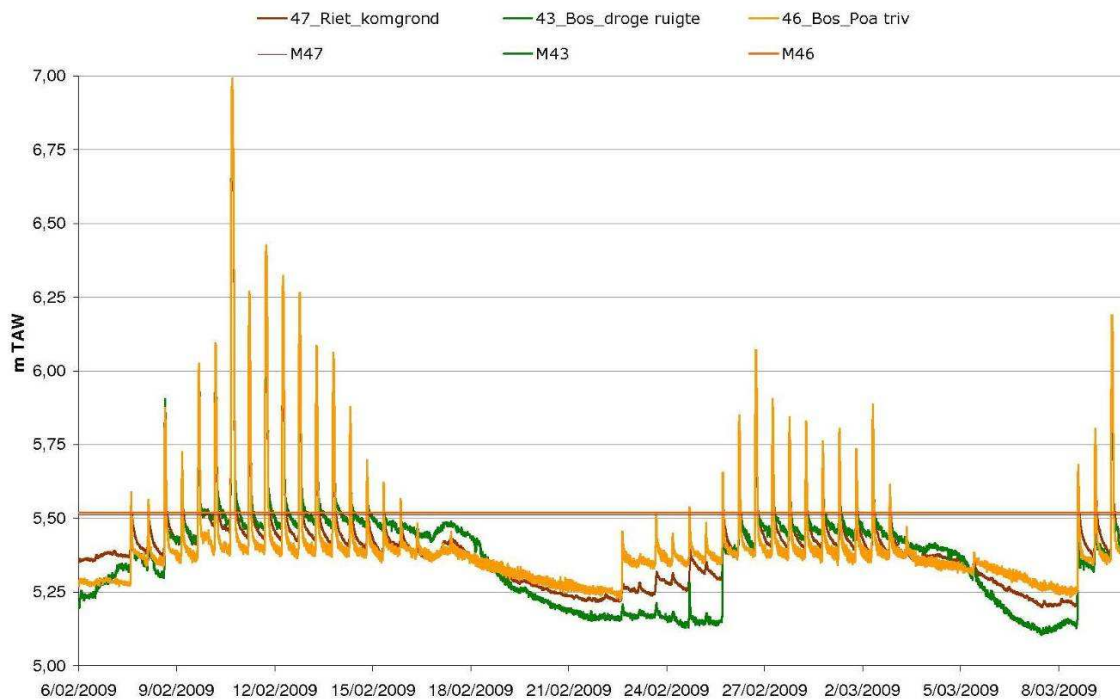
De overspoelingshoogte in deze meetreeks februari-april 2009 bedroeg maximaal 1,47m in bosmeetpunt M46 en het laagst 1,20m nabij de oeverwal. de overspoelingsduur varieerde tussen 4% (M44) en 10% (M45) van de meetperiode.

3.5.4.2 Drainageregime



figuur 3-58: Overspoeling- en drainageregime op verschillende afstanden van de Schelde in de Notelaer

Wanneer we het waterregime globaal bekijken, zien we een duidelijke toename van het drainageniveau van de komgronden naar naar de schorrand. Nabij de schorrand draineert het waterpeil tot 74cm onder het maaiveld, aan de oeverwal 40cm terwijl het slechts 33cm bedraagt ter hoogte van de megakreek nabij de dijk. De diepste drainage gebeurt tijdens doortijperioden. Aan het begin van een springtijperiode stijgt bij elk hoogwater het drainageniveau.



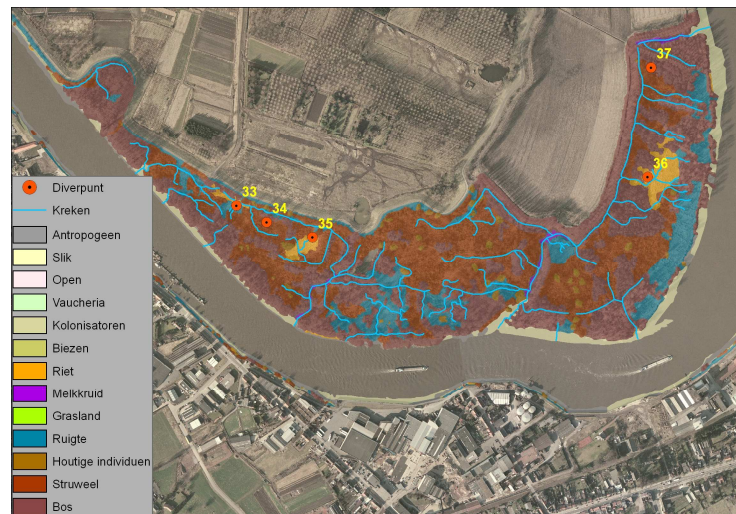
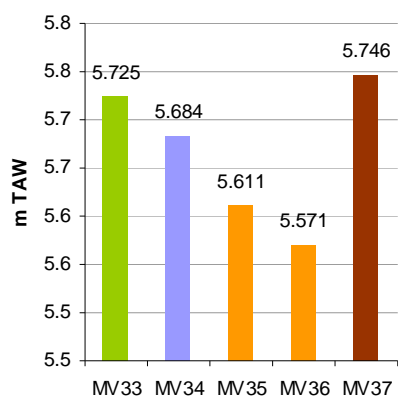
figuur 3-59: Overspoeling- en drainageregime in jong schor met riet tegenover bosrijk oud schor binnen de Notelaer.

Als we de bosmeetpunten M43 en M46 vergelijken (figuur 3-59), zien we dat het bosmeetpunt dichtst bij de megakreek (M46, 133m van de schorrand) tenopzichte van het bosmeetpunt M43 zowel een hoger overspoelingspercentage als een lager draineringsniveau bereikt (30cm onder maaiveld). Waarschijnlijk is dit te verklaren door de groter afstand tussen M43 en een eerste order kreek, hoewel de afstand tot de schorrand kleiner is (89m). In doortijperiodes zakt het water in M43 12cm dieper weg dan in M46. In de springtijperiodes is een omgekeerde tendens zichtbaar.

Wanneer we het oud en jong schor vergelijken, zien we vooral sterke gelijkenissen tussen de meetpunten die beiden afwateren via de megakreek (M46 & M47). Het enige verschil is de snellere afwatering van Rietmeetpunt M47 ten opzichte van bosmeetpunt M46 in springtijperiodes, alsook een tragere irrigatie bij de start van een nieuwe springtijperiode. De oorzaak kan zijn de kleinere dimensies van de zijkreek die het gebied draineren nabij M46 tegenover de megakreek die instaat voor de afwatering van het gebied rond M47.

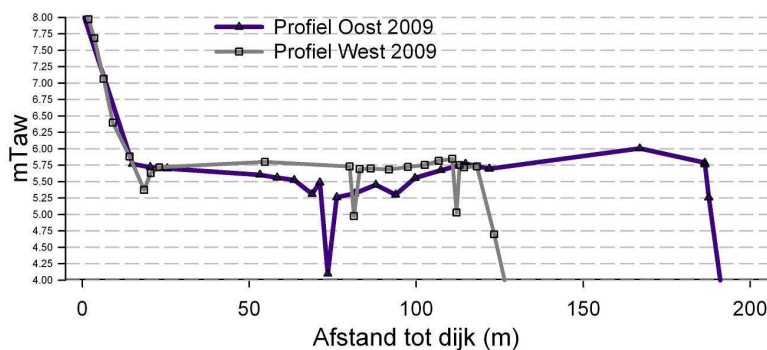
3.5.5 Zoete zone met lange verblijftijd: Groot Schoor van Hamme

In het Groot Schoor van Hamme gebeurde van half november tot half december 2008 een divermeetreeks (figuur 3-60). De diverlocaties zijn gespreid over 2 deelgebieden van het schor. In het westelijk deelgebied liggen M33, M34 en M35 op een dalende afstand tot de kreekmonding (op respectievelijk 460, 380 en 280m afstand). In het oostelijk deelgebied liggen M36 en M37 op respectievelijk 500 en 730m afstand van de megakreekmonding. Allen liggen relatief ver van de schorrand (tussen 100-170m). Echter, vooral in het oostelijk deel met zijn 'invers' drainagepatroon is de afstand tot de schorrand vermoedelijk minder relevant dan de drainage afstand en de afstand tot de megakreek.



figuur 3-60: Links: hoogteligging en rechts: situering van diverlocaties in het Groot Schoor van Hamme

Op basis van de transversale hoogteprofielen (figuur 3-61) is een smaller westelijk deel zichtbaar (gemiddelde breedte: ~150 m) met een globaal hogere ligging en minder diep ingesneden kreeken. De brede oostelijk zijde (gemiddelde breedte: ~200m) heeft een zeer diep ingesneden megakreek met een steile gradiënt van lage komgrond nabij de kreek (5,25-5,50m TAW) tot hoge oeverwallen deels opgebouwd uit restanten van de historische zomerdijk (5,5-6,0 m TAW).

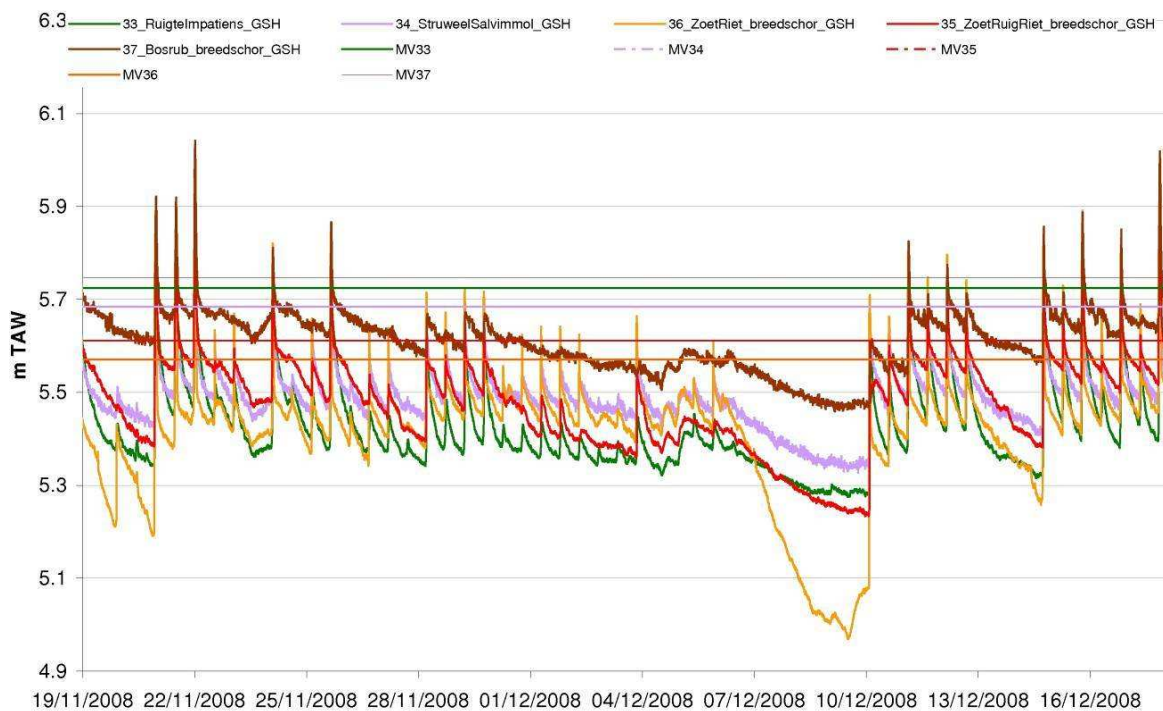


figuur 3-61: Hoogtevariatie langsheen 2 transversale transecten in het Groot Schoor van Hamme

3.5.5.1 Overspoelingsregime

De variatie in het overspoelingsfrequentieregime gaat van 55% in de komgrond nabij de megakreek in het oostelijk deelgebied tot 21% op de meest stroomopwaartse locaties langs de kreeken zowel in het oostelijk als westelijk deelgebied (M33 en M37).

In het westelijk deelgebied met een kleine ondiepe kreek zien we een hoogste overspoelingsfrequentie van slechts 31% (M35) terwijl in het oostelijk deel met de megakreek meer dan de helft van de hoog waters het gebied overspoelt (M36: 55%). De vermindering van de overspoelingspercentage stroomopwaarts de kreek gaat in het westelijk deel van 31% naar 24% en uiteindelijk tot 21% over een afstand van slechts 100m, terwijl eenzelfde daling in het oostelijk gebied pas na 240m bereikt wordt (M36-M37).



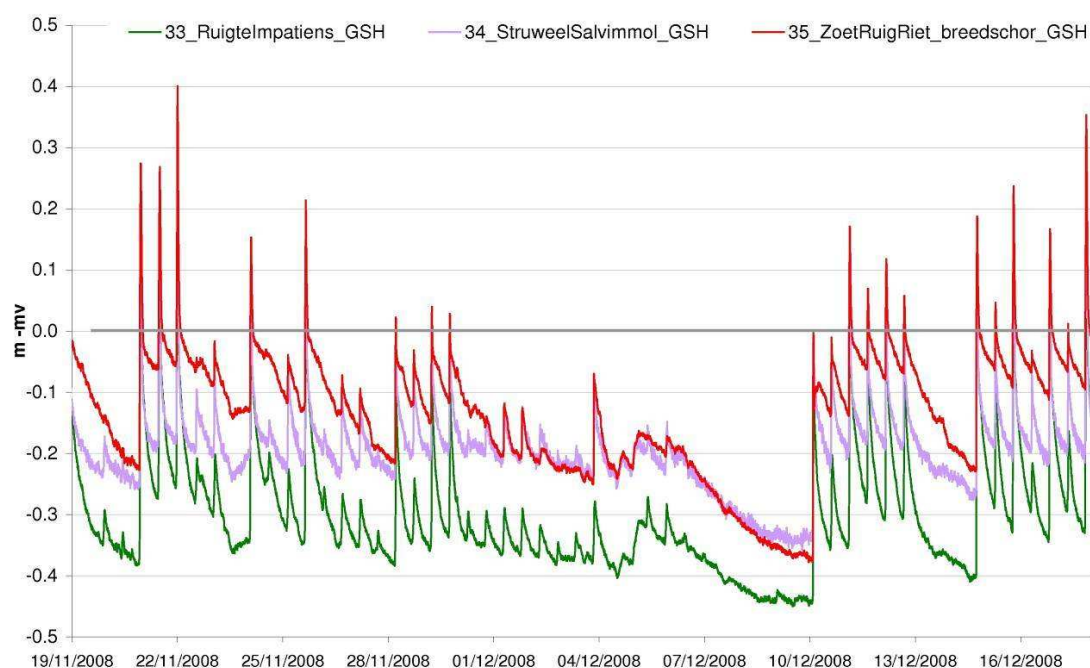
figuur 3-62: Overspoeling- en drainageregime in het Groot Schoor van Hamme

De overspoelingshoogte in deze meetreeks tussen half november en half december 2008 bedroeg maximaal 47cm nabij de megakreek tot 30cm boven de oeverwallen (M33:30cm, M37:32cm). De overspoelingsduur is zeer laag en varieert tussen 1,5% (M33) en de 4,2% (M36) van de meetperiode (34,6 dagen).

3.5.5.2 Drainageregime

In het westelijk deel bekijken (figuur 3-63) zien we een duidelijk verschil tussen het meetpunt stroomopwaarts van de kreek (M33) en de twee stroomafwaartse (M34-35).

Het laagste punt M35 draineert het minst diep (maximaal 38 cm), M34 zit tussenin en op de oeverwal draineert M33 tot 45cm. Dit laatste meetpunt draineert zeer snel na elk tij tot dieper dan 30cm. M34 zakt iets minder diep en M35 als laagste meetpunt behoudt de hoogste waterspiegel met uitzondering van de droge doortijperiode rond 8 december.



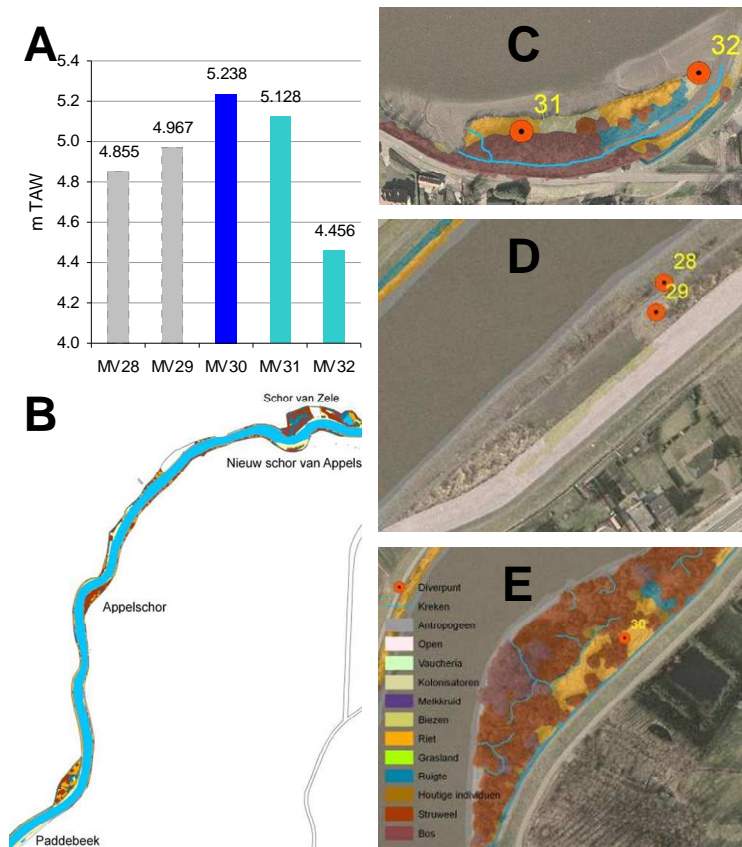
figuur 3-63: Overspoeling- en drainageregime in het westelijk deel van het Groot Schoor van Hamme

In het oostelijk deel van het schor (figuur 3-64) is een duidelijk verschil zichtbaar in drainageregime tussen het meest stroomopwaartse punt van de kreek M37 en het laagste M36. Het laagste punt draineert zeer diep tot 60cm terwijl het hoogste slechts 28cm onder het maaiveld wegzakt.



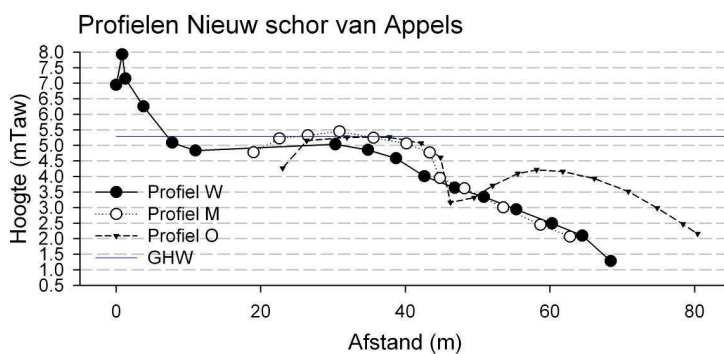
figuur 3-64: Overspoeling- en drainageregime in het oostelijk deel van het Groot Schoor van Hamme

3.5.6 Zoete zone met korte verblijftijd: Nieuw schor van Appels en nabijgelegen zoete schorgebieden



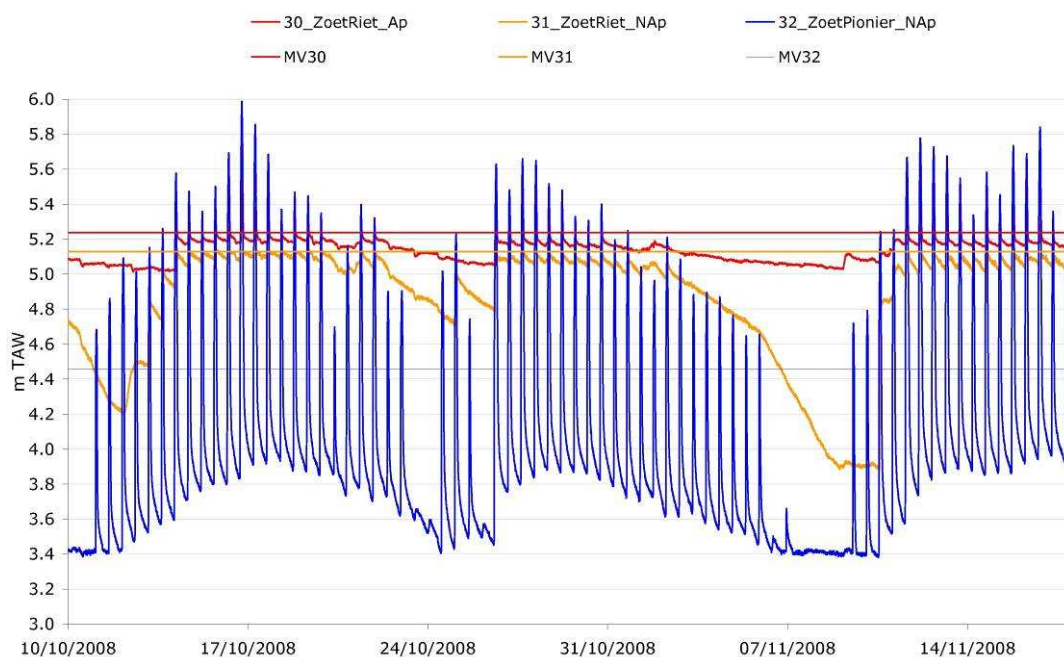
figuur 3-65: A: hoogteligging van de peilbuizen. B: situering van de schorren met waarnemingen. De peilbuislocaties binnen C) het Nieuw schor van Appels, D) de dijkverlegging te Paddebeek, en E) het Appelschor.

In het Nieuw Schor van Appels en de nabijgelegen schor- en natuurontwikkelingsgebieden gebeurde van half oktober tot half november 2008 een divermeetreeks (figuur 3-65). De diverlocaties zijn gespreid over het Nieuw schor van Appels, en de 2 nabijgelegen gebieden namelijk Appelschor (M30), een 80m breed oud schor, en Paddebeek (M28, M29), een nieuw door dijkverlegging ontstaan schorgebied (uitvoering september 2003). Met deze meetreeks willen we vooral kijken naar het effect van schorleeftijd, de breedte van het schorgebied alsook de wijze waarop het schor ontstond en zich verder ontwikkelde.



figuur 3-66: Hoogtevariatie langsheen 2 transversale transecten in het Nieuw schor van Appels

Het Nieuw schor van Appels ontwikkelde op een slikplaat die ontstaan in de luwte van een uitbocht door de verschuiving van de vloedgeul richting van het schor van Zele (zie 3.4). Erosie van de zomerdijk en vaargeulonderhoud lagen aan de grondslag van deze verschuiving met een verkorting van de bocht van Zele tot gevolg. Schoraangroei op deze slikplaat was beperkt en in 1993 werden bij wijze van experiment biezen aangeplant. Het nieuw schor van Appels bestaat nu uit een 40m breed, aaneengesloten schorgebied aan de westelijke kant en een wigvormig oostelijk deelgebied waarin een grote kreek nabij de dijk bleef bestaan. De transversale hoogteprofielen (figuur 3-66) vertonen enerzijds een westelijk profiel met een aaneengesloten dijk, anderzijds een schor- en slikgebied met een geleidelijke helling van schor naar slik waar meetpunt M31 gelegen is. Het middenprofiel heeft een hoger schorgedeelte maar met een steile slik-schor overgang. Het oostelijk deel vormt een klein wigvormig deelgebied waar meetpunt M32 op de slik-schorrand in de pioniervegetatie gelegen is. Aan de Scheldekant van het oostelijk deel vormt zich een zandbank.

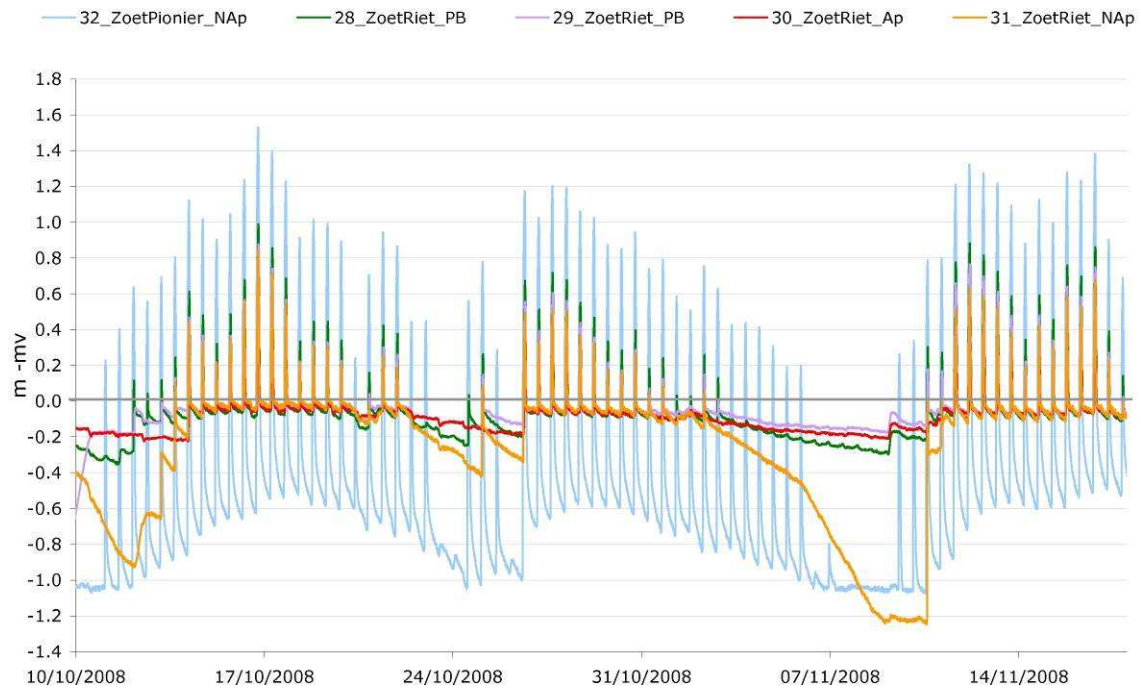


figuur 3-67: Overspoeling- en drainageregime in het Nieuw schor van Appels

3.5.6.1 Overspoelingsregime

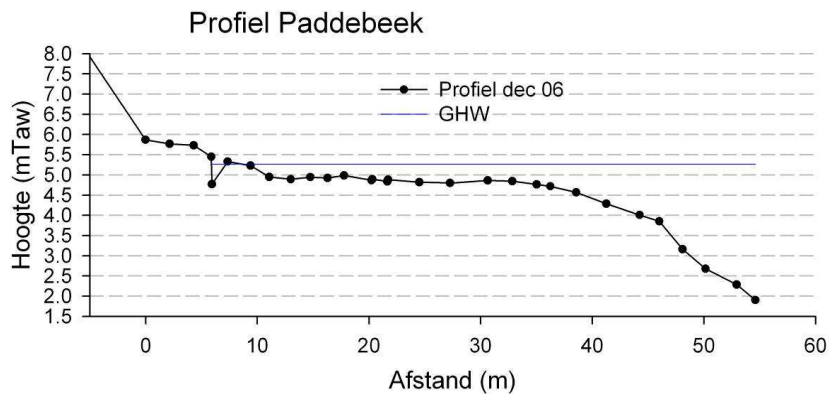
De variatie in de overspoelingsfrequentie (figuur 3-67) gaat van 86% in het oostelijk deel van Nieuw schor van Appels (M32) tot 38% in het ouder meer stroomopwaarts gelegen Appelschor (M30). Binnen het Nieuw schor van Appels zien we in het westelijk deel hoger schorgedeelte (M31) een lager overspoelingsfrequentiepercentage van 52% tegenover de 86% in het pionierschor. In verhouding met het ouder Appelschor is het westelijk gedeelte van het Nieuw schor van Appels met 11cm verschil in hoogte toch nog frequent overstroomd. De overspoelingshoogte in deze meetreeks bedroeg maximaal 1,53m in het pionierschor terwijl het de andere minder dan 1m bleef (M30: 67cm, M31: 85cm). De overspoelingsduur varieert tussen 16% (M32) en 3,9% (M30) tijdens de 40 dagen meetperiode.

3.5.6.2 Drainageregime



Wanneer we het verloop van de waterregime in het Nieuw schor van Appels en het nabijgelegen Appelschor bekijken (figuur 3-69), zien we een gradiënt van jong naar oud maar ook van hoog naar laag dynamisch schor. Het meetpunt M32 is een ijl pionierschor en vertoont een zeer dynamisch waterregime. M31 op het Nieuw schor van Appels kent een matig dynamisch waterregime met de diepste drainage (maximaal 1,25m). Het meetpunt in het oude Appelschor vertoont de laagste dynamiek met een maximale drainage van slechts 22cm. Het meetpunt op het oude schor van Appels behoudt de hoogste waterpeilen met uitzondering van de droge doortijperiode rond 9 december. Het zeer frequent overstromend pionierschorm Meetpunt vertoont een maximale drainagediepte van slechts 1,07m. De frequente overspoeling zorg hier waarschijnlijk voor een minder diepe drainage dan in meetpunt M31.

Een vergelijking van de waterregimes tussen het Nieuw schor van Appels, aangeplant op een natuurlijke slikplaat en het meer stroomopwaarts natuurontwikkelingsgebied Paddebeek, ontwikkeld achter de restanten van een oude Sigmadijk levert opvallende verschillen (figuur 3-68). De meetpunten M29 en M28 in Paddebeek vertonen een veel lager drainageniveau dan het Nieuw schor van Appels. Qua verloop vertoont het vooral grote gelijkenissen met het Appelschor. Het hoogtepfiel van Paddebeek (figuur 3-69) levert een deel van de verklaring, namelijk de grotere breedte van Paddebeek tov Nieuw schor van Appels. De bodemsamenstelling van het schor van voorliggende slik kan mogelijks ook een rol spelen. Vooral het feit dat vanaf afstand 35m van de nieuwe dijk in Paddebeek de ondergrond nog bestaat uit de voormalige dijkvoet, en dat afwatering van het schor vertraagd wordt door breuksteenruggen tussen de terrassen heeft in Paddebeek een dempend effect op de drainage.



figuur 3-69: Hoogtevariatie langsheen een transversaal transect in het nieuw ontwikkeld schor Paddebeek

3.5.7 Algemene discussie

Algemeen kunnen we stellen dat het overspoelingsregime sterk afhangt van de springtij-doodtijcycli en het type van springtijcycli binnen het jaar. De variatie van overspoelingshoogte, -frequentie en vooral de overspoelingsduur is in eerste plaats bepaald door het lokale getij, afhankelijk van de ligging langs de getijderivieras, en in tweede plaats de ligging van de meetlocatie binnen een gebied. De grootste verschillen in overspoelingsfrequentie zijn te vinden tussen het pionierend schortype en de andere schortypes. Bij het pionierschortype overspoelt meer dan de helft van de hoogwaters de locatie. Voor de hogere schortypes is naast de spreiding langs de getijderivieras ook een lokale topografie namelijk komgrond of oeverwal positie van belang. Een komgrondlocatie kent een hogere overspoelingsfrequentie- en duren, doorgaans langer dan verwacht op basis van de tijhoogte. Daarenboven zorgt het lager drainageniveau verder van de schorrand voor een globale meer gedempte omstandigheid waar de steeds zeldzamer wordende natte pioniervegetaties nood aan hebben.

Uit zowel de meetreeksen van Ouden Doel, Notelaer en Hamme blijkt dat krekens die ver in het schor reiken een potentieel hebben de overspoelingsfrequenties te verhogen ondanks een gelijke hoogteligging. Dit bevestigt nog maar eens het belang van een voldoende grote kreekverwevenheid met grote basiskrekens en vertakkingen om een schor optimaal te laten functioneren (Brys et al., 2005).

Daarnaast bieden nieuwe natuurontwikkelingsgebieden door de lage hoogteligging voor gunstige omstandigheden voor toekomstige pionierschorzones (Van den Neucker et al., 2007).

4 Evolutie van de Zeeschelde op macroschaal

4.1 Ecologische oeverbeoordeling

4.1.1 Aanleiding

In 1995 is door Hoffmann & Meire (Hoffmann & Meire, 1997) de oeverstructuur van de Zeeschelde beoordeeld op:

- antropogene beïnvloeding (s_1) van het overgangsgebied tussen subtidaal en schor en/of dijktaalud, waarbij een rangschikking wordt gemaakt van structureel minder waardevol (waarde 0) tot structureel zeer waardevol (waarde 4);
- de slikbreedte (s_2) en/of schorbreedte (s_3), als waarde criterium voor slik en schor.

Tenslotte worden bijzonderheden genoteerd aangaande gebruiksvormen van de oever, speciale oeververdedigingsstructuren, slikcondities en dergelijke (zie tabel 3 in Hoffmann & Meire, 1997). Voor deze oeverkenmerken wordt steeds een apart symbool gebruikt, waardoor elke oever een code krijgt uit vijf symbolen.

In 2009 willen we door een eenzelfde aanpak enerzijds de huidige toestand evalueren alsook de evolutie bekijken tussen 1992 en 2009. Tevens werd de legende uitgebreid naar specifieke geomorfologische en antropogene structuren.

Het algemeen structuuroordeel (S_{alg}) is bij Hoffmann & Meire (1997) samengesteld uit oeverstructuur (graad van menselijke beïnvloeding), slik(-) en met schor(breedte) als laatste en belangrijkste factor.

De gehanteerde beoordelingscriteria voor de oeverstructuur van de estuariene Zeeschelde, geeft een totaal beeld van de oeverkwaliteit aangezien de breedte van slik en/of schor in belangrijke mate de oeverstructuurkwaliteitsbeoordeling bepalen.

Naast structuur vormt ook connectiviteit een belangrijke ecologische kwaliteitsdoelstelling. De mate van verbondenheid van habitat van hetzelfde type omvat zowel de afstand tussen de habitats als de aan- of afwezigheid van geschikte verbindingsstructuren (corridors) tussen de habitats. Hierbij vormen de corridors als het ware de ecologische infrastructuur van het ecosysteem en zijn ze essentieel voor een hoge ecologische kwaliteit.

Naast het streven naar brede slik- en schorgebieden moet dus ook gestreefd worden naar een zo groot mogelijke habitatcontinuïteit d.m.v. corridors en/of stapstenen met een goede kwaliteit

4.1.2 Methodes

De oeverstructuurkenmerken werden als lijnstukken gedigitaliseerd, waarbij gebruik gemaakt werd van de vegetatiekaarten (1992 en 2006).

Bij Hoffmann & Meire (1997) gebeurde de oeverkartering van de grote schorgebieden in de zomer van 1992 van op de Scheldedijken en de schorren. De tussenliggende oevers met een smal schor werden in februari 1993 van op het water bij laagtij geïnventariseerd tijdens een viertal boottochten (schepen Scaldis I en II) en van op de dijk in de meest stroomopwaartse delen.

In februari 2009 zijn de oevers gekarteerd tijdens 3 boottochten (NL-grens tot Antwerpen, Antwerpen tot Dendermonde, Dendermonde tot Merelbeke; Scheldewacht & Scaldis). Het traject Heusden tot Gentbrugge is vanop de dijk geïnventariseerd. De legende werd vooraf

getest op traject van Antwerpen tot Dendermonde. Alle veldwaarnemingen zijn nadien gecombineerd geïnterpreteerd met de vegetatiekartering van 2003-2004.

In beide gevallen betreft het de rechtstreeks van op het water zichtbare oevers langs de Zeeschelde, inclusief de oevers langsheen getijhavens en killen, maar exclusief de oevers langs kreekgeulen in de schorgebieden.

4.1.2.1 Legende

De oevers van de Zeeschelde werden in het veld beoordeeld op basis van 4 aspecten (Tabel 7):

1. Het *oevertype*: algemene typering van de oever (onverdedigd, verdedigd, verticale constructie;...)
2. het *slikzone*: waarbij onderscheid wordt gemaakt in onverhard, verhard, alsof opbouwvolgorde van het slik, slikbreedte en -morfologie
3. de *schorrand* met aan of afwezigheid van meerjarige vegetatie,...
4. de aanwezigheid van grote *antropogene constructies* (inactief of actief).

Op basis van de vegetatiekartering van 1992 (Hoffmann et al. 1997) en 2003-2004 (Vandevoorde et al., in prep.) werden de schorbreedtes bepaald.

1. Het oevertype

Bij het oevertype wordt een onderscheid gemaakt tussen onverdedigde oevers, verdedigde oevers, verticale structuren en inhammen. De ecologische waarde daalt van onverdedigd naar verdedigd tot geen waarde bij verticale structuren. Inhammen vertonen een afwijkend habitat met variabele ecologische waarde afhankelijk van de graad van antropogene invloed.

Bij *onverdedigde* oevers wordt, waar mogelijk, onderscheid gemaakt tussen geërodeerde of intacte schorranden (Figuur 4-1E).

Bij oevers *verdedigd* met hout wordt een onderscheid gemaakt tussen gesloten rijen van palen (H1), open rijen van palen (H2), vrijstaande palen (H3) en wilgentenen dichtgeslibd maar nog zichtbaar (H4) ofwel niet dichtgeslibde wilgentenen (H5). Andere houten structuren dan hierboven beschreven, worden als H6 gekarteerd.

Betreffend verticale constructies werd een onderscheid gemaakt tussen kaaimuren en andere muren. Dit onderscheid werd in het veld geïntroduceerd omdat bij kaaimuren er niet alleen geen oever meer is, maar bovenop de muur er slechts beton of asfalt zonder enige vorm van vegetatie aanwezig is. Ging het enkel om een verticale muur kan er dikwijls bovenop nog wilgenstruwelen, of zelfs riet groeien. Bij zowel kaai als muur werd een onderscheid gemaakt op basis van het constructiemateriaal (beton, staal, hout, baksteen of andere materiaal).

Inhammen werden gedefinieerd als breuken van de anders min of meer rechte oeverlijn. De inham is dieper dan breed, zodat een zeer slibrijk sedimentatiemilieu overheerst. In sommige gevallen zijn de inhammen volledig geconstrueerd rond bijvoorbeeld een afwateringskanaal. In andere gevallen zijn ze (semi) natuurlijk ontstaan door erosie.

Tabel 7: De legende voor de oeverbeoordeling van 2009

Eco Zone	Type	Hoofdtype	Subtype	Bijkomende informatie	Code	
Oever	Onverdedigde oever	Geen bescherming		Zonder geërodeerd oeverwal	X0	
				Met geërodeerd oeverwal	X1	
	Verdedigde oever	Hout	Palen		Gesloten rij	H1
					Open rij	H2
					Vrijstaande	H3
			Wilgentenen met palenrij		Dichtgeslibd met slik	H4
					Niet dichtgeslibd	H5
					-	H6
		Andere structuren	-	A		
	Verticale constructie	Kaai			Beton	M1
					Staal	M2
					Hout	M3
					Ander materiaal	M4
		Muur			Beton	M5
					Staal	M6
					Hout	M7
					Baksteen	M8
					Ander materiaal	M9
	Inham	Inham			Natuurlijk	h1
					Geconstrueerd/afwatering	h2
Hard substraat	Antropogeen/Bodembescherming	Breuksteen		Breuksteen	B1	
				In verband gelegd	B2	
					Golfslagbreker	B3
			Losse stenen		Regelmatig dekkend	B4
					Onregelmatig dekkend	B5
					Niet dekkend	B6
					Verspreid	B7
			Afvalbrokken	B8		
			Andere breukstenen	(Uitleg of foto)	B9	
		Schanskorf	Natuurlijk	Plat		hoogte kleinste dia.
Blok					enkel rij	K2
					gestapeld	K3
	Andere schanskorven				(Uitleg of foto)	K4
Zacht substraat	Natuurlijk	Veenbanken		Harde veenbanken	V	
			Zandbanken		zonder ribbels	Z0
					met ribbels	Z1
Ruimtelijk		Slik, volgorde		Slik z. breuksteen	sv0	
				(Slik dan) breuksteen	sv1	
				Breuksteen dan slik	sv2	
				Geul in slik	sv4	
		Slik, breedte		Geen slik	sb0	
				<5m	sb1	
				5-25m	sb2	
				>25m	sb3	
Morfologie	Slik, morfologie			recht	sm1	
				convex/bol	sm2	
				concaaf/hol	sm3	
				Geul in slik	sm4	
Schorslikrand	vegetatie	Vegetatie		Geen vegetatie	v0	
				Fragmentarisch	v1	
				Laag vegetatie (gemengd)	Onafgebroken	v2
				Fragmentarisch	v3	
				Onafgebroken	v4	
				Fragmentarisch	v5	
				Onafgebroken	v6	
	Wilgen/populierbos	v7				
Antropogeen	Constructie	Scheepswerf	Betonhelling met rail	Actieve	SF1	
				Inactieve	SF2	
				Restanten	SF3	
		Steiger		Actieve	SR1	
				Inactieve	SR2	
				Restanten	SR3	
	Andere constructies	Uitwatersluis	AC1			



Figuur 4-1: Types slik. A) veenbank (V); B) Breuksteen in verband gelegd (B2); C) Regelmatig dekkend losse breuksteen (B4) het slik ligt boven de breuksteen (sv2); D) Niet dekkend losse breuksteen (B6); E) onverdedigd slik met schorrand zonder erosie (X0); F) zacht substraat met ribbels (Z1).

2. Het sliktype

Als natuurlijk substraat is een onderscheid gemaakt tussen hard substraat met o.a. veenbanken en zacht substraat met zandige en slibrijke slikken. Bij zandbanken wordt een onderscheid gemaakt op basis van de aan- of afwezigheid van ribbels.

Als antropogene substraten worden breukstenen gebruikt als bescherming tegen erosie. Breukstenen worden geklasseerd als een hard substraat en onderverdeeld naargelang hun dichtheid en hierbij hun doorgroeimogelijkheid voor de vegetatie, habitat voor benthos,... Oeverbescherming op vrij steile hellingen bestaat vaak uit breukstenen die in verband gelegd zijn. Bij deze toepassing is er enkel tussen de nauwe spleten ruimte voor sediment, vegetatie en fauna.

Ongestructureerde breukstenen komen veruit de meest voor als oeverbescherming in de Zeeschelde. Breukstenen worden zowel aan de voet van het slik, op het slik als boven het slik gevonden. Waar geen slik aanwezig is, liggen de stenen aan de dijkvoet. Bijkomend wordt een onderscheid gemaakt op basis van visuele dichtheid van de stenen. De dichtste vorm is regelmatig dan onregelmatig dekkend, niet dekkend en verspreid als ijste vorm van breuksteen bestorting.

In enkele gevallen werden schanskorven waargenomen. Dit zijn netten gevuld met kleinere breukstenen. Een onderscheid wordt gemaakt tussen schanskorven met enerzijds een relatief platte en anderzijds een vierkante vorm.

Een evaluatie van het slik hoort uiteraard bij de oeverbeoordeling. Het slik wordt zowel ruimtelijk als morfologisch beoordeeld. Bij ruimtelijk beoordeling van het slik wordt enerzijds gekeken naar de ligging van het slik ten opzichte van breukstenen, al dan niet aanwezig. Volgende categorieën werden gebruikt:

- slik zonder breuksteen
- slik dan breuksteen, bij deze categorie ligt de breuksteen tussen het slik en de dijk
- breuksteen dan slik, wat betekent dat achter een breuksteenbestorting een slikzone aanwezig is. Bij deze categorie behoren ook oevers met breuksteen, dan slik dan breuksteen. Dit is gewoonlijk breuksteen op de zacht hellende intertidale bodem met slikontwikkeling achter de breukstenen en met breukstenen aan de voet of op de dijk.

Een ander ruimtelijk aspect van het slik is de breedte hiervan. De breedte werd tijdens het veldwerk genoteerd, maar enerzijds blijkt dit moeilijk in te schatten van op de boot, anderzijds is deze parameter uiteraard afhankelijk van de hoogte van de tijgolf op het moment van observatie. Als gevolg hiervan werd de slikbreedte berekend met behulp van de nodige GIS overlays. De gebruikte categorieën <5, 5-25 en >25 m brede, werden overgenomen van Hoffmann & Meire (1997).

Bij de beschrijving van de slik-morfologie wordt een onderscheid gemaakt tussen slikplaten met een rechte, convexe of concave vorm. Dit slaat op de algemene indruk van de slikplaat en niet op kleine veranderingen van de sliktransect. Wanneer een uitgesproken geul door de slik is geërodeerd, wordt dit als puntobservatie genoteerd (bijvoorbeeld geulen die de achterliggende schorgebieden draineren). Kleine oppervlakkige geultjes, die snel van bedding veranderen, worden niet beschreven.

Een belangrijk aspect bij de oeverbeoordeling is een omschrijving van de vegetatie, voornamelijk ter hoogte van de slik-schorrand. Bij de veldkartering werden de oevers onderverdeeld in vegetatieloze oevers, oevers begroeid met lage vegetatie, riet en bies, wilgenstruwelen of wilgen-populierenbos. Er dient opgemerkt te worden dat veldwerk werd uitgevoerd in februari, dus op een moment waar de vegetatie op zijn minst stond. Het zou dus kunnen dat oeverstroken die in februari als vegetatieloos werden gekarteerd, in de zomer wel

degelijk met een mengeling van eenjarige planten begroeid zijn. Ook biezen verdwijnen grotendeels tijdens de winterperiode. Riet en wilgen daarentegen blijven het jaar rond zichtbaar. Aangezien het voornaamste doel van deze kartering een inzicht is in de oeverkwaliteit en de oevers duidelijkst zijn wanneer de vegetatie minst uitgebreid is, werd het veldwerk tot deze periode beperkt.

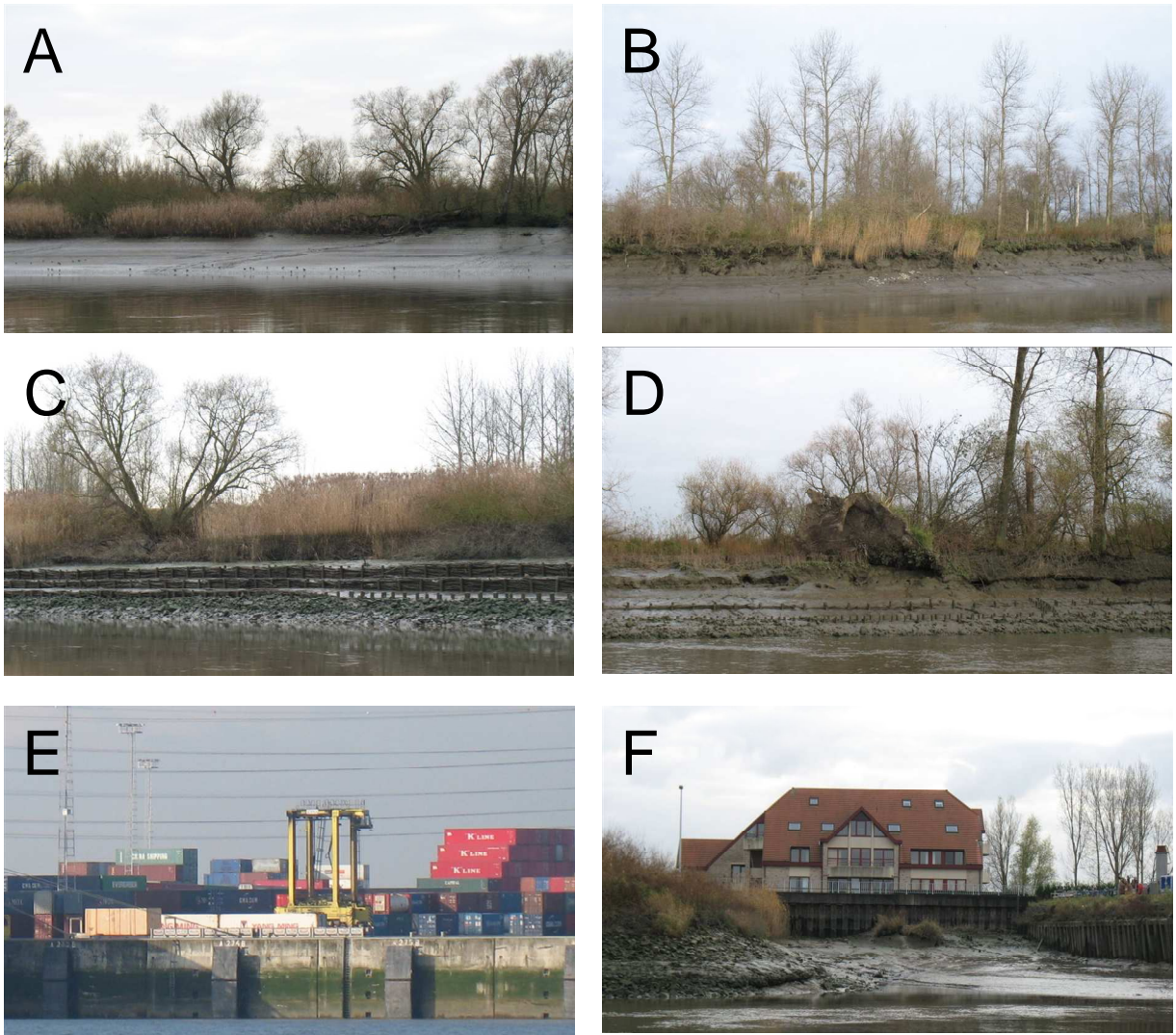
De vegetatiekartering is een algemene impressie van een strook. Wordt een strook bijvoorbeeld gedomineerd door riet, met af en toe enkele solitaire wilgen, wordt deze strook als riet gekarteerd. Is de verhouding meer evenwichtig dan wordt de oever gekarteerd met zowel de code voor riet als voor wilgen. Zo worden bijvoorbeeld stroken met patches van riet op een overig vegetatieloze oever als "riet" en "vegetatieloos" gekarteerd.

Een aparte categorie is "antropogene constructie". Hierbij werden al dan niet actieve constructies ondergebracht. Scheepswerven werden gekarteerd volgens hun activiteitsstatus in "actief", "inactief" en "restanten". Bij "actieve" worden werven in bedrijf bedoeld, er is weinig of geen vegetatie. Bij "inactieve" scheepswerven worden werven bedoeld waar de structuren min of meer intact waren hoewel op basis van de algemene verloederings van de site duidelijk was dat er al enige tijd geen werfactiviteit was. Hier en daar begint vegetatie de site over te nemen. Bij restanten worden oevers bedoeld waar ooit scheepswerven actief waren. Vandaag blijven er hooguit wat brokstukken of enkele ijzerrails liggen. Waar mogelijk is de site begroeid.

De aanwezigheid van steigers werd als puntobservatie in de kartering mee opgenomen. Dezelfde onderverdeling als bij scheepswerven werd toegepast. Bij andere constructies werden bijvoorbeeld uitwatersluizen ondergebracht.



figuur 4-2: A) convex slik (sm2) breder dan 25 m (sb3) met 3 geulen in het slik (sm4) en zonder breuksteen (sv0). B) slik dan breuksteen (sv1) met onafgebroken riet (v4). In het midden is een slibweg om boten naar de achterliggende werf te trekken (SF1), met rechts hiervan een inactieve steiger (SR2). C) Actieve scheepswerf (SF1) zonder vegetatie (v0). D) Inactieve werf (SR2) met fragmentarische rietbegroeiing.



Figuur 4-3: Enkele voorbeelden van onverdedigde en verdedigde oevers, zie ook Tabel 7. **A)** Oever zonder bescherming noch erosie (X0) met een slik zonder breuksteen (sv0), en een slikbreedte tussen de 5-25 m breed (sb2) en een recht profiel (sm1); **B)** onbeschermd oever met erosie (X1) met verspreide losse breukstenen (B7); **C)** Intacte palenrij met wilgentenen, nog niet dichtgeslibd (H5); **D)** Niet intacte dichtgeslibde wilgentenen met palenrij (H4), met losse stenen regelmatig dekkende breuksteenbestorting (B4), slik ook boven de breukstenen (sv2), en een slikstrook smaller dan 5m (sb1); **E)** Betonnen kaaimuur (M1) zonder slik (sb0); **F)** een geconstrueerde inham (h2).

4.1.2.2 Oeverbeoordelingsformule versie 2009

De formule toegepast door Hoffmann & Meire (1997) werd ook in deze studie toegepast. Wel zijn de ratings van de gebruikte parameters lichtjes aangepast.

$$S_{alg} = S_1 + S_2 + 2xS_3$$

Waar S_1 : antropogene invloed

S_2 : Slikbreedte

S_3 : Schorbreedte

De antropogene klasse 3 is samengevoegd met klasse 2, waar klasse 4 is blijven bestaan (Tabel 8). De slikbreedte is niet veranderd (Tabel 9). Verder werden voor de schorbreedte de klassen geen schor, minder dan 25 m, tussen 25 en 75m en meer dan 75m toegepast (Tabel 10). Dit

betekent dat de hoogst mogelijk structuurklasse 13 is, zoals 1992 (

Tabel 11). De door Hoffmann en Meire (1997) gebruikte klassenverdeling (Tabel 12) werd eveneens toegepast.

Tabel 8: Factor Antropogeen impact op de ecosysteem. Deze parameter is gebruikt in de formule voor de algemeen structuuroordeel (volgens Hoffmann & Meire 1997)

S ₁	Antropogene beïnvloeding	Veldkarteringseenheid (zie ook Tabel 7)
0	Verticale constructie uit harde substraten	M1-M9
1	Hellend dijktalud of schorrand uit breuksteenbestorting die gefixeerd en niet doorgroeibaar is	B1
2	Hellend dijktalud of schorrand uit open, doorgroeibare schanskorven/breuksteenbestorting	B2-9 en K1-4 in combinatie met sv1
2	Hellend dijktalud uit open doorgroeibare breuksteenbestorting/schanskorven onderbroken door vlak slikplateau onder de GHW lijn	B2-9 en K1-4 in combinatie met sv2
4	Geen oeeverversteviging zichtbaar	X0-1

Tabel 9: De toegepaste slikbreedte klassenindeling

S ₂	Slikbreedte	Veldkarteringseenheid (zie ook Tabel 7)
0	Geen slik	sb0
1	<5 m	sb1
2	5-25 m	sb2
3	>25 m	sb3

Tabel 10: De aangepaste categorieën voor schorbreedte. Deze is berekend op basis van de oeervervegetatiekartering daterend uit 1992 en 2003. De schorbreedte werd tijdens de veldkartering niet bepaald dus is er geen karteringslegende voor opgesteld.

S ₃	Schorbreedte
0	Geen schor
1	<25 m
2	25-75 m
3	>75 m

Tabel 11: De indeling van de structuuroordeelsresultaten in oeverbeoordelingsklassen.

Oeverbeoordelingsklasse	Benaming
0-1	Zeer slecht
2-4	Slecht
5-8	Matig
9-11	Goed
12-13	Zeer goed

Tabel 12 De voornaamste oevertypes per oever beoordelingscategorie

Oeverbeoordeling	Belangrijkste oevertype
Zeer slecht	<ul style="list-style-type: none"> • Verticale constructie (kaai en muur) zonder slik en schor
Slecht	<ul style="list-style-type: none"> • Doorgroeibare breuksteenbestorting, met of zonder smal of matig breed slik, geen schor
Matig	<ul style="list-style-type: none"> • Doorgroeibare breuksteenbestorting, met smal of matig breed slik en smal schor • Doorgroeibare breukstenen met breed slik, en met of zonder smal schor
Goed	<ul style="list-style-type: none"> • Doorgroeibare breuksteenbestorting, breed slik, matig breed schor • Geen oeverversteviging, breed slik en smal schor
Zeer goed	<ul style="list-style-type: none"> • Doorgroeibare breuksteenbestorting, breed slik, breed schor • Geen oeverversteviging, breed slik en breed schor

4.1.3 Resultaten

Om de oeverkwaliteit te beoordelen zijn de slik- en schorbreedte alsook de antropogene invloed meegenomen in de analyse.

4.1.3.1 Aandeel onverdedigde oevers

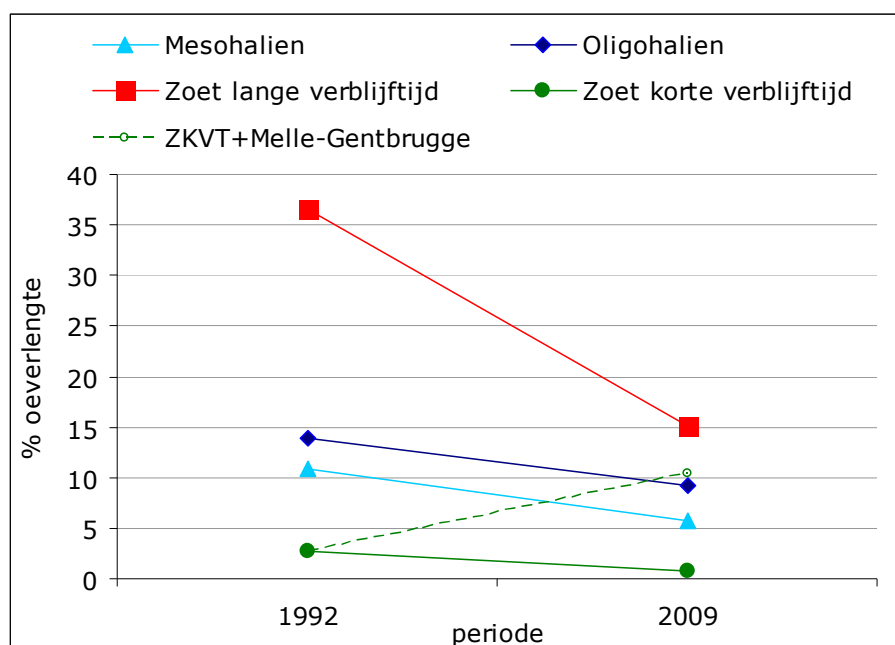
Algemeen stellen we vast dat het aandeel natuurlijke oever (gedefinieerd als onverdedigde oevers; zie Tabel 7) in 2009 beperkt blijft tot minder dan 10% in de volledige Zeeschelde. In 1992 was dat nog 14%. Dit komt neer op een verlies aan onverdedigde oevers van bijna 10km oeverlengte over een periode van 17 jaar. De zoete zone met lange verblijftijd heeft in 2009 met 15% het grootste percentage, wat neer komt op een halvering ten opzichte van 1992 (Figuur 4-4). De zoete zone met korte verblijftijd scoort in 2009 eveneens redelijk, veroorzaakt door het onbevaarbare traject Gentbrugge-Melle. Indien dit traject niet wordt meegerekend daalt de totale lengte aan natuurlijke oever binnen de zoete zone met korte verblijftijd van 7,7 km tot 0,6 km, of uitgedrukt als percentage van de totale trajectlengte van 10% tot amper 1% (Tabel 1). Dit is vooral te wijten aan de 'natuurlijke' opslibbing met de ontwikkeling van slikken en een uitbreiding van het schor door het wegvallen van de bovenafvoer ter hoogte van

Gentbrugge en onderhoudsbaggerwerken. We kunnen dus spreken van een ecologische verbetering in deze zone .

Voor zowel het mesohaliene als voor het oligohaliene gebied is het aandeel aan natuurlijke oevers met 5% gedaald ten opzichte van 1992, tot respectievelijk 6% en 9%. Hier dient wel opgemerkt te worden dat de grote inspanningen die de voorbije decennia in deze zones zijn geleverd niet uit de gegevens af te lezen vallen.

Tabel 13 Oeverlengte onverdedigde oever per saliniteitszone voor de jaren 1992 en 2009

Traject	1992		2009	
	km	%	km	%
Mesohalien	7.8	11	3.9	6
Oligohalien	5.8	14	3.8	9
Zoet- lange verblijftijd	16.0	36	6.5	15
Zoet- korte verblijftijd	2.0	3	0.6	1
ZKVT+Melle-Gentbrugge			7.7	10



Figuur 4-4 Evolutie oeverlengte (in percent van het volledige traject) onverdedigde oever tussen 1992 en 2009 voor de 4 saliniteitszones. De zoete zone met korte verblijftijd is weergegeven met of zonder het traject van Melle tot Gentbrugge

4.1.3.2 De oeverkwaliteitsbeoordeling 1992 versus 2009

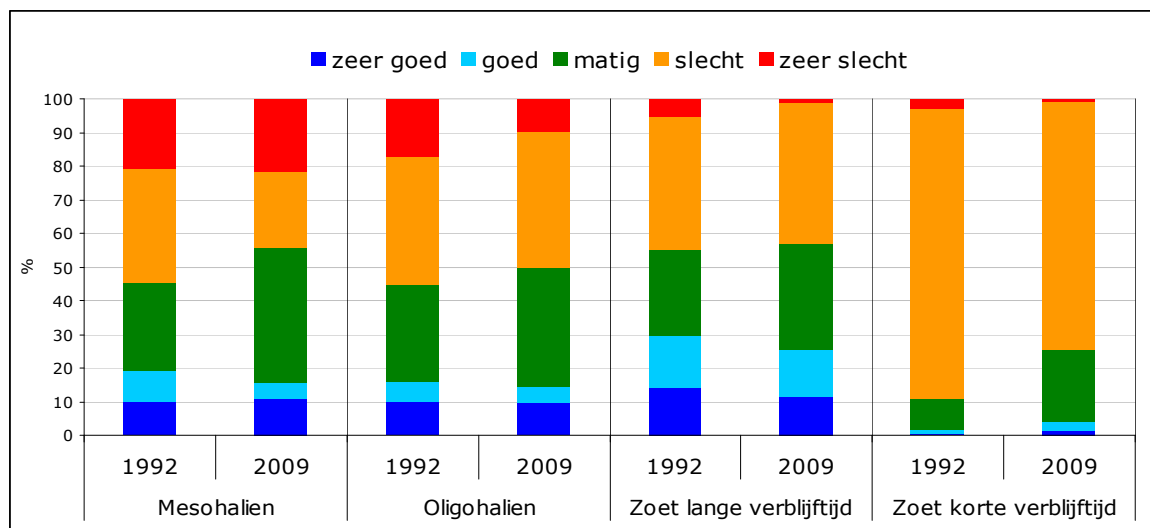
Voor zowel 1992 als voor 2009 werd de verdeling van de oeverstructuurkwaliteitsklasse volgens saliniteitszone berekend (Tabel 14; Figuur 4-5)

Tabel 14 De procentuele oeverlengte per structuurkwaliteitsklasse en per OMES-onderzoekssegment met aanduiding van begrenzing en gemiddelde oeverlengte in km.

Saliniteitszone	OMES nr	km	zeer goed		goed		matig		slecht		zeer slecht	
			1992	2009	1992	2009	1992	2009	1992	2009	1992	2009
			Bel.-Ned. Grens - Kerncentrale	12.5	30.4	35	4	6.7	11.4	18.8	20.4	0.6

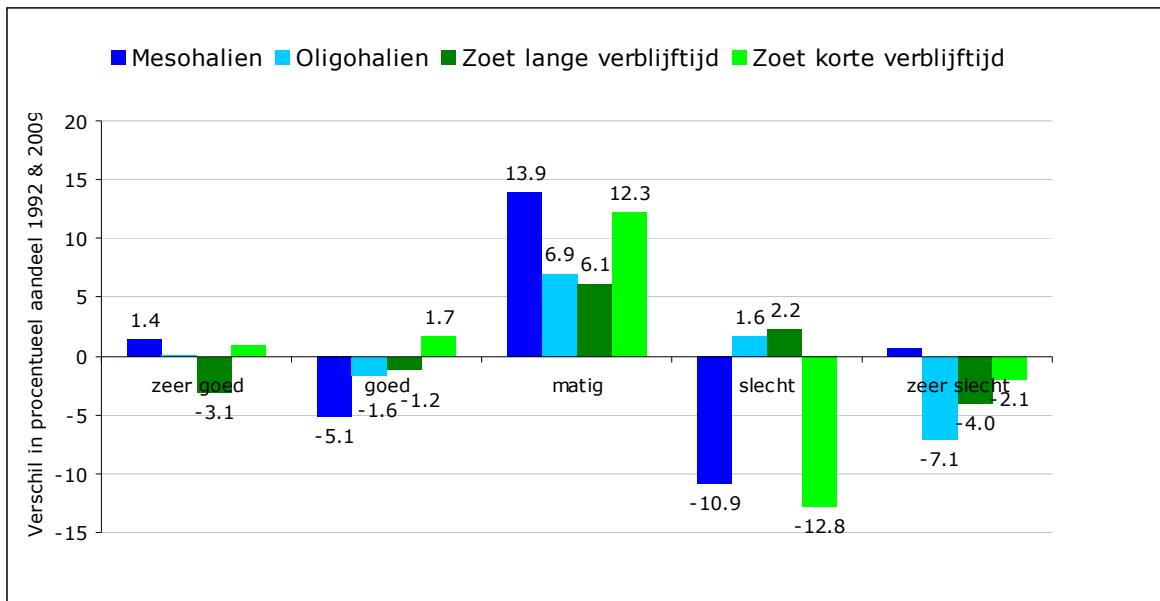
	10	Kerncentrale - Ketenissepolder	12.4	14.8	20.9	11.8	10.9	42.3	54.2	30.6	13.9	0.4	0.1
	11	Blokkersdijk - Blokkersdijk	24.3	2.7	3.9	8.9	3.2	30.6	49.7	43.6	26.2	14.1	17
	12	Burcht - Burcht	20.8	2.5		11.4		20.5	33.9	32	37.1	33.6	29
Oligohalienen	13	Rupelmonding - Rupelmonding	18.2	2.4	0.9	4.3	2.5	28.9	32	40.6	49	23.9	15.5
	14	Durmemonding - Durmemonding	23.1	15.6	16.7	7.8	6.2	28.3	38.2	36.8	33.2	11.5	5.7
Zoet lange verblijftijd	15	Durmemonding - Baasrode	24	20.9	20.4	18.3	17.8	26.1	24.9	26.5	35	8.2	1.8
	16	Baasrode - Denderkanaal	19.3	6.2		11.5	9.6	24.2	39.1	56.9	51	1.3	0.3
Zoet korte verblijftijd	17	Denderkanaal - Schoonaarde	23	1		3.9	4.4	19.9	16.7	73.6	78	1.7	0.9
	18	Schoonaarde - Schellebelle	17.5				1.5	1.6	7.1	97.9	91.4	0.5	
	19	Schellebelle - monding Ringvaart	18.1					2.2	1.1	90.9	96.1	6.9	2.8
	19	mondig Ringvaart - trGM	15.9		6		5.5	9	66.7	87.8	21.8	3.2	
		grens - monding Ringvaart	229.1	7.6	7.7	7.3	5.7	20.9	31.5	52.8	46.3	11.5	8.8

Algemeen zien we een dalende trend van de zeer slechte klasse in stroomopwaartse richting en in de tijd. De slechte klasse is gedaald in de mesohaliene en zoete korte verblijftijd zone. De matige klasse is sterk in de tijd toegenomen. De goede en zeer goede klassen zijn vooral in de Zeeschelde tot Dendermonde terug te vinden met de hoogste aandelen in de zoete zone met lange verblijftijd.



Figuur 4-5: Procentueel aandeel in 1992 en 2009 per oeverkwaliteitsbeoordelingsklasse voor de verschillende saliniteitszones van de Zeeschelde.

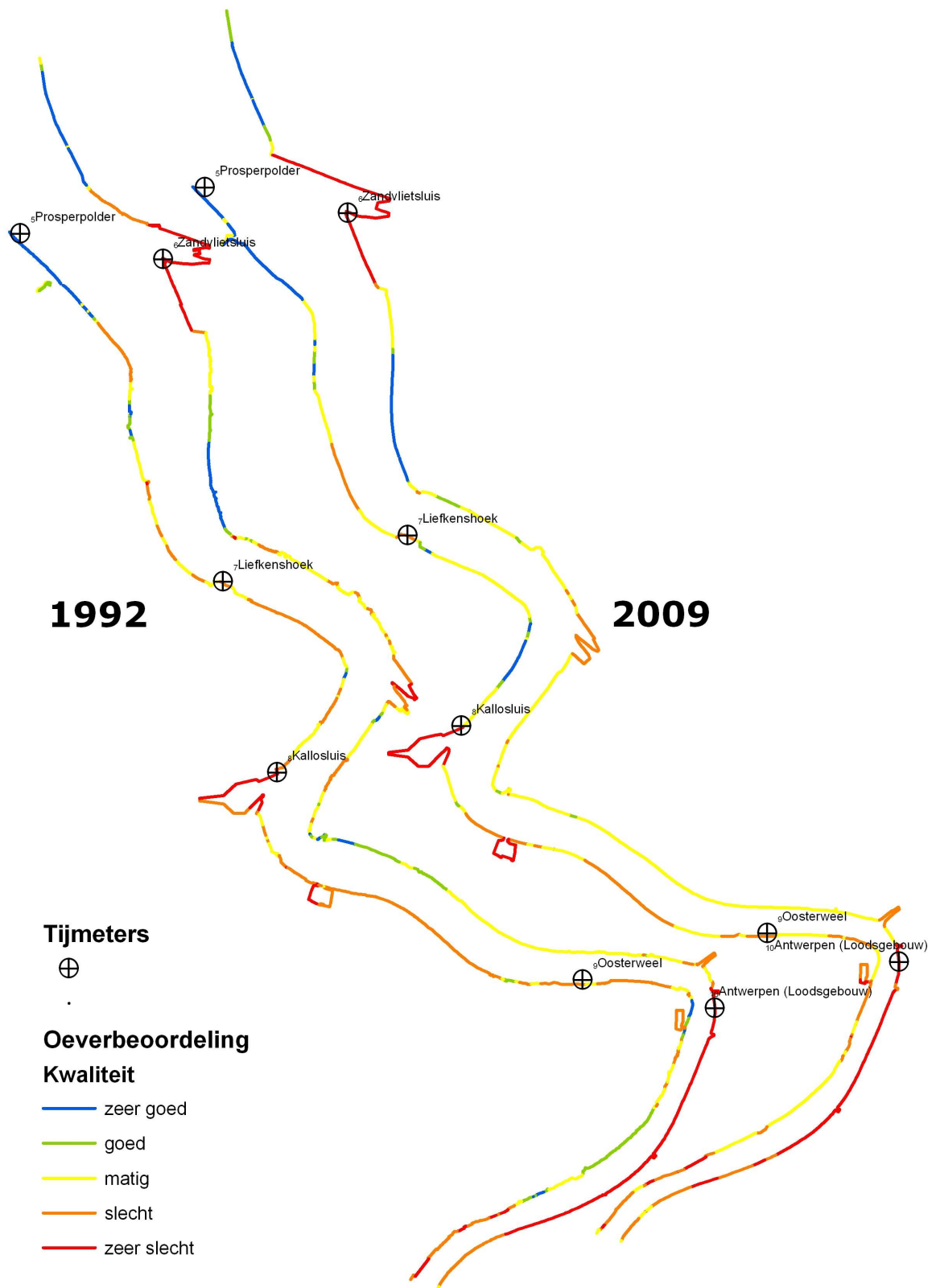
Uit Figuur -4-6 waar het procentueel verschil tussen de 2 perioden is weergegeven blijkt dat de oevers van 'matige' kwaliteit sterk zijn toegenomen sinds 1992 langs gans de Zeeschelde. De verschuivingen (verslechtering of verbetering van de oeverkwaliteit) zijn afhankelijk van de saliniteitszone. Er is dan ook een algehele homogenisering van de oevers opgetreden na 17 jaar.



Figuur -4-6: Verschil in procentueel aandeel tussen 1992 en 2009 per oeverkwaliteitsbeoordelingsklasse voor de verschillende saliniteitszones van de Zeeschelde.

De mesohaliene zone:

Contrasterende oeverkwaliteiten karakteriseren de mesohaliene zone. Enerzijds zijn er lange oeverstroken met kaaimuren die ecologisch geen of nauwelijks waarde hebben, anderzijds zijn er een aantal grote en middengrote slik- en schorgebieden die een hoog tot zeer hoge ecologische waardeklasse krijgen (Figuur 4-7). Er is een relatief goede verdeling van de betere oeverkwaliteiten langs het gans traject. Tussen 1992 en 2009 heeft de ontpoldering van het Paardenschor voor een langere strook met klasse zeer goed gezorgd. Het Galgenschoor is ter hoogte van het noordelijkste gedeelte veranderd van goed tot zeer goed. Ook de ontpoldering van de Ketenissepolder heeft een belangrijke impact gehad, zo is deze oeverstrook vandaag overwegend beoordeeld als zeer goed. In 1992 was deze oever overwegend van slechte kwaliteit. Op ter hoogte van Fort Filips is de kwaliteit gedaald vaak te wijten aan het smaller worden van schor en voorliggend slik. Hetzelfde geldt voor de oeverstrook ter hoogte van het Galgenweel.

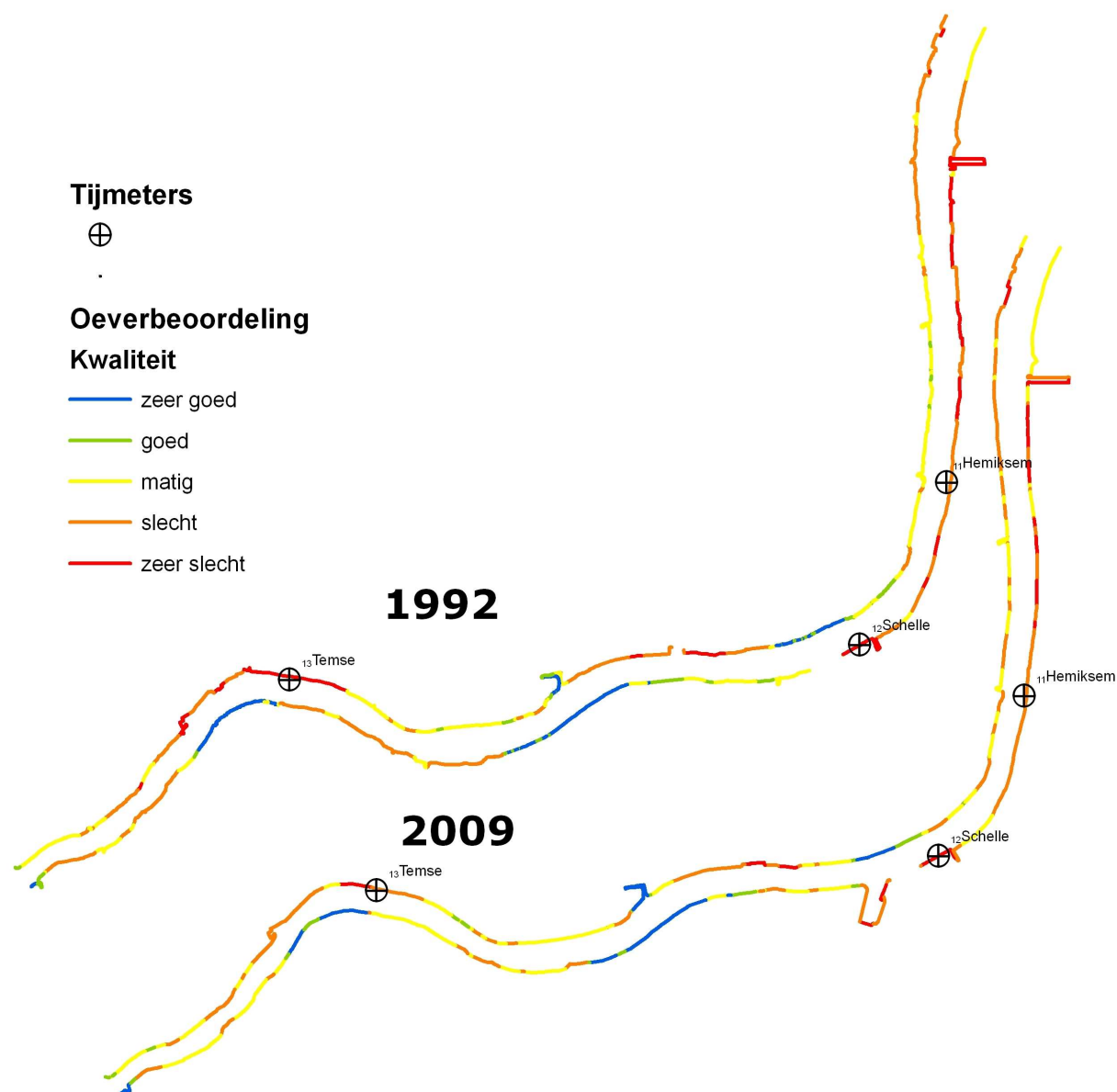


Figuur 4-7: Het oever beoordelingsresultaat anno 1992 en 2009 voor de mesohaliene zone.

Bekijken wij de klassenverdeling tussen 1992 en 2009 blijkt dat in deze zone een sterke vermindering van de 'slecht' beoordeelde oevers ten voordele van de 'zeer slechte' en matige oeverklassen vastgesteld kan worden. Vermoedelijk is dit te verklaren door het aanleggen van kaaimuren die per definitie in de categorie 'zeer slecht' terechtkomen. De meest voor de handliggende reden die de upgrade van 'slecht' naar 'matig' kan verklaren, is het ontstaan van een (smalle) slikstrook aan de voet van de met breuksteen bedekte oevers. Ook de 'zeer goede' oeverklasse is toegenomen, ten gevolge van uitbreiding van het pionierschor in het noordelijk deel van het Galgenschoor alsook de ontpolderingen (zie ook Tabel 14).

De oligohaliene zone:

De meest opvallend bij de oeverklassenverdeling binnen de oligohaliene zone is het contrast tussen de Schelde voor en na de Rupelmonding (Figuur 4-8). Stroomafwaarts hiervan zijn de oevers bijna integraal matig tot zeer slecht beoordeeld. Stroomopwaarts van de Rupel zijn de oevers eerder matig tot zeer goed geëvalueerd. Uiteraard is dit te danken aan de uitgestrekte slik- en schorgebieden binnen deze deelzone. De percentuele oeverlengte per kwaliteitsklassen wordt opgelijst in Tabel 14.

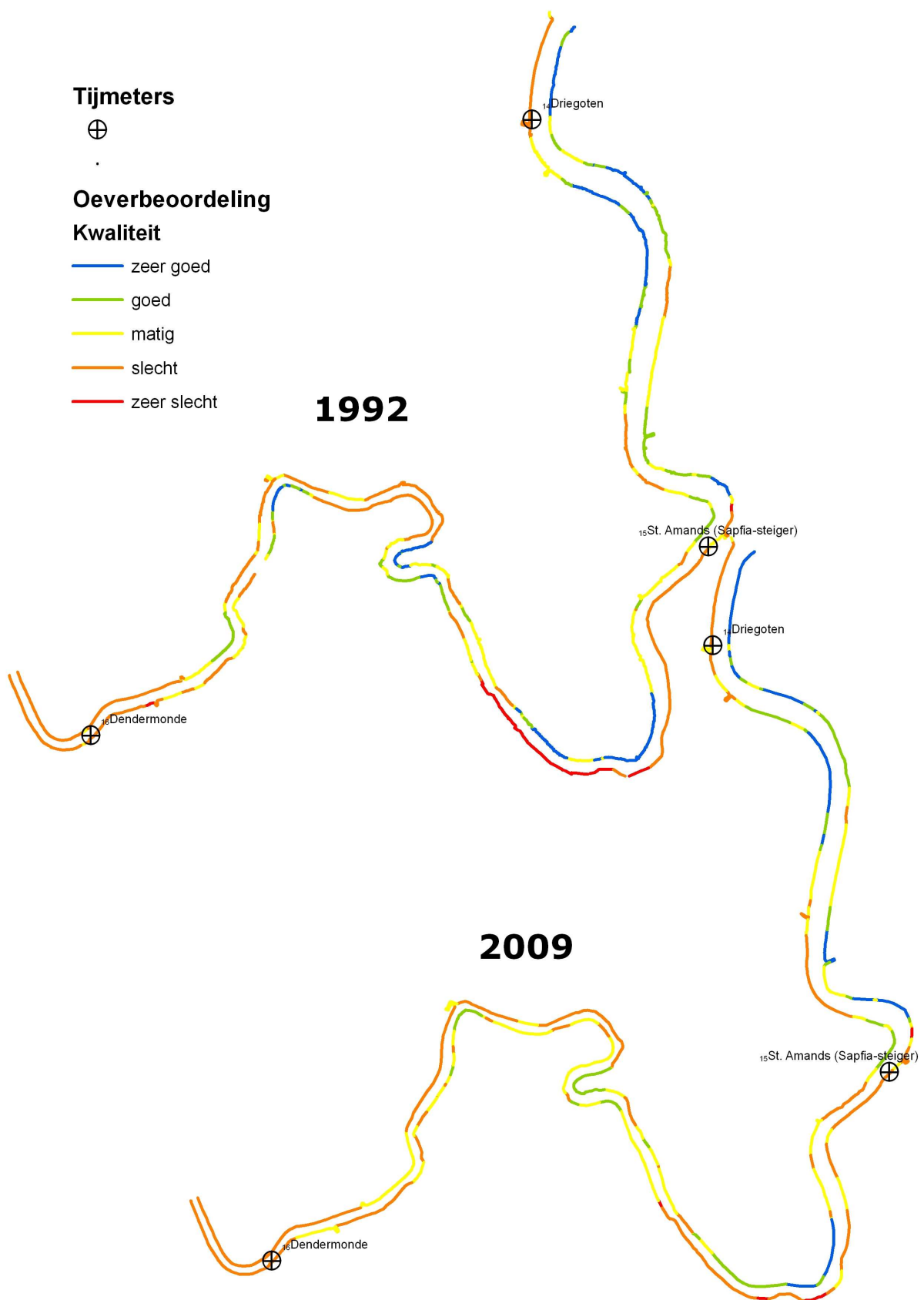


Figuur 4-8: Het oever beoordelingsresultaat binnen de oligohaliene zone anno 1992 en 2009.

De 'matige' categorie is in deze zone net als in de mesohaliene zone in algemeen belangrijker geworden en dit ten koste van 'zeer slechte' en 'goede' klassen. De 'zeer goede' klasse bleef praktisch onveranderd. In het algemeen kunnen wij stellen dat vooral de algemene basiskwaliteit langs de oever is gestegen door toename aan vegetatie langst de dijken. Wat vooral af te leiden is uit de daling van 17% naar 10% van de ecologische oninteressante gebieden die de klasse 'zeer slecht' uitmaakt.

Zoete zone met lange verblijftijd:

Net zoals in de oligohaliene zone stroomopwaarts de Rupelmonding zijn er veel grote schorgebieden in de zoete zone met lange verblijftijd maar mindere grote slikgebieden.



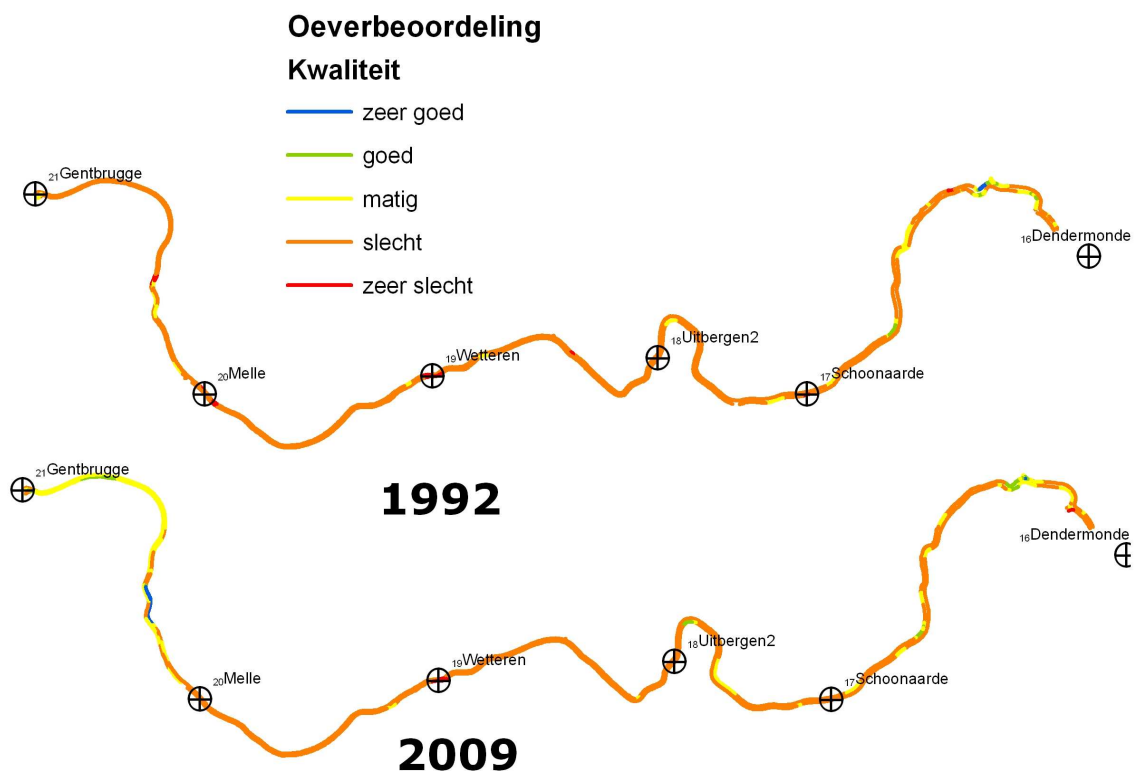
Figuur 4-9: Het oever beoordelingsresultaat binnen de zoete zone lange verblijftijd voor de jaren 1992 en 2009

Deze situeren zich vooral tussen de monding van de Durme en de schorren van de Vlassenbroek (Figuur 4-9). In 1992, werd het meest stroomopwaartse deel van Vlassenbroekschor nog als zeer goed beoordeeld en de oevers ter hoogte van Groot Schoor van Grembergen werden toen als goed omschreven. In 2009 zijn er voorbij Vlassenbroek geen oevers met een goede of zeer goede beoordeling meer terug te vinden.

De categorie 'zeer slecht' is binnen deze zoete zone met lange verblijftijd verminderd van 5.1 tot 1.1%. Hierdoor is de categorie 'slecht' iets gestegen. Dit is vooral het resultaat van het opsedimenteren van met breukstenen bedekte oeverstroken tot slikstroken. Anderzijds is er een daling opgetreden van de zeer goede klassen en goede klasse voornamelijk door noodzakelijke verdedigingen die opgetrokken zijn voor deze schorren dmv steenbestortingen of perkoenpalen.

Zoete zone met korte verblijftijd:

De verbetering van de oevers van de zoete zone met korte verblijftijd is vooral te wijten aan het Scheldetraject tussen Gentbrugge en Melle waar door verlaging van de tijddynamiek en sedimentatie de steile breuksteenoevers zijn omgevormd tot slibrijke slikken met een geleidelijke overgang naar schoroevers. De ontpoldering van Heusden veroorzaakten de toename van de 'zeer goede' en 'goede' klasse. De dijkverlegging van Paddebeek zorgde voor een upgrade van een 'slecht' oevertraject naar een 'matig' traject op basis van de schorbreedte in 2003.



Figuur 4-10: Het oever beoordelingsresultaat voor 1992 en 2009 binnen de zoete zone korte verblijftijd

De zeer dominante aanwezigheid van oeverkwaliteit slecht in de zoete zone met korte verblijftijd is uiteraard duidelijk zichtbaar op Figuur 4-10. Er zijn maar enkele fragmenten van oevers met een goed to zeer goed evaluatie. 86.5% van de oevers binnen deze zone bestond in 1992 nog uit regelmatig dekkend breukstenen zonder slik noch schor. In 2009 was dat nog steeds 73.6% (Figuur 4-5; Tabel 14).

4.2 Tijevolutie Schelde-estuarium

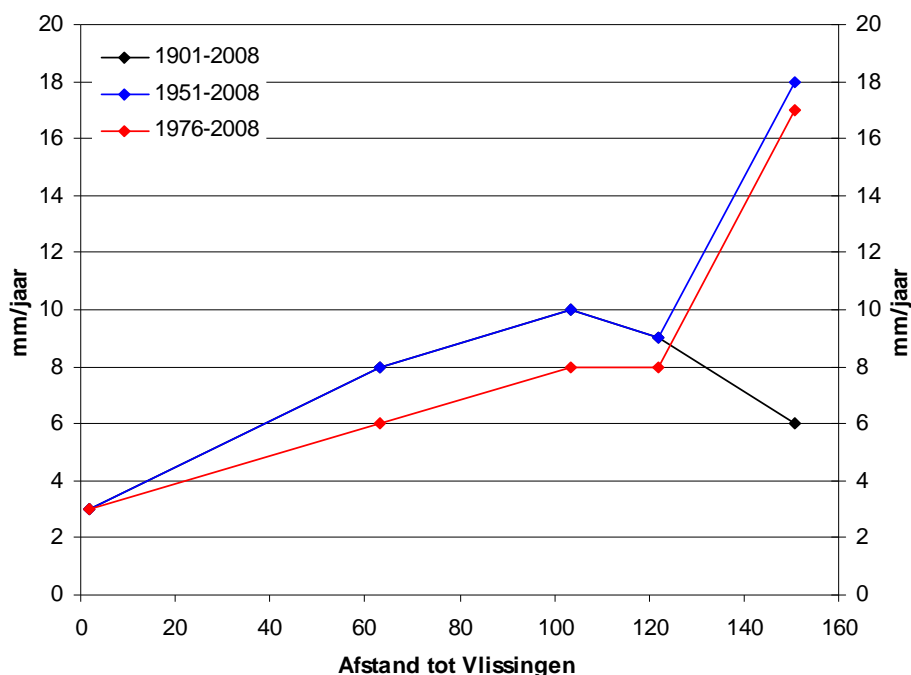
4.2.1 Langjarige evoluties jaargemiddelde hoogwater

4.2.1.1 Jaargemiddelde hoogwaters Zeeschelde

Voor de periode 1901-2008 blijken de jaarlijkse toenames van jaargemiddelde hoogwaters tussen Vlissingen en omgeving Driegoten steeds groter te worden. Verder naar Gent op nemen de jaarlijkse toenames opnieuw af. De verschillen tussen jaargemiddelde hoogwaters in omgeving Driegoten en op- en afwaarts ervan worden dan ook steeds groter. Hierdoor wordt de lijn met meetkundige plaatsen van hoogwaters zowel op- als afwaarts omgeving Driegoten steiler.

In de periode 1951-2008 blijft de situatie afwaarts omgeving Driegoten dezelfde en lijken vooral de hoogwater opwaarts van Dendermonde sterk toe te nemen. Zo komen de jaargemiddelde hoogwaters te Melle de laatste jaren aardig in de buurt van deze te Dendermonde.

Ten slotte vertoont de periode 1976-2008 een vergelijkbare trend als de periode 1951-2008, maar overal iets afgezwakt.



figuur 4-11: Toenames jaargemiddelde hoogwaterstanden Zeeschelde (zonder Metonic): 1901-2008, 1951-2008 & 1976-2008

4.2.1.2 Jaargemiddelde hoogwaters Rupel en Durme

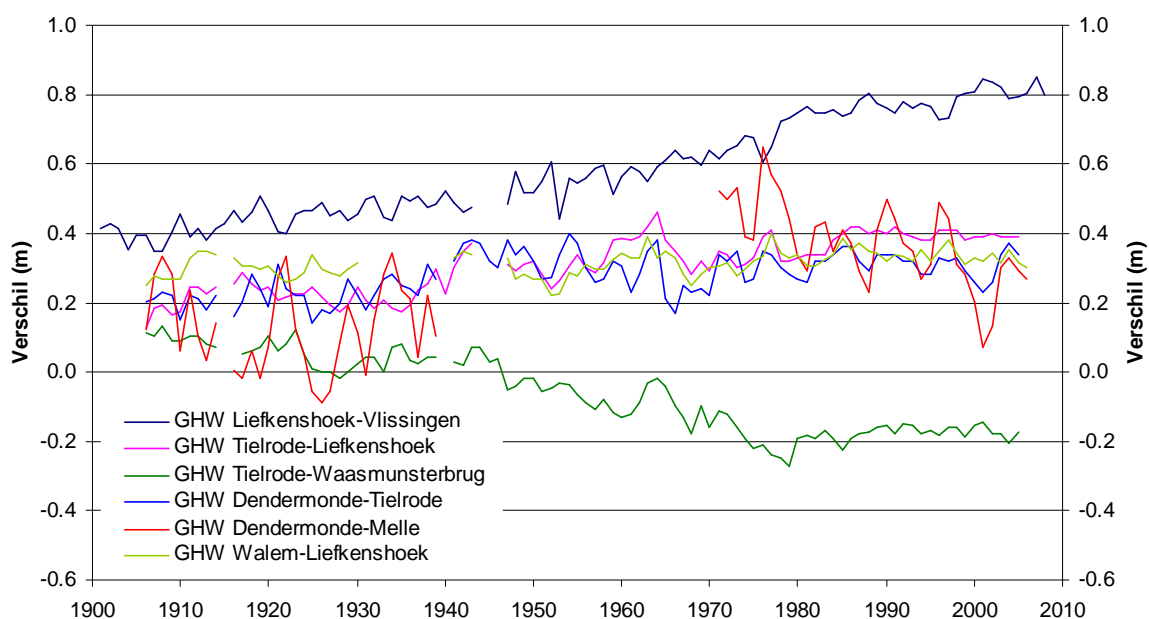
Voor de periode 1901-2008 nemen de jaargemiddelde hoogwaterstanden op de Durme sneller toe dan op de Rupel. In de periode 1951-2008 kennen Rupel, Durme en omgeving Driegoten gelijkaardige toenames van de jaargemiddelde hoogwaterstanden.

Tot slot nemen tussen 1976-2008 volgen de jaargemiddelde hoogwaterstanden van Durme en Rupel een gelijke tred, duidelijk minder snel dan omgeving Driegoten.

4.2.1.3 Verschillen jaargemiddelde hoogwaterstanden naburige tijposten

De voorbije jaren is het verschil tussen de jaargemiddelde hoogwaterstanden van Vlissingen en Liefkenshoek gestaag toegenomen met bijna een 0,5 cm per jaar. Vanaf het midden van vorige eeuw valt een lichte versnelling op welke de laatste decennia opnieuw is afgeremd.

Opwaarts van Liefkenshoek nemen de verschillen geringer toe. Tussen Melle en Dendermonde neemt het verschil de laatste jaren zelfs af. Verder valt tussen Tielrode en Liefkenshoek naast een tijdelijke sprong tussen 1955 en 1965 en een meer aanhoudende shift vanaf de jaren 1980, ook rond 1940 een trendwijziging te detecteren. Ook tussen de andere stations kan eenzelfde, weliswaar minder uitgesproken, signaal waargenomen worden (figuur 4-12).



figuur 4-12: Verschillen tussen jaargemiddelde hoogwaterstanden

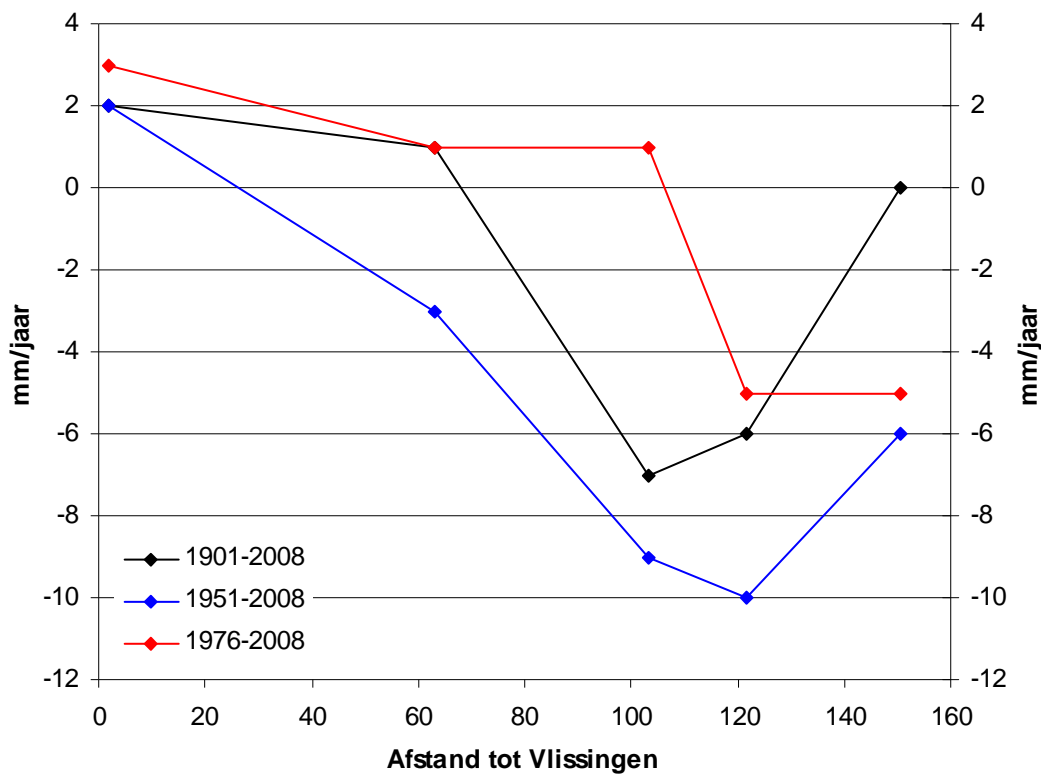
4.2.2 Langjarige evoluties jaargemiddelde laagwater

4.2.2.1 Jaargemiddelde laagwaters Zeeschelde

In de periode 1901-2008 nemen de verschillen tussen de jaargemiddelde laagwaters van Vlissingen tot omgeving Driegoten toe om nadien af te nemen. In deze periode zien we ook dat de jaargemiddelde laagwaters tussen Vlissingen en Liefkenshoek eerst (gering) toenemen om

meer opwaarts tot in omgeving driegoten steeds sterker af te nemen en vervolgens geleidelijk te evolueren tot een quasi status quo.

In de periode 1951-2008 zien we eenzelfde trend lichtjes versterkt, waarbij nu ook de jaargemiddelde laagwaters helemaal opwaarts duidelijk in dalende lijn zitten. De laatste drie decennia blijken de jaargemiddelde laagwaters tot in omgeving Driegoten in (licht) stijgende lijn te zitten om vervolgens steeds sneller af te nemen in de richting van Melle.



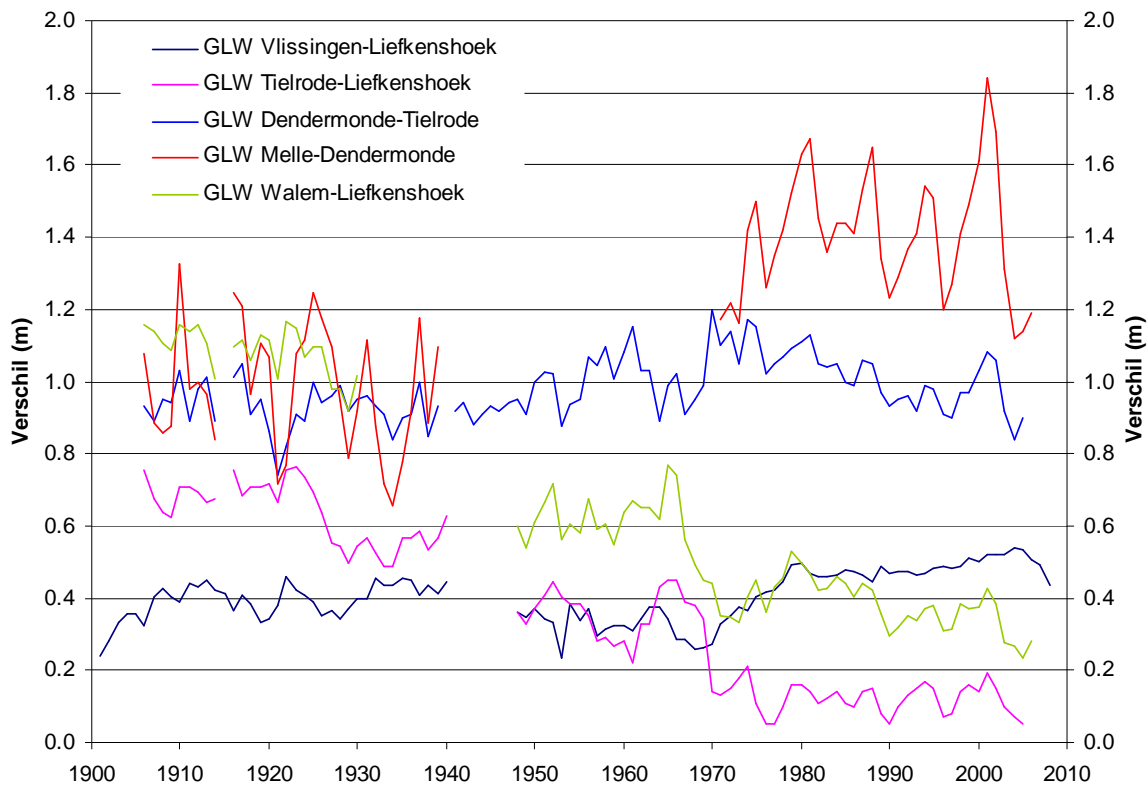
figuur 4-13 – Toenames jaargemiddelde laagwaterstanden Zeeschelde (zonder Metonic): 1901-2008, 1951-2008 & 1976-2008

4.2.2.2 Jaargemiddelde laagwaters Rupel & Durme

Waar de jaargemiddelde laagwaterstanden van de Rupel voor periode 1901-2008 in lijn zijn met de jaargemiddelde laagwaterstanden in omgeving Driegoten, is dit voor de Durme te Waasmunsterbrug zeker niet het geval. In periode 1951-2008 nemen de jaargemiddelde laagwaterstanden in Walem sterker af als op de Zeeschelde en blijven ook in de voorbije 3 decennia afnemen.

4.2.2.3 Verschillen jaargemiddelde laagwaters naburige tijposten

Het verschil tussen de jaargemiddelde laagwaterstanden te Vlissingen en Liefkenshoek vertoont vooral vanaf de jaren '70 een trendwijziging. De verschillen in jaargemiddelde laagwaters tussen Tielrode - Liefkenshoek en Walem - Liefkenshoek nemen gestaag af (-7 à -10 mm/jaar). Eenzelfde trend zien we tussen Walem en Liefkenshoek. Beide verschillen vertonen tussen '60 en begin jaren '70 een (tijdelijke) toename. Daarentegen houden Dendermonde en Tielrode min of meer gelijk tred. Het sterker dalen van de jaargemiddelde laagwaterstanden te Dendermonde tov. Melle doet hier de verschillen toenemen (figuur 4-14).



figuur 4-14 – Verschillen tussen jaargemiddelde laagwaterstanden

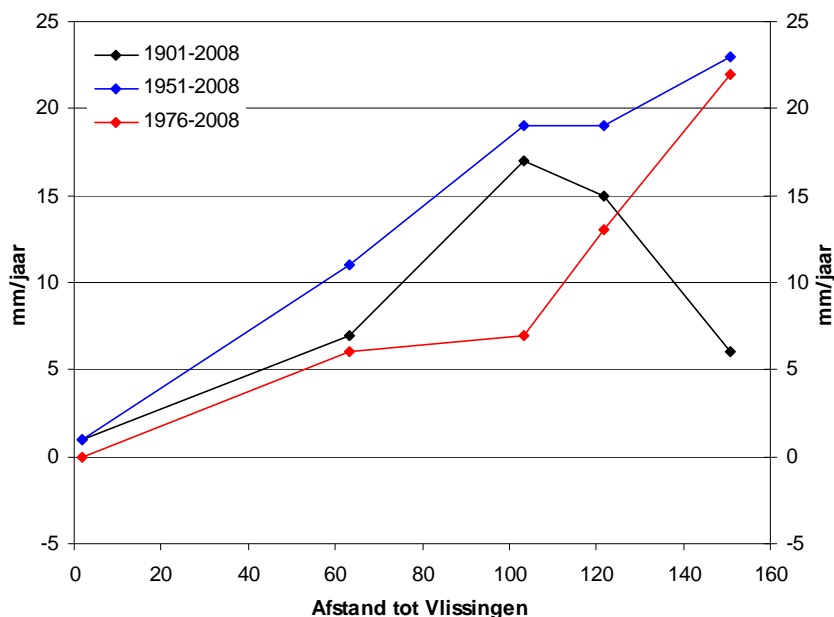
4.2.3 Langjarige evoluties jaargemiddelde tijverschillen

4.2.3.1 Jaargemiddelde tijverschillen Zeeschelde

Als gevolg van de evoluties van de jaargemiddelde hoog- en laagwaterstanden zijn in periode 1901-2008 de sterkste toenames van de 'jaargemiddelde tijverschillen terug te vinden in omgeving Driegoten. Ook in absolute hoogtes worden in deze omgeving de grootste 'jaargemiddelde tijverschillen teruggevonden.

Afwaarts van Driegoten zien we tussen 1951-2008 een snellere maar gelijkaardige trend als voorheen. De extra versnelde toename van de jaargemiddelde hoogwaterstanden tussen Dendermonde en Melle, maar vooral de daling van jaargemiddelde laagwaterstanden hier, zorgt in de periode 1951-2008 voor een sterke toename van de jaargemiddelde tijverschillen tussen omgeving Driegoten en Melle.

De geringere toenames van jaargemiddelde hoogwaterstanden en afnames van jaargemiddelde laagwaterstanden de voorbije 3 decennia tot in Dendermonde zorgen hier voor een forse beperking van de toenames van de jaargemiddelde tijverschillen. Opwaarts van Dendermonde lijkt er zich ook een afremming voor te doen, maar in Melle blijft de toename sterk overeenkomen met deze uit periode 1951-2008.



figuur 4-15 – Toenames jaargemiddelde tijverschillen Zeeschelde: 1901-2008, 1951-2008 & 1976-2008

4.2.3.2 Jaargemiddelde tijverschillen Rupel & Durme

Op de Durme wordt de evolutie van het jaargemiddeld tijverschil vooral bepaald door de combinatie van sedimentatie en de uitvoering van menselijke ingrepen. De toename van de jaargemiddelde hoogwaters speelt hierin maar een beperkte rol.

4.2.4 Conclusies

- Van Vlissingen tot omgeving Driegoten verloopt in de periode 1901-2008 de jaarlijkse toename van de jaargemiddelde hoogwaterstanden steeds sneller om meer opwaarts opnieuw af te nemen. Voor de periode 1951-2008 nemen vooral de jaargemiddelde hoogwaterstanden tussen Dendermonde en Melle sterk toe. Tussen 1976 en 2008 treedt overal een lichte afremming op.
- Tussen 1950 en 1980 blijkt een gelijke of sterkere afname van de jaargemiddelde laagwaterstanden dan voorheen. Na 1980 is er een afremming en zelfs omkering van deze trend.
- Tussen Vlissingen en Liefkenshoek nemen de jaargemiddelde tijverschillen de laatste jaren niet langer toe. Tussen Liefkenshoek en Dendermonde nemen jaargemiddelde tijverschillen nog toe om meer opwaarts terug af te nemen. Overal is er een lichte afvlakking van de jaargemiddelde hoogwaterstanden in de laatste decennia, maar de evolutie van de jaargemiddelde tijverschillen wordt vooral bepaald door de evolutie van de jaargemiddelde laagwaterstanden.
- Vanaf 1950 komt het verloop van de jaargemiddelde hoogwaterstanden op Durme en Rupel overeen met deze in omgeving Driegoten. Voor de periode 1901-2008 is de toename op de Durme sterker.
- Rond 1955 wordt een eerste knippunt gevonden in de evolutie van jaargemiddelde laagwaterstanden te Liefkenshoek. De laatste 3 decennia toont het verloop van de jaargemiddelde laagwaterstanden te Liefkenshoek een tweede knippunt. Mogelijks kan

vanaf 1980 zeespiegelrijzing hiervoor verantwoordelijk gesteld worden. De stijging vanaf de jaren '80 doet zich voor tot omgeving Driegoten. De jaargemiddelde laagwaterstand te Walem (tot 0,5 m hoger dan deze te Tielrode) heeft hier nog niet mee te kampen.

- De jaargemiddelde tijkarakteristieken vertonen naast langjarige wijzigingen ook eerder bruuske soms kortstondige overgangen. Beide trends kunnen zich op globale of lokale schaal manifesteren.
 - Naast versnellende en vertragende langjarige trends kunnen haast overal tussen 1960 en 1980 ook enkele bruuske overgangen geïdentificeerd worden
 - Voor wat betreft de jaargemiddelde hoogwaterstanden kunnen tussen 1955 en 1965 en tussen 1975 en 1985 enkele momenten met globale en/of meer lokale wijzigingen geïdentificeerd worden.
 - Voor wat betreft de jaargemiddelde laagwaterstanden kunnen tussen 1965 en 1980 enkele momenten met globale en/of meer lokale wijzigingen geïdentificeerd worden.
- De vertragingen in de laatste 3 decennia worden versterkt door de Saros-periode. De Saros-cyclus zorgde voor een uitvergroting van de cyclische variatie tussen 1960 en 1980. Meer opwaarts in het Schelde-estuarium wordt de variatie rond de min of meer lineaire trend minder verklaard door de nodale tijcomponent.

Opmerking

Rond 1940-1945 brachten controlenivellering van de peilschalen verschillen in de ligging van de nulpunten aan het licht. Vanaf 1941 werd bij het opstellen van de tijgegevens rekening gehouden met de vastgestelde afwijkingen. Of opgemeten verschillen wijzen op foutief inmeten van de peilschalen bij een eerdere waterpassing of bij herplaatsing van de peilschaal, op een verzakking van het kunstwerk waarop de peillat bevestigd werd of sprake is van een bodemverheffing of -verzakking, is een open vraag (Taverniers en Theuns, 1975). Het toepassen van de afwijkingen op de getijdata vóór 1941 is bijgevolg een gevaarlijke zaak.

Onderling vergelijken van verschillen tussen jaargemiddelde hoog- en laagwaterstanden van naburige tijposten, bracht trendwijzigingen aan het licht rond 1940 die mogelijks hun oorsprong vinden in het niet gelijkwaardig zijn van de cota's vóór en na 1941. Bijkomende controle van de basisgegevens is bijgevolg vereist.

5 Samenvatting scenario-analyse 1D en 2D modellen

5.1 Inleiding

Uit de historische analyse van de slik- en schorgebieden in de Zeeschelde (Van Braeckel et al., 2006) blijkt duidelijk dat het areaal schorre, slikken en ondiepe sublitoraal in het Schelde-estuarium en haar getijgebonden zijrivieren sterk is afgenomen tijdens de laatste 150 jaar.

Tijdens de laatste decennia is het relatieve belang van het indirecte verlies van habitats (i.e. verlies van habitats door erosie) sterk toegenomen ten gevolge van de toegenomen getij-energie in het estuarium. Verschillende natuurlijke processen en menselijke ingrepen in het estuarium kunnen hiervoor verantwoordelijk zijn. Tot op vandaag is het echter niet duidelijk wat de impact is van de individuele wijzigingen in het estuarium (zowel natuurlijk als menselijk) op de waargenomen evolutie. Het is echter wel duidelijk dat getijdoordringing een belangrijke bijdrage levert.

De getijvoortplanting in het Schelde-estuarium is de voorbije eeuwen eveneens grondig gewijzigd. Dat inpolderingen hieraan een belangrijke bijdrage hebben geleverd, staat buiten kijf. Echter er zijn eveneens andere factoren zoals normalisaties, verruiming van de vaargeul, het permanent onttrekken van zand uit het estuarium voor allerlei doeleinden, gewijzigde getijcondities in de Noordzee, ... waarvan wordt vermoed dat ze eveneens een bijdrage hebben geleverd aan deze wijzigingen. Tot op heden is niet duidelijk hoe belangrijk het effect van al deze individuele ingrepen/wijzigingen op de waargenomen evolutie van de waterstanden in het estuarium is. Bewijs hiervan is de uitgebreide literatuur en de vele uiteenlopende verklaringen die hierover zijn terug te vinden.

Een menselijke ingreep of natuurlijke verandering kan zowel een direct als een indirect effect hebben op de getijvoortplanting in het estuarium. Ten gevolge van de ingreep of verandering kan een wijziging van de hydrodynamica optreden. Dit kan resulteren in een morfologische aanpassing van het systeem aan de nieuwe situatie en dus opnieuw in een wijziging van de hydrodynamica. Hydrodynamica en morfologie zijn op een zodanige manier met elkaar verweven dat deze tezamen bestudeerd dienen te worden. Echter wegens de grote onzekerheden van de morfologisch numerieke modellen vandaag de dag wordt ervoor gekozen om enkel het initiële, directe effect van de ingrepen te bestuderen. Hiervoor zal gebruik worden gemaakt van numerieke hydrodynamische modellen.

Aan de hand van de besluiten en hypothesen vermeld in Van Braeckel et al. (2006) werden verschillende modelscenario's uitgewerkt en doorgerekend. De uitgevoerde simulaties hebben tot doel de besluiten en hypothesen te toetsen op hun geldigheid en bijkomend het effect van individuele ingrepen/wijzigingen op de waargenomen evolutie van de waterstanden in het estuarium te begroten.

Om een zo breed mogelijke waaier van ingrepen te kunnen modelleren wordt een aanpak voorgesteld die dichter bij een gevoeligheidsanalyse aanleunt dan bij een echte hindcast. Er wordt dus niet gestreefd naar een accurate reproductie van de opgetreden waterstanden. De doorgerekende scenario's zijn dan ook louter hypothetisch en hebben niet de bedoeling om een historische situatie na te rekenen.

Onderstaande tabel (Tabel 15) geeft een overzicht van de uitgevoerde scenarioanalyses, en of deze uitgevoerd zijn met het 1D-model, dan wel het 2D-model of beide.

Tabel 15: Overzicht uitgevoerde scenarioberekeningen met 1D- en/of 2D-model

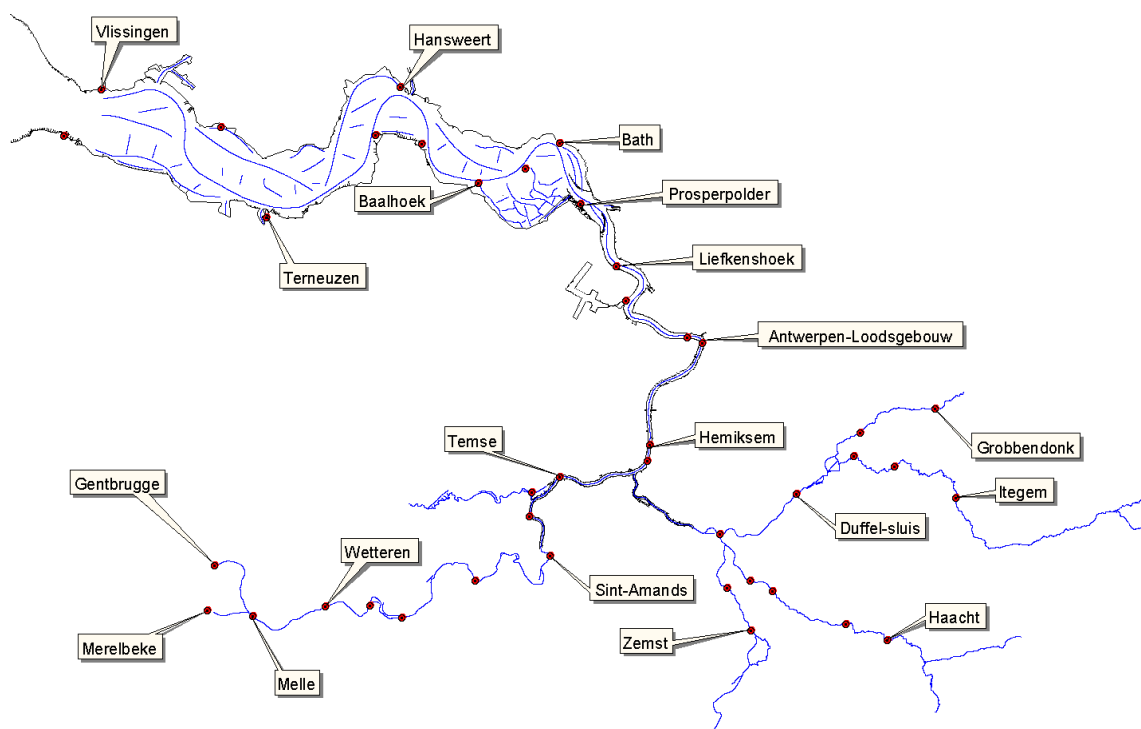
Scenario	1D	2D
Zeespiegelrijzing	X	X
Omgekeerde rechttrekking		
Zeeschelde	X	
Durme	X	
Wijziging bovendebiet	X	
Omgekeerde inpoldering Vliet	X	
Omgekeerde inpoldering polders		
Braakman	X	X
Nieuw-Westlandpolder	X	X
Tielrodebroek	X	X
Groot Schoor	X	X
Bergenmeersen	X	
Verruiming van de vaargeul		X
Wijzigingen ter hoogte van Gat van Ossenisse – Middelgat		X
Zandwinning		X

Daarnaast werden eveneens sommige van bovenstaande wijzigingen/ingrepen gecombineerd in een numeriek scenario. In het volgende deel van dit hoofdstuk wordt een kort overzicht gegeven van de modellen gebruikt voor de scenarioanalyses. Daarna zullen per scenario de resultaten bondig worden beschreven. Voor een uitgebreide beschrijving van de resultaten wordt verwezen naar Coen et al. (2009) voor de 1D simulaties en Maximova et al. (2009b) voor de 2D simulaties.

5.2 1D en 2D-modelinstrumentarium

5.2.1 1D-Sigmamodel

In het kader van de actualisatie van het Sigmaplan werd in 2003 een hydrodynamisch model van het Scheldebekken opgebouwd. Het Sigmamodel model bevat de Westerschelde, de Zeeschelde en al haar zijrivieren. De zeewaartse rand van het model is de lijn tussen Vlissingen en Breskens. Als modelleringsoftware wordt gebruik gemaakt van MIKE 11, ontwikkeld door DHI. Voor een gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar het rapport betreffende de opbouw, kalibratie en validatie van dit model (THV. RA-IMDC, 2003).

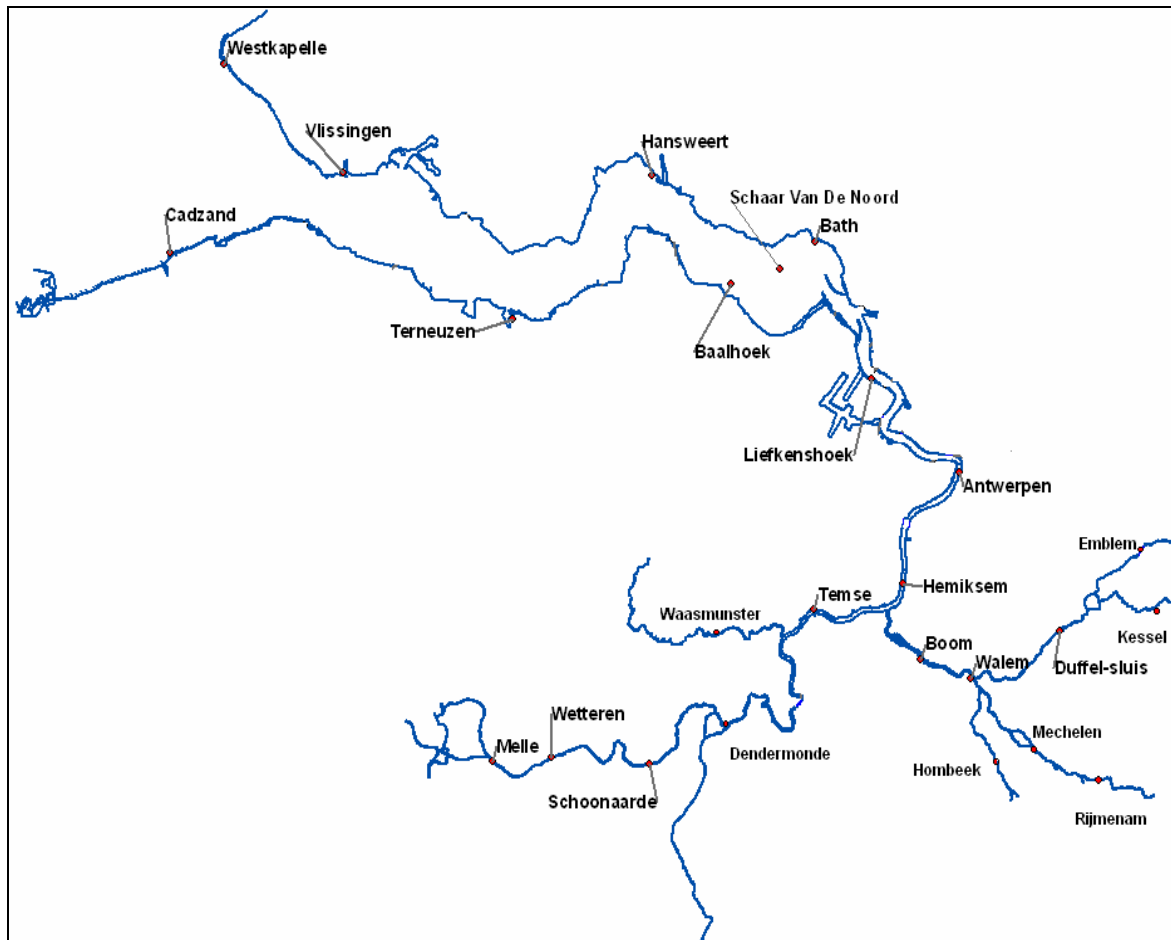


figuur 5-1: Geografische begrenzing Sigmamodel + locatie tijposten

Om het effect van alle hydrodynamische omstandigheden voor de verschillende scenario's te toetsen, werd geopteerd voor het uitvoeren van lange-termijn simulaties. De gemeten debieten en waterstanden voor de periode 1998-1999 werden opgelegd op het model en doorgerekend. Door vergelijking van de waterstand voor een bepaald scenario ten opzichte van de referentiesituatie, werd de impact van de verschillende scenario's bestudeerd.

5.2.2 2D-Nevlamodel

Het 2D-Nevlamodel is een grootschalig model van het Schelde-estuarium dat werd gemaakt op het Waterbouwkundig Laboratorium. Het modelgebied omvat de Westerschelde, de Zeeschelde en alle aan getij onderhevige zijrivieren. Waar de afwaartse grens van dit model enkele kilometers in zee ligt, werd voor deze studie de afwaartse rand ter hoogte van de raai Westkappele-Cadzand gebruikt. In het kader van deze studie werd de meest recente bathymetrie in het 2D-Nevlamodel geïmplementeerd, waarna een gevoeligheidsanalyse (Ides et al., 2008) en een kalibratie (Vanlede et al., 2008), (Maximova et al., 2009a) werd uitgevoerd. Het 2D-Nevlamodel is opgebouwd in de software SIMONA en draait wegens de uitgestrektheid van het model op een parallelle rekencluster.



figuur 5-2: Geografische begrenzing Nevlamodel + locatie tijposten

Voor de scenario's die in dit rapport bestudeerd worden, werd gebruikt gemaakt van de periode 19/06/2002 tot 17/07/2002. Te Westkappelle en Cadzand werden de gemeten waterstanden gebruikt, aan de opwaartse zijde van het modelgebied werden de daggemiddelde debieten opgelegd. Deze simulatieperiode is enerzijds lang genoeg om het effect van de scenario's op verschillende getijden te bestuderen, anderzijds werd er gekozen voor deze periode omdat er hoogfrequente metingen voor te Merelbeke beschikbaar zijn. Uit de gevoeligheidsanalyse (Ides et al., 2008) is immers gebleken dat dit daggemiddelde debieten te Merelbeke onvoldoende zijn om de waterstanden in de Boven Zeeschelde nauwkeurig te kunnen berekenen.

De verschillende scenario's die met het 2D hydrodynamische model werden doorgerekend werden steeds vergeleken met de referentiesituatie. Hierbij werden zowel de waterstanden, de debieten en soms de stroomsnelheden berekend door het model geanalyseerd.

5.3 Scenario-analyses

5.3.1 Zeespiegelrijzing

5.3.1.1 Inleiding

Tijwaarnemingen in de Noordzee tijdens de laatste decennia geven een stijging van de zeespiegel aan, van zowel de hoog- als laagwaters (Lebbe en Van Meir, 2000). Het globaal gemiddeld peil van de Noordzee is met 0.1 à 0.2 cm/jaar toegenomen gedurende de laatste 20 jaar. Het 'Intergovernmental Panel on Climate Change' (IPCC) voorspelt dat de zeespiegel verder zal stijgen, met 14 à 80 cm tegen het jaar 2100 ten gevolge van de thermische expansie en het afsmelten van de ijskappen. Kustgebieden krijgen te maken met een significant stijgend risico voor overstromingen en erosie ten gevolge van de zeespiegelrijzing, met of zonder meer frequente en strenge stormen.

Volgens de scenario's van het KNMI, wordt een zeespiegelrijzing van 15 à 25cm verwacht tegen 2050, bij een stijging van de gemiddelde wereldtemperatuur met 1°C, en 20 à 35 cm bij een stijging van de temperatuur met 2°C. Tegen 2100 voorspelt het KNMI een zeespiegelrijzing aan de Nederlandse kust in grootteorde van 35 à 85cm (Van den Hurk et al., 2006). Onderzoek van de Gentse universiteit geeft aan dat de regionale zeespiegelrijzing in de Noordzee in de grootteorde van 40 tot 70 cm zal zijn, voor het jaar 2100. Voor berekeningen betreffende het Sigmaplan wordt een zeespiegelrijzing van 60cm verwacht tegen 2100, met een stijging van de laagwaters met 55 cm en van de hoogwaters met 90cm.

Met het 1D-model wordt een scenarioberekening uitgevoerd waarbij de afwaartse waterstanden van het model met 60 cm verhoogd worden. Aangezien het om een hypothetisch scenario gaat, wordt geen rekening gehouden met eventuele verschillen in stijging tussen laagwater en hoogwater. De (gemeten) waterstandsreeks te Vlissingen voor periode 1998-1999 wordt in zijn geheel vermeerderd met 60 cm.

Met het 2D-model worden 4 scenarioberekeningen uitgevoerd. De analyse van het effect van zeespiegelrijzing wordt gebaseerd op scenario met een stijging van 25 cm (circa de stijging voorspeld voor het jaar 2050), en een stijging van 60 cm (circa de stijging voorspeld voor het jaar 2100). Daarnaast wordt eveneens een scenario uitgevoerd waarbij een daling van 25 cm van de zeespiegel wordt gesimuleerd. Net zoals bij de 1D simulaties worden de gemeten randvoorwaarden aan de afwaartse rand van het model (Westkapelle en Cadzand) voor het jaar 2002 worden verlaagd of verhoogd met deze waarden in de scenarioberekeningen.

Naast de scenario's waarbij de opgelegde randvoorwaarden louter worden vermindert of vermeerderd met een bepaalde waarde, wordt met het 2D model eveneens een scenario uitgevoerd waarbij naast het stijgen van het zeeniveau eveneens het effect van een toename van de getijslag in de Noordzee wordt bestudeerd. Hiervoor worden de afwaartse waterstanden eerst vermenigvuldigd met 1,05 waarna er een verhoging van 50 cm wordt doorgevoerd. Het resultaat is dat bij dit scenario de hoogwaters te Cadzand circa 60 cm hoger zijn ten opzichte van de referentiesituatie, terwijl de laagwaters slechts met 41 cm zijn gestegen. In dit scenario is er dus eveneens een verhoging van de getijslag.

5.3.1.2 Hoog- en laagwaters

De stijging van het waterpeil aan de afwaartse rand van de modellen zorgt zoals verwacht voor een stijging van het waterpeil in het Schelde-estuarium. De stijging van het gemiddelde hoogwater is echter steeds groter dan de stijging van het gemiddelde laagwater. Bijgevolg is er een toename van het getijverschil.

Voor het scenario met een zeespiegelrijzing van 60 cm komen de resultaten van de 1D- en 2D-berekeningen goed overeen. Het verschil tussen beide modellen bedraagt maximaal enkele cm.

Er wordt eveneens een gelijkaardige trend over het lengteprofiel van de Zeeschelde waargenomen, met een minimale stijging ter hoogte van Sint-Amands/Dendermonde.

Wat betreft de hoogwaters wordt de opgelegde zeespiegelrijzing bijna zonder wijziging voortgezet over de ganse Westerschelde. Vanaf de Belgisch-Nederlandse grens tot Temse neemt de stijging van de hoogwaters af. Opwaarts Temse wordt het effect van de zeespiegelrijzing kleiner met een minimale stijging ter hoogte van Dendermonde/Sint-Amands. Opwaarts Schoonaarde wordt de stijging van het gemiddelde hoogwater opnieuw groter, tot zelfs hoger dan de opgelegde zeespiegelrijzing. Deze trend wordt zowel waargenomen voor de opgelegde zeespiegelstijging van 60 cm, als van 25 cm. Wanneer een zeespiegeldaling wordt opgelegd, is een gelijkaardige trend in omgekeerde richting zichtbaar.

Het beperkt stijgen van de gemiddelde hoogwaters is mogelijks te wijten aan het gebruik van een recente bathymetrie. Hierdoor wordt de komberging bij zeespiegelrijzing vermoedelijk overschat met geringe peilstijgingen tot gevolg. In werkelijkheid zal de bathymetrie van de rivier de stijging van het zeeniveau enigszins volgen. Het betreft hier als het ware talrijke mini-ontpolderingen.

Voor de scenarioberekening met zeespiegelrijzing inclusief toename van de getijslag op de Noordzee is de relatieve verandering van de hoogwaters (ie. verandering waterpeil in een station minus opgelegde verandering waterpeil in Cadzand) vergelijkbaar met deze voor de scenarioberekening met een zeespiegelrijzing van 60 cm. Er is bijna geen verschil tussen het opgelegde waterpeil en de veranderingen tussen Vlissingen en Hansweert. Tussen Hansweert en Temse is de stijging, met 1 tot 5 cm, kleiner vergeleken met Cadzand. De kleinste stijging komt voor tussen Temse en Schoonaarde.

De relatieve verandering van de laagwaters is vergelijkbaar met de resultaten van de scenarioberekening met een opgelegde zeespiegelrijzing van 25 cm. Ter hoogte van Vlissingen is de stijging van de laagwaters vergelijkbaar met de opgelegde stijging in Cadzand. Tussen Vlissingen en Temse daalt de stijging van de laagwaters traag. Opwaarts Temse wordt de stijging van de laagwaters plots kleiner.

5.3.1.3 Getij-asymmetrie

De getijasymmetrie wordt gedefinieerd als de verhouding van de duur van de daling van het waterpeil over de duur van de stijging van het waterpeil. De getijasymmetrie neemt dus toe bij toenemende duur van de daling.

In het Schelde-estuarium is de ebstroom dominant, en wordt sterker in de Zeeschelde opwaarts Temse. De veranderingen in getijasymmetrie zijn klein in de Westerschelde en nemen opwaarts toe, met de grootste veranderingen opwaarts Temse. De getijasymmetrie is maximaal in het scenario met zeespiegeldaling, en neemt af in de scenario's met zeespiegelrijzing. Wanneer de toename van de getijslag in de Noordzee in rekening gebracht wordt, daalt het getijverschil minder dan in de scenarioberekening zonder stijging van de getijslag. De toename van de duur van stijgend water als gevolg van zeespiegelstijging is dus het grootst wanneer geen stijging van het getijverschil in rekening gebracht wordt.

5.3.1.4 Eb- en vloedvolumes

Zeespiegelstijging resulteert in een stijging van de getijvolumes, terwijl zeespiegeldaling zorgt voor een daling van de getijvolumes. Dit effect is mogelijks gerelateerd aan de vorm van de dwarsdoorsneden in het estuarium: hoe hoger het waterpeil, hoe breder de natte sectie zal zijn.

De veranderingen in getijvolumes voor de zeespiegeldaling en –stijging van 25 cm zijn van gelijkaardige grootte, maar hebben een verschillend teken. De zeespiegeldaling heeft een iets groter effect op de getijvolumes dan de zeespiegelstijging, al is dit verschil niet zeer uitgesproken. Wanneer de zeespiegelrijzing van 60 cm wordt opgelegd, rekening houdend met

de toename van de getijslag, stijgt het getijvolume meer dan wanneer geen rekening gehouden wordt met de stijging van het getijverschil.

5.3.2 Omgekeerde rechttrekking

5.3.2.1 Inleiding

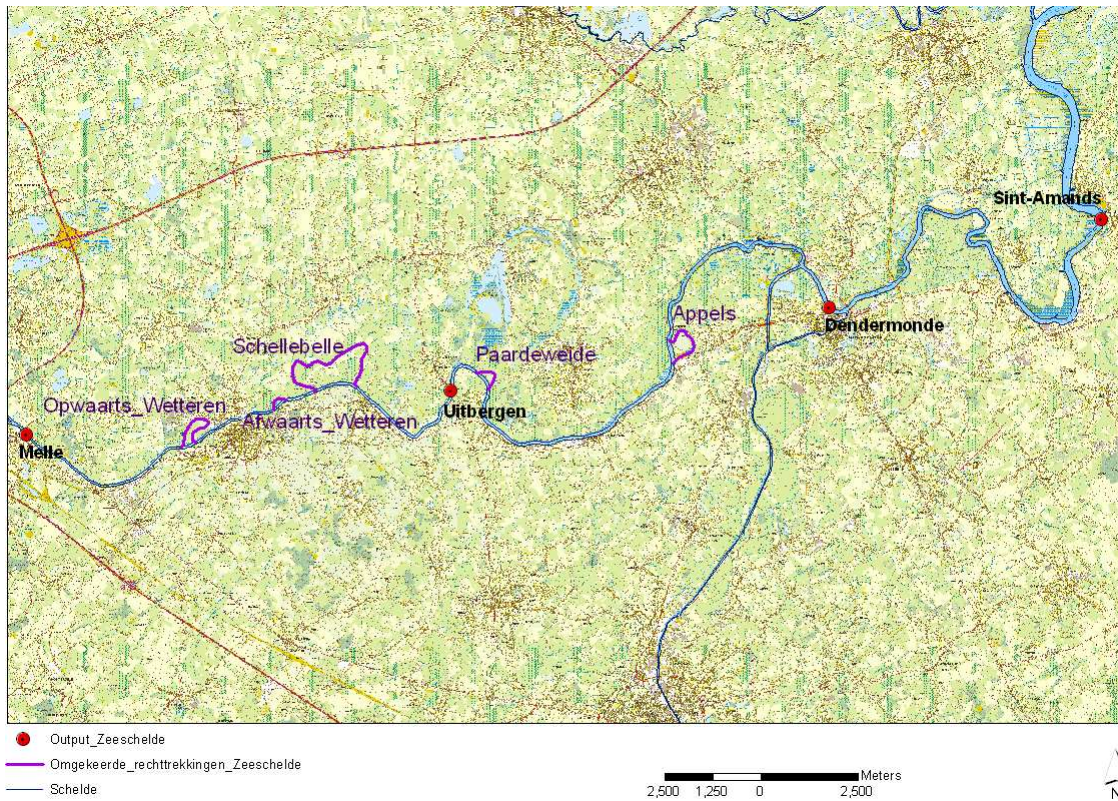
De in het verleden uitgevoerde regularisaties en bochtafsnijdingen hebben de Zeeschelde en de Durme ingekort met respectievelijk meer dan 6,5 km (van 10 km naar 3,5 km) en 2 km (van 5,2 km naar 3,2 km). Deze normalisatiewerken hadden onder andere tot doel de afvoercapaciteit te verhogen. De bedoeling is met behulp van het 1D-model na te gaan in welke mate deze inkortingen hebben bijgedragen tot het meer opwaarts indringen van het getij (cfr Stelling 9, rapport Van Braeckel et al., 2006).

Volgende bochten worden ingevoerd, op de Zeeschelde, tussen Melle en Dendermonde (circa 10 km) (figuur 5-3):

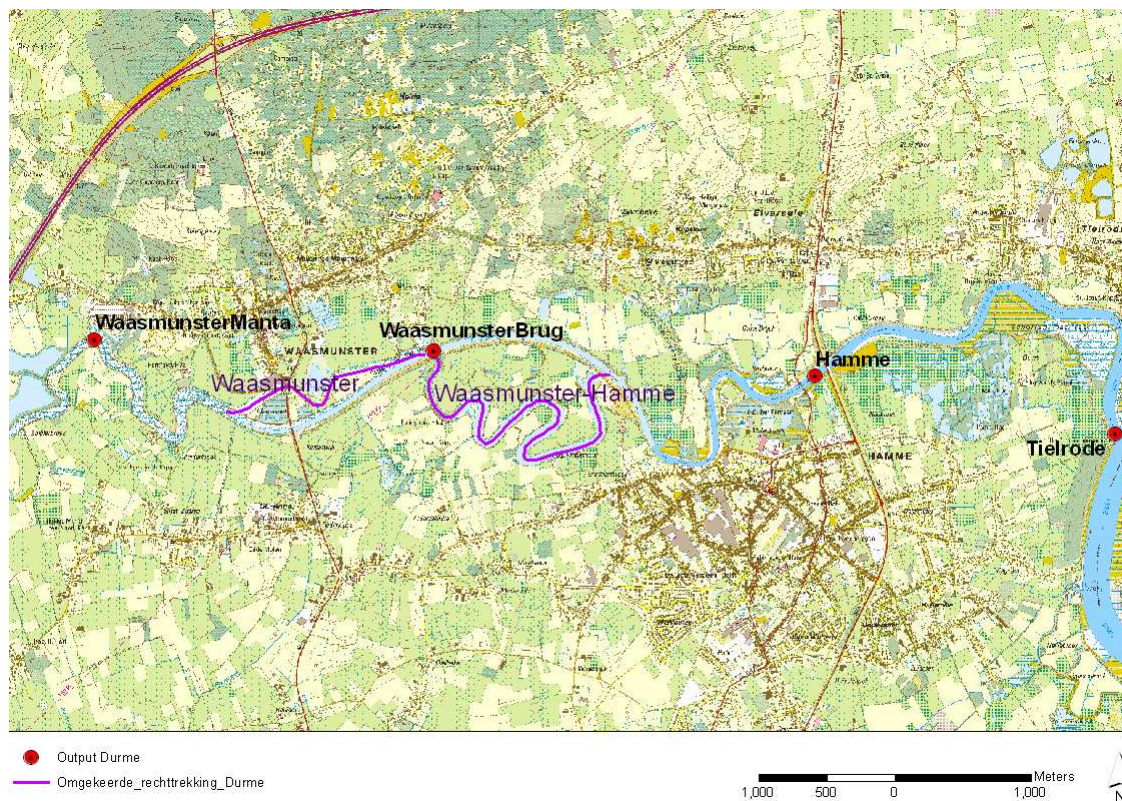
- Opwaarts Wetteren (rechttrekking in 1882-1883; circa 1,9 km);
- Afwaarts Wetteren (rechttrekking in 1883, circa 0,55 km);
- Ter hoogte van Schellebelle – Kalkense Meersen (rechttrekking 1883-1885, circa 4,4 km);
- Ter hoogte van Paardeweide (rechttrekking in 1889-1892, circa 0,9 km);
- Ter hoogte van Appels (rechttrekking in 1882-1883, circa 1,8 km).

De geulverlegging ter hoogte van de monding van de Durme in Weert wordt niet meegenomen.

Op de Durme worden omgekeerde rechttrekkingen ingevoerd te Waasmunster en tussen Hamme en Waasmunster (circa 5,2 km).



figuur 5-3: Omgekeerde rechttrekkingen op de Zeeschelde (paars) opgenomen in het 1D-model



figuur 5-4: Omgekeerde rechttrekkingen op de Durme (paars) opgenomen in het 1D-model

In de zones van waar de omgekeerde rechttrekkingen worden ingevoerd, heeft het gekalibreerde Sigmamodel een Manningsruwheid gelijk aan $0,03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ (afwaarts bocht Appels) tot $0,04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ (Melle), wat een standaardwaarde is voor dergelijke waterlopen. Meer meandering betekent een toename van de helicoïdale beweging in de rivier, wat op haar beurt een toename van de ladingsverliezen met zich meebrengt. Daar in het 1D model het effect van helicoïdale stroming niet wordt meegenomen, wordt ervoor gekozen om eveneens een scenario uit te voeren waarbij de Manningsruwheid ter hoogte van de omgekeerde rechttrekking wordt verhoogd (van $0,035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ tot $0,041 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$). Hierdoor wordt bij dit scenario het effect van ladingsverliezen ten gevolge van helicoïdale stroming wel meegenomen.

5.3.2.2 Hoog- en laagwaters

Een omgekeerde rechttrekking resulteert in een duidelijke daling van de hoogwaters en een toename van de laagwaters zowel op- als afwaarts van de ingreep en dus een afname van het tijverschil. Hoe meer opwaarts, hoe minder sterk de getij-indringing zich voordoet, waardoor de invloed van bovendebiet toeneemt. Dat resulteert in een kleiner effect op de hoogste hoog- en laagste laagwaters.

Een verhoging van de ruwheid van de Schelde ter hoogte van de omgekeerde rechttrekkingen zorgt ervoor dat volledig stroomopwaarts van de omgekeerde rechttrekkingen te Melle, de daling van het gemiddelde hoogwater versterkt wordt vergeleken met het scenario met enkel omgekeerde rechttrekkingen. De toename van de laagwaters wordt meer versterkt. In de Schelde tussenin de omgekeerde rechttrekkingen (Uitbergen) wordt de daling van de gemiddelde hoogwaters beperkt ten opzichte van het scenario met omgekeerde rechttrekkingen alleen. De toename van de gemiddelde laagwaters wordt dan weer wel versterkt, echter in beperktere mate dan volledig stroomopwaarts van de rechttrekkingen. Te Dendermonde heeft het verhogen van de ruwheid stroomopwaarts nog een beperkt effect op het gemiddeld hoog- en laagwater. De daling van het gemiddelde hoogwater in het scenario met enkel omgekeerde rechttrekkingen wordt omgezet in een beperkte stijging, en omgekeerd wordt de stijging van het gemiddelde laagwater omgezet in een beperkte daling. Dit resulteert in een geringe toename van het tijverschil tov. omgekeerde rechttrekking alleen. Verder stroomafwaarts van de omgekeerde rechttrekkingen op de Schelde, te Sint-Amands treden enkel nog beperkte wijzigingen van het laagwater op, in dezelfde trend als in Dendermonde.

5.3.2.3 Getijasymmetrie

Voor de beschouwde locaties langs de Zeeschelde alsook langs de Durme kan worden besloten dat een omgekeerde rechttrekking haast geen invloed heeft op de duur van stijging en daling. Dat de rechttrekking op de Durme niet de belangrijkste oorzaak is voor de waargenomen wijziging van de getijasymmetrie is dan ook duidelijk.

Opwaarts in de Durme neemt de ebduur wel af (~ 10 minuten), met hogere ebsnelheden en lagere vloednelheden tot gevolg voor de situatie met omgekeerde rechttrekking. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de afname in tijverschil maakt dat in dezelfde tijd een kleiner hoogteverschil moet worden overbrugd. Er is dus een afname van eb- en vloedstroomsnelheden.

Wanneer de ruwheid verhoogd wordt ter hoogte van de omgekeerde rechttrekkingen, wordt in tegenstelling tot de omgekeerde rechttrekking alleen een groter effect op de duur van eb en vloed waargenomen. Te Melle bedraagt de toename in ebduur circa 15 minuten, in Uitbergen nog zo'n 7 minuten, dus een toename in asymmetrie. Te Dendermonde is geen effect meer vast te stellen.

5.3.2.4 Eb- en vloedvolumes

Afwaarts van de ingrepen wordt slechts een beperkte wijziging van het vloedvolume waargenomen. Dit resulteert in een geringe wijziging van het ebvolume en gelijkblijvende

verhoudingen. Ter hoogte van de ingrepen op de Schelde (Uitbergen) zorgt de combinatie van toegenomen vloedvolumes en een afname van de invloed van bovendebiet (door de omgekeerde rechttrekkingen vergroot de afstand naar opwaarts) voor een relatief sterker toenemende vloed, maar blijven beide grootheden wel toenemen. De verhouding eb-/vloedvolume blijft quasi gelijk. Meer opwaarts op de Schelde (Melle), gezien de getij-indringing hier niet langer zo fors is, neemt het vloedvolume af met een toename van de verhouding van eb- en vloedvolume tot gevolg. In alle gevallen betekent dit een toename van het uitschurende vermogen.

Op de Durme treedt ter hoogte van en opwaarts van de ingrepen een daling op van zowel het vloed- als het ebvolume. Gezien de afname van het vloedvolume steeds groter is dan de afname van het ebvolume, neemt de verhouding van eb- en vloedvolume toe. Ook hier is dus een toename van het uitschurend vermogen.

De omgekeerde rechttrekkingen in combinatie met een verhoogd bovendebiet zorgen voor een daling van zowel het eb- als het vloedvolume. Aangezien de vloedvolumes grotere dalingen kennen dan de ebvolumes, neemt de ratio eb-/vloedvolume toe ten opzichte van de referentie. Opwaarts de rechttrekkingen is de daling van het vloedvolume circa 3 maal zo groot als de daling van het ebvolume, waar deze afwaarts van de rechttrekkingen ongeveer gelijk is. Ter hoogte van de omgekeerde rechttrekkingen treedt in het scenario met enkel rechttrekkingen een beperkte stijging op van het eb- en vloedvolume. Door de verhoging van de ruwheid wordt deze stijging omgezet in een daling, waarbij de daling van de vloedvolumes bij dubbel zo groot is als deze van de ebvolumes.

5.3.3 Wijziging bovendebiet

5.3.3.1 Inleiding

De rechttrekkingen van de Leie in de jaren zeventig maakten dat de piekdebieten op de Leie enorm toenamen. Aangenomen mag worden dat voorheen overstromingen van de Leie opwaarts Gent de piekafvoer richting Gent beperkten. Door de aanleg van de Ringvaart (en dan vooral van de stuw van Evergem) kan extra waswater richting Terneuzen worden afgevoerd. Mogelijks zorgt dit voor een status quo in de (piek)debieten richting Zeeschelde (mondelinge mededeling Ir. J. Balduck, Afdeling Bovenschelde). In normale en droge omstandigheden werd ook in het verleden prioriteit gegeven aan het terugdringen van de zoutinrusie in het kanaal Gent-Terneuzen, hoewel geen sprake was van de verplichte 13 m³/s. Het overblijvende debiet werd steeds naar de Zeeschelde gestuurd ter vermindering van aanslibbing. Het toegenomen waterverbruik kan de laatste jaren wel gezorgd hebben voor een vermindering van de toevoer naar de Zeeschelde in droge perioden.

Naar aanleiding van Stelling 9 (rapport Van Braeckel et al., 2006) werden twee hypothetische debietreeksen van Melle voor de periode 1970 – 2000 aangemaakt indien de Ringvaart (maar vooral de stuw van Evergem) niet operationeel zouden zijn: Q_{MELa} beschouwt een rechtgetrokken Leie (mogelijks overschatting piekafvoeren), Q_{MELb} daarentegen brengt aftopping van de piekafvoeren in rekening. Een derde hypothetische debietreeks (Q_{MELc}) veronderstelt de huidige afvoersituatie bij was, maar een afname van het bovendebiet in droge perioden en in geringere mate tijdens normale omstandigheden (Tabel 16).

De drie debietreeksen werden gebruikt als opwaartse randvoorwaarde in het 1D-Sigmamodel.

Tabel 16: Bovenafvoer te Melle

m ³ /s	Droge periode	Normale omstandigheden	Wasperiode
$Q_{Bovenschelde}$	15	25-50	150-250

Q_{Leie}	12	20-40	120-200
Q_{Melle}	10	15-30	110-300
Q_{MELa}	13	20-40	140-350
Q_{MELb}	13	20-40	130-250
Q_{MELc}	5	10-25	110-300

5.3.3.2 Hoog- en laagwaters

Hoewel de debietreeksen van de bovenafvoer hypothetisch van aard zijn, kan uit de resultaten worden besloten dat een verhoging van het bovendebiet een dubbel zo groot effect heeft gehad op de toename van de laagwaters dan op de stijging van de hoogwaters. Hierdoor neemt het tijverschil af.

Een verlaging van het bovendebiet zorgt voor een sterkere daling van de laagwaters dan van de hoogwaters. Hierdoor neemt het tijverschil toe.

Ter hoogte van Dendermonde is nog een wijziging van de hoog- en laagwaters van enkele cm merkbaar.

De combinatie van de omgekeerde rechtekkingen op de Schelde en een gewijzigd bovendebiet te Melle, zorgt ervoor dat de daling van het gemiddelde hoogwater op de Schelde beperkter is dan bij omgekeerde rechtekkingen alleen. De stijging van de laagwaters is dan weer groter. Het resultaat is een bijkomende daling van het tijverschil.

5.3.3.3 Getijasy-mmetrie

Voor de beschouwde locaties langs de Zeeschelde kan worden besloten dat een wijziging van het bovendebiet de duur van stijging en daling te Melle met 5 à 10 minuten doet afnemen resp. stijgen, dus een toename in asymmetrie. Te Uitbergen betreft het een verandering in duur van minder dan 5 minuten.

De combinatie van de omgekeerde rechtekkingen met een gewijzigd bovendebiet te Melle, zorgt slechts voor een beperkte wijziging in de getijasy-mmetrie ten opzichte van de referentie. Te Melle neemt de duur van de stijging van het waterpeil af met circa 16 min (tov. 5 minuten bij enkel omgekeerde rechtekking), dus een toename in asymmetrie. De duur van de daling van het waterpeil neemt toe met circa 15 min (tov. 5 minuten bij enkel omgekeerde rechtekking). In de andere beschouwde locaties langs de Zeeschelde treedt hetzelfde effect op, echter met steeds kleinere verschillen meer stroomafwaarts van Melle, te Uitbergen ~8 minuten, te Dendermonde nog zo'n 2 minuten.

5.3.4 Omgekeerde inpoldering Vliet

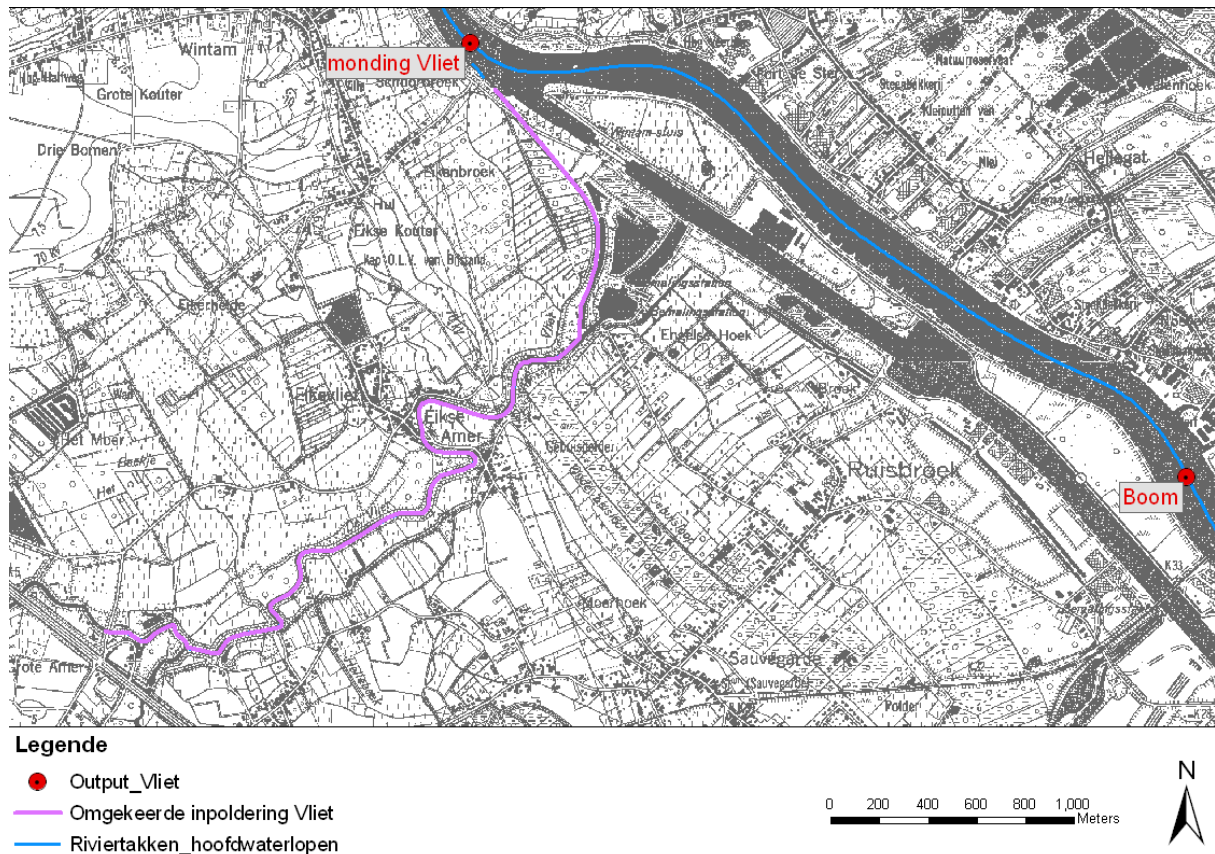
5.3.4.1 Inleiding

In de afgelopen eeuwen zijn er vele inpolderingen gebeurd langs het Schelde-estuarium. Enerzijds zal de grootte van het ingepolderde gebied een invloed hebben op de getijvoortplanting, anderzijds is ook de locatie van het gebied ten opzichte van de monding belangrijk.

In de evolutie van het laagwater tussen 1961-70 en 1971-80 wordt een opvallende sprong waargenomen. Er wordt verondersteld dat deze plotse val van het gemiddelde laagwater in de

Rupel veroorzaakt is door de combinatie van de eerste verdieping van de Schelde en het afsluiten van de Vliet (Stelling 7, Van Braeckel et al., 2006).

Enkel het deel van de Vliet waarvan uit literatuur met zekerheid geweten is dat het onder getij-invloed was, is in het 1D-model opgenomen. De dwarsdoorsneden van deze riviertak werden bepaald op basis van recente topografische opmetingen (Bron: VMM). Voor de secties nabij de monding werd gebruikt gemaakt van plannen opgesteld naar aanleiding van de waterbeheersingswerken in 1978. Enkel de waterloop zelf werd in rekening gebracht gezien de aanwezigheid van dijklichamen. Een constant bovendebiet van 1 m³/s werd hierbij opgelegd als opwaarts randvoorwaarde.



figuur 5-5: Omgekeerde inpoldering Vliet (Topografische kaart 1: 10 000, Nationaal Geografisch Instituut, 1978-1993)

5.3.4.2 Hoog- en laagwaters

Te Boom, Temse en Schelle worden wijzigingen in de hoog- en laagwaters orde +/- 1 cm (<1%) gesimuleerd.

5.3.4.3 Getijsymmetrie

De omgekeerde inpoldering van de Vliet heeft geen invloed op de duur van stijging en daling van het waterpeil in bovenstaande locaties.

5.3.4.4 Eb- en vloedvolumes

Te Schelle treedt een stijging op van zowel het vloedvolume als het ebvolume in het scenario met omgekeerde inpoldering tov. het referentiescenario. Te Temse en Boom nemen vloed- en ebvolumes echter af. De extra volumes die in Schelle passeren tezamen met de afgenomen volumes te Temse en Boom komen volledig in de nu aan getij onderhevige Vliet terecht.

De volumes in de Vliet zijn wel een factor 100 kleiner dan deze in de Zeeschelde ($\sim 10^9$ m³/maand) en een factor 10 kleiner dan deze in de Rupel te Boom ($\sim 10^8$ m³/maand).

Getijwerking op de Vliet zorgt voor een toename van het hydraulisch vermogen afwaarts van de aantakking. Tevens nemen de vloed- en ebvolumes opwaarts van de aantakking af. Deze toename en afname in eb- en vloedvolumes resulteert in beperkte peilwijzigingen orde +/- 1 cm. Het effect van de afsluiting van de Vliet op het gemiddelde laagwater is dus verwaarloosbaar.

5.3.5 Omgekeerde inpoldering polders

5.3.5.1 Inleiding

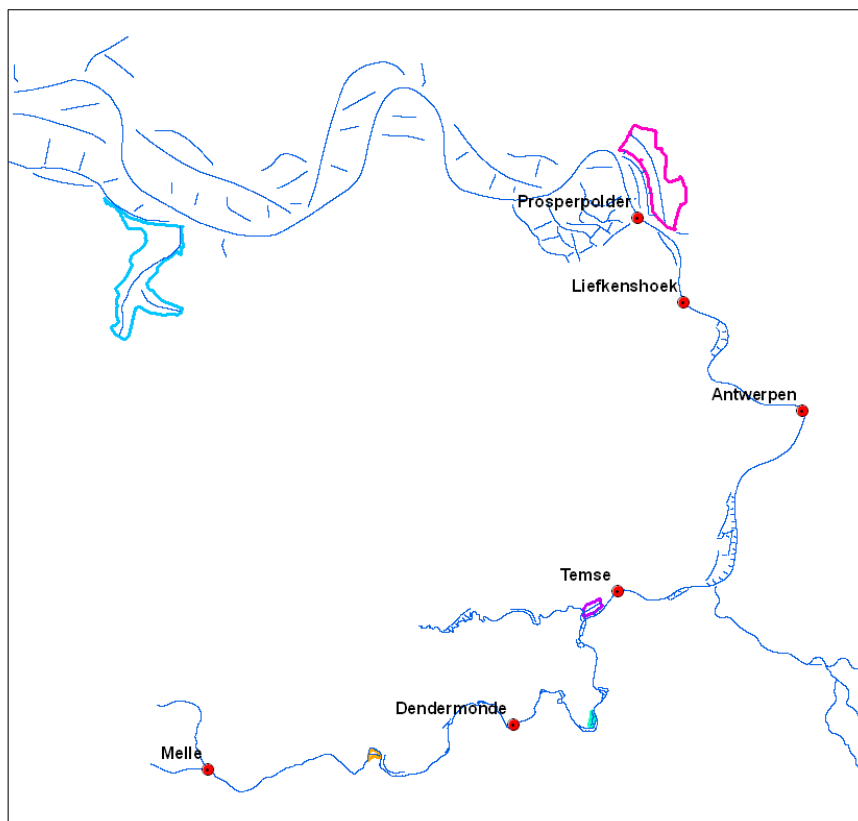
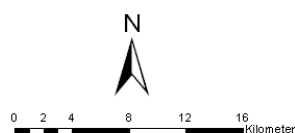
In het verleden werden er op verschillende plaatsen langs het Schelde estuarium inpolderingen uitgevoerd. De verwachting is dat deze inpolderingen een effect hebben op de getijdoordringing in het estuarium, aangezien een deel van het in het estuarium stromende water tijdelijk in de polder zal gestockeerd worden. Echter het effect van een polder dichtbij de Noordzee zal naar verwachting minder effect hebben dan een polder meer opwaarts.

Voor de scenarioanalyse werd in de verschillende saliniteitszones binnen de vallei van de Zeeschelde en de Westerschelde gezocht naar gebieden die in de laatste eeuwen ingepolderd zijn. Volgende gebieden werden hiervoor geselecteerd (figuur 5-6):

- Westerschelde: Braakman
- Mesohaliene zone: Nieuw-Westlandpolder
- Oligohaliene zone: Tielrodebroek
- Zoete zone met lange verblijftijd: Groot Schoor (Hamme)
- Zoete zone met korte verblijftijd: Bergenmeersen

Legende

- Riviernetwerk_INBO
- Braakman
- NieuwWestlandpolder
- Tielrodebroek
- GrootSchoor
- Bergenmeersen
- output



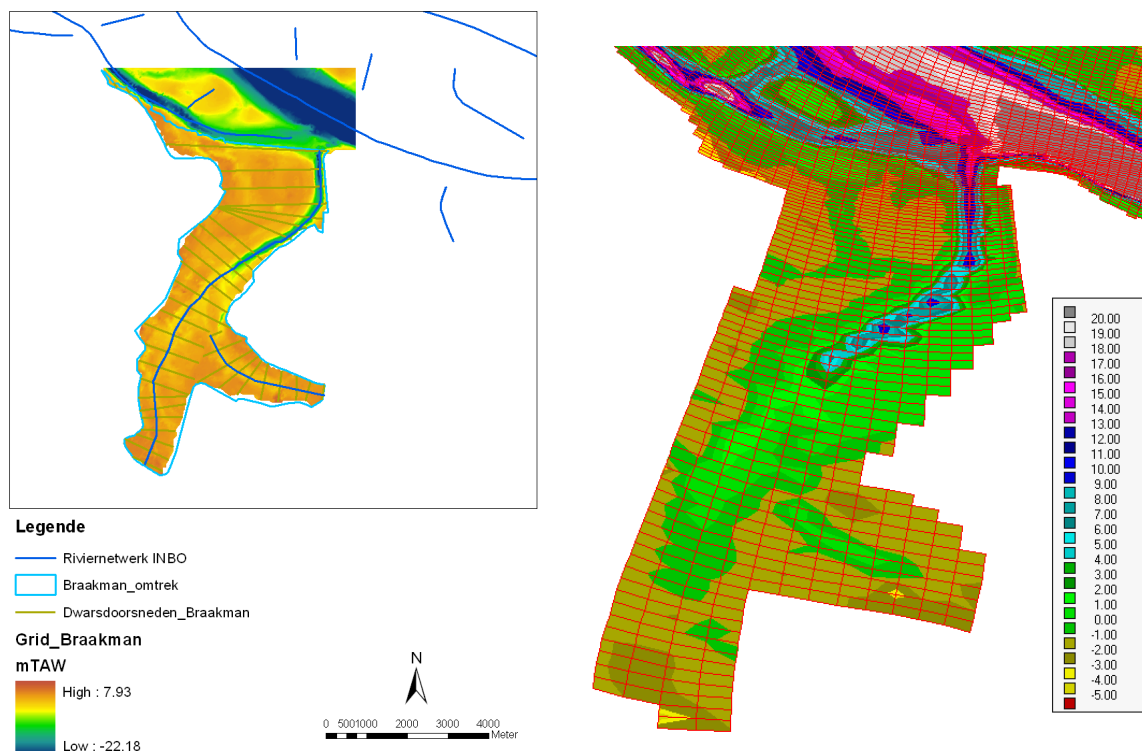
figuur 5-6: Overzicht omgekeerde inpolderingen

Voor de polders Braakman en Nieuw-Westlandpolder bedraagt het intertidaal volume in de polder circa 5% van het lokale vloedvolume. Voor de polders Tielrodebroek, Groot Schoor en Bergenmeersen is het hoogtegrid zodanig aangepast dat ook hier het intertidaal volume gelijk is aan circa 5% van het lokale vloedvolume. Op die manier is het effect van de polders – die zich bevinden op verschillende locaties langsheen het estuarium – eenvoudig te vergelijken.

De vijf bovenstaande polders worden ingevoerd in het 1D-model. De polder van Bergenmeersen wordt niet ingebracht in het 2D-model. Met het 2D-model worden nog 2 extra scenarioberekeningen uitgevoerd, met enerzijds een combinatie van Braakman en Nieuw-Westlandpolder, en anderzijds de 4 polders tezamen.

5.3.5.2 Polders

Braakman



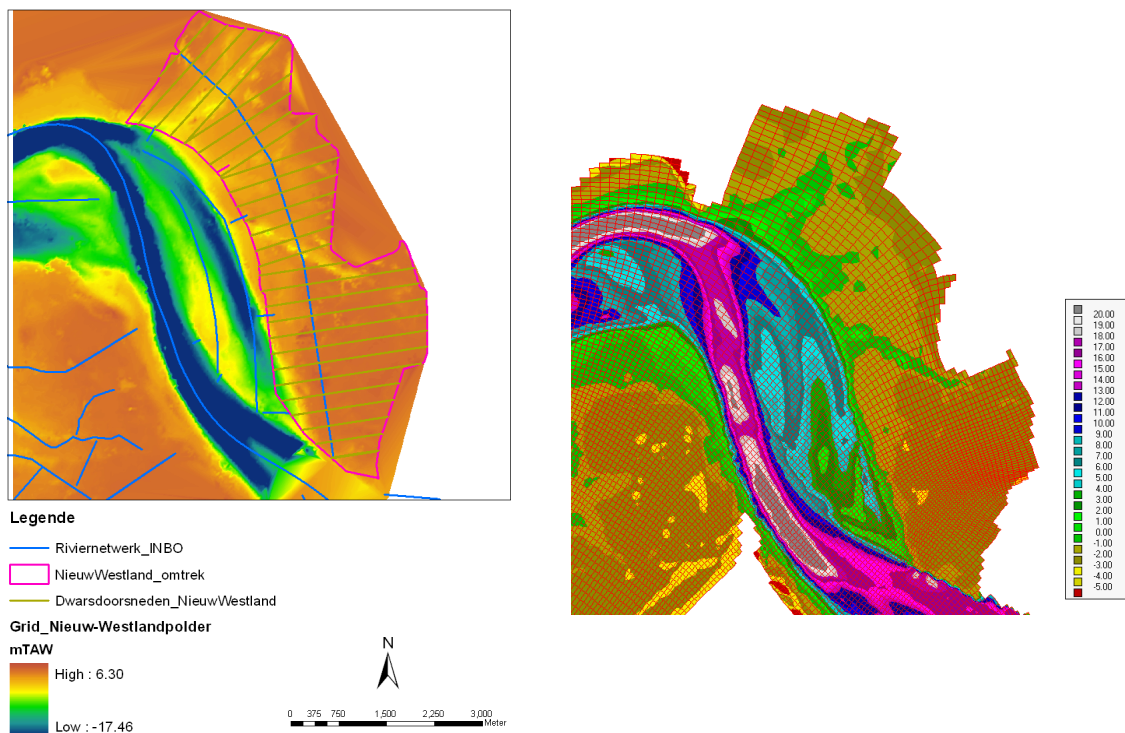
figuur 5-7: Schematisatie omgekeerde inpoldering Braakman in het 1D (links) en 2D-model (rechts)

De polder Braakman werd ontpolderd in 2 delen: het eerste deel in 1856, en het tweede deel in 1938. Enkel het laatste deel wordt opgenomen in het 1D- en 2D-model.

De polder heeft een intertidaal volume van circa 50 Mm³ onder NAP +2,5 m. Dit komt overeen met ongeveer 5% van het lokale vloedvolume bij springtij. De oppervlakte van deze omgekeerde inpoldering bedraagt circa 2000 ha.

Analyse van de 2D simulatie toont aan dat een gedeelte van de vloedstroming in de polder stroomt. In het begin van de vloed gaat de stroming in de polder door slechts één kanaal als verbinding tussen het estuarium en Braakman. Wanneer het waterpeil stijgt, kan het water de polder binnenstromen door een bredere zone. De Braakman polder wordt volledig overstroomd tijdens de vloedperiode. Een volume van circa 46 Mm³ wordt effectief opgevangen in de polder, tijdens een vloedperiode bij springtij.

Nieuw-Westlandpolder



figuur 5-8: Schematisatie omgekeerde inpoldering Nieuw-Westlandpolder in het 1D (links) en 2D-model (rechts)

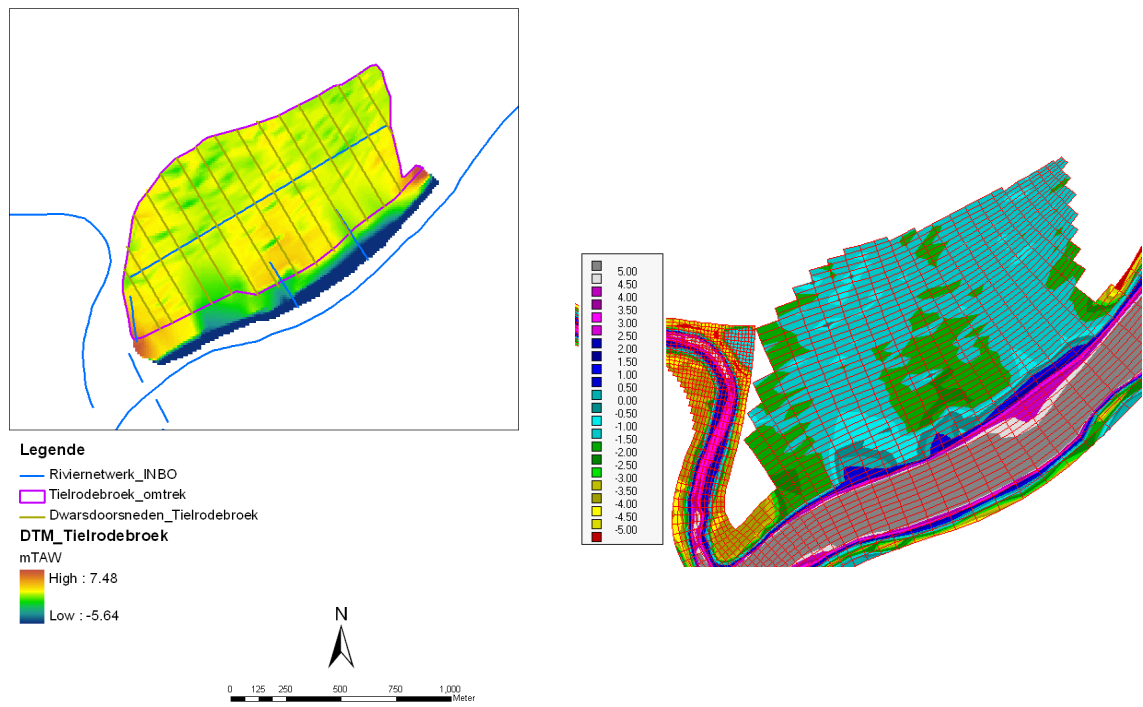
Nieuw-Westlandpolder heeft een volume van circa 14 Mm³ onder NAP +2,9 m (hoogwater bij springtij op deze locatie). Het volledig volume in de polder is intertidaal. Dit komt overeen met ongeveer 5% van het lokaal vloedvolume bij springtij. De oppervlakte van Nieuw-Westlandpolder voor het jaar 1931 bedraagt circa 1300 ha.

Met het 2D-model wordt berekend dat een volume van circa 12,5 Mm³ effectief geborgen wordt in de polder tijdens vloed bij springtij. Nieuw-Westlandpolder wordt tijdens een vloedperiode volledig overstroomd.

Tielrodebroek

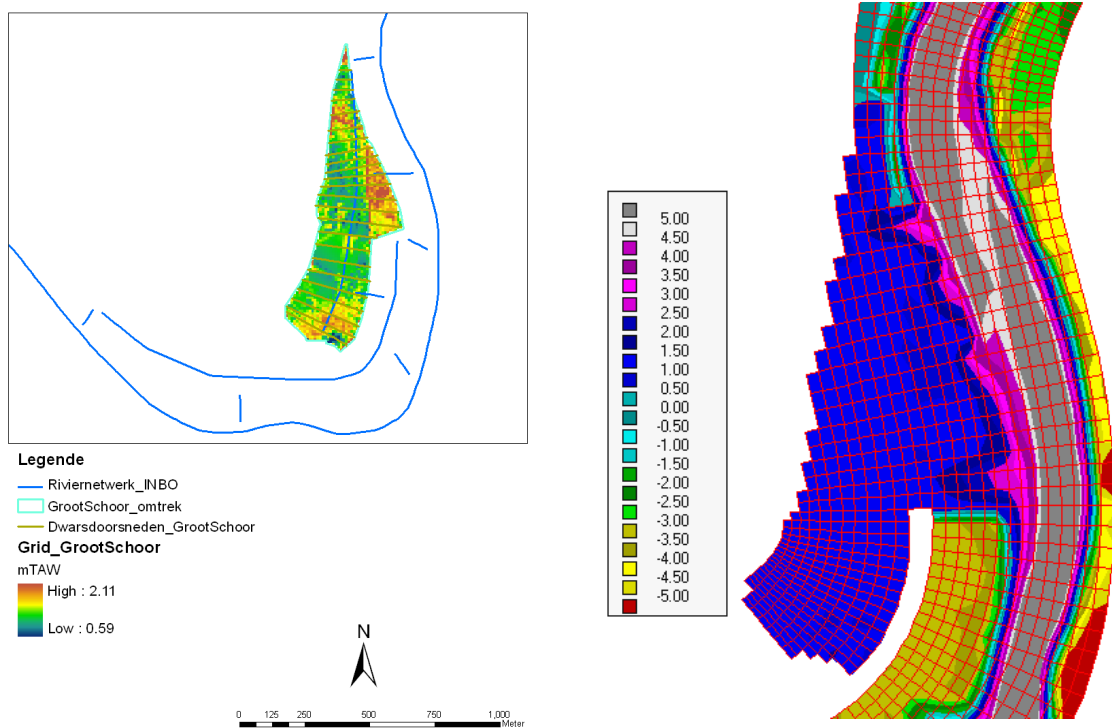
Om te komen tot vergelijkbare modelresultaten voor de scenarioberekeningen met de omgekeerde inpoldering van Tielrodebroek ten opzichte van Nieuw-Westlandpolder en Braakman, moet het intertidaal volume van deze polder ongeveer 5% bedragen van lokaal vloedvolume bij springtij. Hiervoor wordt de bathymetrie aangepast. Voor deze aanpassing bedroeg het intertidaal in Tielrodebroek circa 2,6 Mm³, of circa 10% van het lokaal vloedvolume.

Na aanpassing van de bathymetrie heeft Tielrodebroek een volume van circa 1,8 Mm³ onder NAP +3,5 m (hoogwaterpeil bij springtij). De oppervlakte van de polder bedraagt circa 85 ha. Tijdens eb stroomt niet al het water uit de polder waardoor een bepaald volume permanent geborgen wordt in de polder.. Het laagste waterpeil in Tielrodebroek tijdens eb is NAP +1,6 m. Het intertidaal volume in de polder (tussen NAP +1,6 m en het hoogwaterpeil) bedraagt 1,5 Mm³. Dit komt overeen met ongeveer 6% van het lokaal vloedvolume bij springtij.



figuur 5-9: Schematisatie omgekeerde inpoldering Tielrodebroek in het 1D (links) en 2D-model (rechts)

Groot Schoor



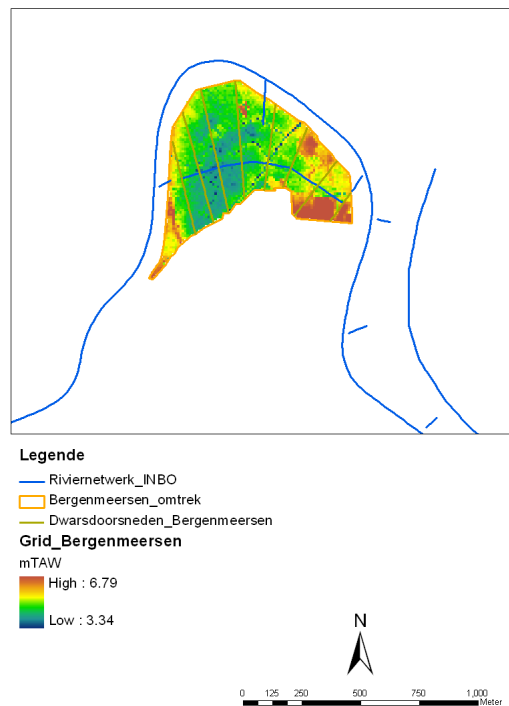
figuur 5-10: Schematisatie omgekeerde inpoldering Groot Schoor in het 1D (links) en 2D-model (rechts)

Het oorspronkelijk intertidaal volume van Groot Schoor was 0,19 Mm³. Dit is minder dan 2% van het lokaal vloedvolume bij springtij. Om vergelijkbare resultaten te hebben voor de scenarioberekening met de omgekeerde inpoldering van Groot Schoor ten opzichte van Braakman, Nieuw-Westlandpolder en Tielrodebroek, moet het intertidaal volume van Groot Schoor circa 5 à 6 % van het lokale vloedvolume bedragen. Om dit te bekomen, wordt de bathymetrie van Groot Schoor verdiept. Na deze aanpassing heeft Groot Schoor een volume van 1,2 Mm³ onder NAP +3,4 m (hoogwater bij springtij). De oppervlakte van de polder bedraagt circa 20 ha.

Net als in de polder Tielrodebroek, blijft ook in Groot Schoor een bepaald volume water permanent geborgen in Groot Schoor. Het minimum waterpeil tijdens eb bedraagt NAP -0.9 m. Het intertidaal volume van Groot Schoor (tussen NAP -0,9 m en hoogwaterpeil) bedraagt 1,1 Mm³. Dit komt overeen met circa 7% van het lokaal vloedvolume bij springtij.

Bergenmeersen

Ook voor de polder Bergenmeersen diende de bathymetrie aangepast te worden opdat het intertidaal volume circa 6% van het vloedvolume zou bedragen. De totale berekende oppervlakte van de polder is circa 35 ha. Het volume van de polder onder 5 mTAW (2.67 mNAP) bedraagt circa 0.2 Mm³.



figuur 5-11: Schematisatie omgekeerde inpoldering Bergenmeersen in het 1D-model

5.3.5.3 Hoog- en laagwaters

De omgekeerde inpolderingen van laaggelegen gebieden zorgen voornamelijk voor een invloed op de hoogwaters, en een kleinere invloed op de laagwaters. De zone waarover het effect van de omgekeerde inpoldering zich laat voelen is afhankelijk van de ligging en van het volume van de polder.

Het effect van de polder Braakman op de hoog- en laagwaters is in het 1D-model zeer beperkt. In tegenstelling tot wat verwacht wordt, treedt eerder een stijging dan een daling van het gemiddelde hoogwaters op. De waargenomen veranderingen in de gemiddelde hoog- en laagwaters zijn steeds kleiner dan 1 cm. De polder Braakman is op relatief korte afstand van de afwaartse rand met opgelegd e waterstand te Vlissingen gelegen, waardoor deze polder vermoedelijk louter een verhoging van de in- en uitstromende hoeveelheden in het estuarium in de hand werkt. In het 2D-model wordt het effect van de polder Braakman al gezien in Vlissingen. Zoals verwacht heeft de omgekeerde inpoldering voornamelijk effect op de hoogwaters, terwijl de laagwaters bijna niet beïnvloed worden. De hoogwaters dalen met 3 tot 4 cm in de Westerschelde, de Beneden-Zeeschelde en de Rupel. Het effect van de polder op de hoogwaters wordt kleiner in de Boven-Zeeschelde en de Nete. De veranderingen van het laagwater zijn niet significant.

Zowel in het 1D- als in het 2D-model zorgt de omgekeerde inpoldering van Nieuw-Westlandpolder voor een daling van het gemiddelde hoogwater doorheen bijna het ganse estuarium. Het gemiddelde laagwater kent een beperkte stijging.

Het effect van de omgekeerde inpolderingen van Tielrodebroek, Groot Schoor en Bergenmeersen op het gemiddelde hoog- en laagwater beperkt zich tot de meest nabije tijposten. Het effect op de gemiddelde hoogwaters is hierbij steeds groter dan het effect op de gemiddelde laagwaters.

Omwille van de gelijkaardige verhouding tussen het intertidaal volume en het lokaal vloedvolume hebben de polders van Tielrodebroek, Braakman en Nieuw-Westland een gelijkaardig effect op de waterpeilen. Het effect van Tielrodebroek is echter beperkt tot de Boven-Zeeschelde en de Rupel, terwijl Braakman en Nieuw-Westlandpolder een groter gebied beïnvloeden.

De omgekeerde inpolderingen van Groot Schoor en Bergenmeersen resulteren in kleinere verschillen in het waterpeil dan de omgekeerde inpoldering van Braakman, Nieuw-Westlandpolder of Tielrodebroek. Het effect op de hoogwaters blijft echter constant tot in Melle, en neemt opwaarts niet af zoals het geval is voor Tielrodebroek. Dit kan verklaard worden door de locatie van Groot Schoor en Bergenmeersen, dicht bij Melle.

Scenario's waarin het simultaan effect van de 2 of meer polders bestudeerd wordt, tonen aan dat het effect van de omgekeerde inpoldering van beide polders samen, ongeveer overeen komt met de rekenkundige som van het effect van beide polders apart.

Wat betreft de combinatie Braakman en Nieuw-Westlandpolder zorgt het gezamenlijk invoegen van deze omgekeerde inpolderingen voor een maximale stijging van de hoogwaters ter hoogte van Baalhoek, Schaar van de Noord en Liefkenshoek. De verschillen in hoogwaters nemen af naar opwaarts. De laagwaters in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde veranderen niet. De laagwaters in de Boven-Zeeschelde en haar zijrivieren stijgen met enkele centimeters.

Wanneer de vier polders gecombineerd worden in het 2D-model, treden de grootste wijzigingen in de hoogwaters op ter hoogte van Hemiksem, Temse, Waasmunster en in de Rupel en haar zijrivieren. Ter hoogte van deze tijposten resulteert de simultane omgekeerde inpoldering van deze 4 polders in een daling van het hoogwater met 10 tot 15 cm. Ter hoogte van andere tijposten is deze daling kleiner. Het effect van de omgekeerde inpolderingen op de laagwaters is weerom kleiner dan op de hoogwaters. De grootste wijzigingen treden op in de Boven-Zeeschelde.

5.3.5.4 Eb- en vloedvolumes

De omgekeerde inpolderingen zorgen voor een stijging van de getijvolumes afwaarts de polder, en een kleinere daling van deze volumes opwaarts de polder.

De Nieuw-Westlandpolder heeft een kleiner volume en oppervlakte van de polder Braakman. Nochtans hebben deze polders een gelijkaardig effect op het waterpeil in het estuarium. De reden hiervoor is dat beide polders een gelijkaardige verhouding hebben tussen het intertidaal volume van de polder en het lokaal vloedvolume bij eb. Nieuw-Westlandpolder is meer stroomopwaarts gelegen dan Braakman. De getijvolumes nemen opwaarts af, waardoor het kleiner intertidaal volume van de stroming dat in Nieuw-Westlandpolder stroomt een gelijkaardig effect heeft op het waterpeil in het estuarium als het groter volume dat in de polder Braakman stroomt.

Het effect van de omgekeerde inpolderingen van Tielrodebroek, Groot Schoor en Bergenmeersen op de eb- en vloedvolumes is slechts beperkt omwille van het kleine volume van deze polders.

5.3.6 Verruiming van de vaargeul

5.3.6.1 Inleiding

Met gebruik van het 2D-model wordt het effect van de verruiming van de vaargeul naar de haven van Antwerpen bestudeerd. Tot op heden werden 2 verruimingen van de vaargeul uitgevoerd in het Schelde-estuarium. Bij de eerste verruiming midden jaren 70 werd een groot deel van het gebaggerde sediment permanent onttrokken uit het estuarium. Zowat 100% van het gebaggerde sediment werd onttrokken uit de Zeeschelde. Uit de Westerschelde werd 15 tot 20% van het gebaggerde sediment onttrokken (Maximova et al., 2009b). Bij de tweede verruiming, uitgevoerd in juli 1997-juli 1998, werd bijna al het gebaggerde materiaal opnieuw gestort in het estuarium. Bij beide verruimingen werden de drempels in de vaargeul verdiept met circa 1.0 tot 1.5 m.

Om het effect van een verruiming te bestuderen in het numerieke model wordt gebruikt gemaakt van de wijzigingen in de bathymetrie na de tweede verruiming. Voor het referentiescenario wordt de bathymetrie van 1990 (Zeeschelde) en 1994-1995 (Westerschelde) gebruikt. De verruiming wordt in het model uitgevoerd door materiaal te verwijderen op de drempels in de vaargeul om te komen tot de dieptecriteria opgelegd na de verruiming van 1997-1998. Er worden twee scenario's doorgerekend: verruiming met volledige sedimentonttrekking en verruiming met volledig terugstorten van het gebaggerde sediment.

In tegenstelling tot de werkelijkheid is de bodem van het Schelde-estuarium in het model immobiel. Het storten wordt in het model geïmplementeerd door wijziging van de diepte in de stortgebieden. In werkelijkheid zal het gestorte materiaal zich echter verplaatsen met de stroming en eventueel opnieuw bezinken in de vaargeul. In het hydrodynamische model wordt dit effect niet meegenomen.

5.3.6.2 Hoog- en laagwaters

De verruiming van de vaargeul met sedimentonttrekking heeft geen invloed op de hoog- en laagwaters te Vlissingen en Terneuzen. Ter hoogte van de andere tijposten in de Westerschelde en de Beneden en Boven Zeeschelde stijgen de hoogwaters slechts met 1 cm, tot maximum 2 cm ter hoogte van Liefkenshoek. Omwille van de daling van de weerstand voor de getijgolf kan een stijging van de hoogwaters verwacht worden, echter dit effect is zeer beperkt. De verruiming resulteert verder in een kleine daling van de laagwaters aangezien de waterstroom het estuarium sneller kan verlaten omwille van een lagere weerstand. De daling bedraagt maximaal 2 cm in de Beneden Zeeschelde. Meer opwaarts neemt deze daling sterk af. Opwaarts Dendermonde worden de laagwaters niet meer beïnvloed door de verruiming.

Wanneer de verruiming gecombineerd wordt met storten van het baggermateriaal is het effect kleiner dan met sedimentonttrekking. De veranderingen in hoog- en laagwater zijn niet groter dan 1 cm. Wat betreft de hoogwaters wordt een kleine daling waargenomen. Deze kan

verklaard worden door de toegenomen weerstand tegen de getijgolf door de afzetting van sediment in de stroomgeul. In sommige delen van het estuarium wijzigen de hoogwaters bijna niet aangezien de veranderingen tengevolge van het storen gecompenseerd zijn door het omgekeerde effect van het baggeren. De waargenomen daling van de laagwaters op enkele locaties kan het effect zijn van het baggeren in de ebgeul. Een afgenomen weerstand in de ebgeul resulteert in lagere laagwaters.

5.3.6.3 Eb- en vloedvolumes

De verruimingsscenario's resulteren slechts in kleine veranderingen van de getijvolumes. De verruiming met sedimentonttrekking heeft het grootste effect op de getijvolumes hoewel de wijzigingen nog klein blijven in dit scenario.

De verruiming zonder storten resulteert in een stijging van het vloedvolume omdat de vloedstroom makkelijker kan doordringen in het estuarium. Dit effect wordt waargenomen vanaf de monding van het estuarium tot in Antwerpen. Bij de verruiming met storten is het effect omgekeerd en veel kleiner.

De verandering in de ebvolumes in de verruimingsscenario's is gelijkaardig aan de wijziging van de vloedvolumes. De verruiming zonder storten resulteert in een toename van de ebvolumes. De verruiming met storten heeft een omgekeerd effect, maar is zeer klein.

5.3.6.4 Snelheden op bagger- en stortlocaties

Verwacht wordt dat de snelheden op de baggerlocaties dalen omwille van de grotere diepte en dat de snelheden op stortlocaties toenemen. Echter, aangezien de stortlocaties immobiel zijn in het model, worden deze locaties niet goed gereproduceerd in het model. Het is te verwachten dat het gestorte materiaal zal getransporteerd worden omwille van de stijging van de snelheid gedurende een korte periode. In het rapport worden enkel de snelheden op baggerlocaties geanalyseerd.

De analyse van de modelresultaten toont aan de rivierverruiming geen groot effect heeft op de snelheden op de meester locaties. De verandering in snelheid is het grootst op de baggerlocaties Drempel van Hansweert, Drempel van Valkenisse, Drempel van Zandvliet en Drempel Frederik. Zoals verwacht resulteren zowel de verruiming zonder als met storten in een kleine afname van de snelheid op de meeste baggerlocaties.

De wijzigingen in snelheid en waterpeil houden verband met elkaar. De grootste wijziging van de snelheid wordt waargenomen ter hoogte van de baggerlocatie Drempel Frederik, die gelegen is in de Beneden-Zeeschelde vlakbij Liefkenshoek.

5.3.7 Wijzigingen Gat van Ossenis - Middelgat

5.3.7.1 Inleiding

In de jaren 70 traden natuurlijke morfologische wijzigingen op in de zone Gat van Ossenis - Middelgat in de Westerschelde. Deze resulteerden in het verleggen van de vaargeul van de ebgeul Middelgat naar de vloedgeul Gat van Ossenis - Overloop van Hansweert, een natuurlijke evolutie die werd versneld door de baggerwerken in dezelfde periode.

Om het effect van de wijzigingen op de hydrodynamica van het estuarium te bestuderen, worden 4 scenario's geanalyseerd. In het eerste scenario wordt de wijziging van de vaargeul van Middelgat naar Gat van Ossenis bestudeerd, zonder verruiming van de vaargeul. Dit scenario komt min of meer overeen met de natuurlijke evolutie van de riviergeul. In het tweede scenario wordt de verruiming van de riviergeul geïmplementeerd terwijl de vaargeul gelokaliseerd is in Middelgat. Dit scenario komt ongeveer overeen met de menselijke impact. In het derde scenario wordt dezelfde verruiming met storten bestudeerd, in combinatie van de

vaargeul gelokaliseerd in het Gat van Ossenisse. Dit scenario toont het effect van zowel de natuurlijke evolutie als de menselijke ingrepen. In het vierde scenario wordt de verruiming zonder storten geïmplementeerd, waarbij de vaargeul gelokaliseerd is in het Gat van Ossenisse. Dit scenario toont zowel de natuurlijk als menselijke wijzigingen, en komt overeen met de realiteit. De bathymetrie voor de scenario's wordt aangemaakt op basis van de bathymetrie van de jaren 1970-1971, welke gebruikt wordt voor het referentiescenario.

5.3.7.2 Hoog- en laagwaters

De simulatieresultaten tonen aan dat veranderingen in de vaargeul ter hoogte van Gat van Ossenisse – Middelgat bijna geen effect hebben op de waterpeilen in het estuarium. De verschillen zijn kleiner van 1 cm. Deze waarden kunnen niet als significant beschouwd worden, en liggen eveneens niet in de nauwkeurigheidsgrenzen van het model.

De verruiming van de vaargeul ter hoogte van Gat van Ossenisse en Middelgat met storten van sediment resulteert dus in een kleine daling van de hoogwaters. De verruiming van de vaargeul zonder storten van sediment zorgt voor een kleine toename van de hoogwaters.

5.3.7.3 Eb- en vloedvolumes

In het eerste scenario, met de natuurlijke wijzigingen, nemen de getijvolumes slechts weinig af in vergelijking met het referentiescenario. In het tweede en derde scenario (verruiming met storten) nemen de vloedvolumes toe, terwijl de ebvolumes afnemen. Het vierde scenario (verruiming zonder storten) zorgt voor een stijging van het vloed- en ebvolume.

De veranderingen in getijvolume in de vier scenario's zijn gelijkaardig aan deze in de scenario's van verruiming van de vaargeul in 1997-1998 (zie paragraaf 5.3.6.3). Verruiming met storten en zonder storten heeft een omgekeerd effect op de getijvolumes. De wijzigingen van de getijvolumes zijn echter steeds kleiner dan 0,5% ten opzichte van het referentiescenario.

5.3.7.4 Snelheden op baggerlocaties

Op de meeste locaties resulteert het baggeren in een afname van de stroomsnelheden. Op enkele baggerlocaties echter neemt enkel de vloedsnelheid af, terwijl de ebsnelheid weinig toeneemt. Dit kan verklaard worden doordat deze baggerlocatie kort bij stortlocaties gelegen zijn.

5.3.8 Zandwinning

5.3.8.1 Inleiding

Sinds meer dan 50 jaar wordt zand ontgonnen in de Westerschelde voor verschillende doeleinden. De laatste jaren wordt ongeveer 3,0 Mm³ onttrokken uit het estuarium: circa 2,0 Mm³ in de Westerschelde en 1,0 Mm³ in de Zeeschelde. Voor de meeste jaren zijn de ontgonnen hoeveelheden zand echter kleiner.

Er wordt getracht niet meer zand te ontginnen dan het volume dat natuurlijk wordt aangevoerd in het estuarium. De locaties voor zandwinning worden vaak zo gekozen dat ze het onderhoud van de vaargeul, en de nodige wijzigingen in de riviergeul en op de intertidale gebieden ondersteunen. Het effect van zandwinning is hierdoor op korte termijn vergelijkbaar met het effect van baggeren. Op lange termijn echter heeft de zandontginning een significante impact op de zandbalans van het estuarium.

Het is zeer moeilijk om het effect van zandontginning te bestuderen in een hydrodynamisch model. Het jaarlijks effect van zandwinning is vermoedelijk niet groot; het is echter het effect op lange termijn dat invloed kan hebben op de getijdoordringing in het estuarium. Het netto-effect van de zandwinning is daarbij nog sterk gerelateerd aan de geïmporteerde (of geëxporteerde) hoeveelheden sediment in het estuarium. Om het effect van zandwinning op

middellange termijn te bestuderen met een hydrodynamisch model, is het effect van de zandwinning omgezet in een plaatselijke aanpassing van de bathymetrie. Op korte termijn kan verwacht worden dat het effect van zandwinning plaatselijk blijft. Op lange termijn echter zal zandwinning morfologische veranderingen induceren die niet gelimiteerd zijn tot plaatselijke aanpassingen van de bathymetrie.

In deze studie wordt het effect van zandwinning over een periode van 10 jaar geanalyseerd. De bathymetrie voor dit scenario is opgemaakt door een aanpassing van de bathymetrie van het referentiescenario (de meeste recente bathymetrie van het Schelde-estuarium). De zandwinning wordt geïmplementeerd in het model door wijziging van de diepte op de ontginningslocaties, gebaseerd op de ontgonnen volumes in 2005 en de oppervlakte van de ontginningsgebieden.

5.3.8.2 Hoog- en laagwaters

De modelresultaten tonen aan dat zandwinning over een periode van 10 jaar een zeer klein effect heeft op de waterpeilen. De hoogwaters nemen toe, de laagwaters nemen af. De verschillen zijn echter kleiner dan 1 cm. Dit effect is gelijkaardig aan het effect van de verruiming zonder storten, maar de wijzigingen zijn echter kleiner in het scenario van zandontginning.

5.4 Conclusies

Aan de hand van de besluiten en hypothesen vermeld in het INBO-rapport 'historische analyse Zeeschelde' werden verschillende modelscenario's uitgewerkt en doorgerekend met het 1D- en 2D-modelinstrumentarium. Om een zo breed mogelijke waaier van ingrepen te kunnen modelleren wordt een aanpak voorgesteld die dichter bij een gevoeligheidsanalyse aanleunt dan bij een echte hindcast. Er wordt dus niet gestreefd naar een accurate reproductie van eventueel historisch opgetreden waterstanden.

Een eerste voorzichtige conclusie is dat de doorgerekende ingrepen geen grote invloeden ressorteren op de hoog- en laagwaters in de Zeeschelde. Ook wijzigingen in getijsymmetrie zijn niet van enorme aard. Doordat sommige ingrepen een tegengesteld effect veroorzaken op de hoog- en laagwaters worden grotere effecten waargenomen in termen van getijverschil en dus op de optredende eb- en vloednelheden gezien grotere of kleinere verschillen in waterhoogtes moeten overbrugd worden gedurende een gelijkaardige tijdspanne. Bepaalde ingrepen kunnen elkaar gedeeltelijk opheffen wat betreft hun effect op de hoogwaters, maar versterken elkaar dan weer wat betreft hun effect op de laagwaters, wat resulteert in een sterkere afname van het tijverschil dan wanneer beide ingrepen afzonderlijk worden beschouwd (Tabel 17).

Analyse van de resultaten toont aan de zeespiegelrijzing een grote invloed heeft op de waterpeilen in het estuarium. Zeespiegelrijzing resulteert in een stijging van zowel de hoog- als laagwaters. Aangezien de hoogwaters meer stijgen dan de laagwaters, stijgt ook de getijverschil. Het effect van de zeespiegelrijzing is echter niet uniform over het gehele estuarium. Een toename in Vlissingen zet zich haast onverminderd door tot in de Beneden Zeeschelde. Meer opwaarts neemt de toename van de hoogwaters af, met een minimale stijging ter hoogte van Sint-Amands/Dendermonde. Te Melle wordt in beide modellen een stijging van de hoogwaters berekend die groter is dan de opgelegde stijging van het zeeniveau. De laagwaters in de Westerschelde kennen een geringere toename dan deze (opgelegd) te Vlissingen, met de kleinste stijging te Melle. Hierdoor nemen de tijverschillen het meest opwaarts het sterkst. De stijging van de gemiddelde hoogwaters die volgt uit de simulaties is echter kleiner dan verwacht. Dit is mogelijks te wijten aan het gebruik van een recente bathymetrie waardoor de komberging vermoedelijk overschat wordt.

De effecten van gewijzigd bovendebiet en omgekeerde rechttrekking werden afzonderlijk en gecombineerd doorgerekend. Uit de simulaties blijkt dat een omgekeerde rechttrekking zorgt voor een toename van het kombergend vermogen stroomafwaarts van de rechttrekking. Een omgekeerde rechttrekking resulteert in een duidelijke daling van de hoogwaters en een toename van de laagwaters zowel op- als afwaarts van de ingre(e)p(en) en zorgt dus voor een afname van het tijverskil. Een verhoging van het bovendebiet heeft een dubbel zo groot effect op de toename van de laagwaters dan op de stijging van de hoogwaters.

De combinatie van de omgekeerde rechttrekkingen op de Schelde en een gewijzigd bovendebiet te Melle, zorgt ervoor dat de daling van het gemiddelde hoogwater op de Schelde beperkter is dan bij omgekeerde rechttrekkingen alleen (effect omgekeerde rechttrekking tweemaal zo sterk als gewijzigde bovendebiet). De stijging van de laagwaters is dan weer groter (effect beide ingrepen van dezelfde orde).

Wanneer de ruwheid van de Schelde ter hoogte van de omgekeerde rechttrekkingen verhoogd wordt, worden zowel de daling van het gemiddelde hoogwater, als de stijging van de gemiddelde laagwaters stroomopwaarts van de omgekeerde rechttrekkingen versterkt. Tussenin de omgekeerde rechttrekkingen wordt de daling van de gemiddelde hoogwaters beperkt, terwijl de stijging van de gemiddelde laagwaters versterkt wordt, echter in beperktere mate dan volledig stroomopwaarts van de rechttrekkingen. Afwaarts van de omgekeerde rechttrekkingen heeft het verhogen van de ruwheid nog een beperkt op het gemiddelde hoog- en laagwater.

Uit de resultaten van de modellering blijkt dat het effect van de afsluiting van de Vliet op het gemiddelde laagwater verwaarloosbaar is.

De omgekeerde inpolderingen van laaggelegen gebieden zorgen voornamelijk voor een invloed op de hoogwaters, en een kleinere invloed op de laagwaters. Wat betreft de bestudeerde omgekeerde inpolderingen (Braakman, Nieuw-Westland, Groot Schoor, Tielrodebroek en Bergenmeersen), heeft enkel de omgekeerde inpoldering van Nieuw-Westlandpolder een beduidende invloed op de hoog- en laagwaters, die zich over bijna het ganse modelgebied uitstrekt. Om het effect van de verschillende polders te kunnen vergelijken werd de bathymetrie van de polders van Tielrodebroek, Groot Schoor en Bergenmeersen aangepast, zodat het volume in deze polders gelijk is aan 5% van het lokaal vloedvolume bij springtij. Deze polders hebben slechts lokaal een invloed op het gemiddelde hoogwater in de Schelde. Polder Braakman is in het 1D-model te dicht bij de afwaartse modelrand gelegen om correcte resultaten te kunnen geven.

De algemene verruiming van de vaargeul in 1997-1998 en de wijzigingen ter hoogte van het Gat van Ossensisse – Middelgat hebben slechts een klein effect op de waterpeilen in het estuarium. De verruiming zonder storten van het gebaggerd materiaal resulteert in een stijging van de hoogwaters en een daling van de laagwaters. De verschillen zijn echter kleiner dan 2 cm. Het effect van verruiming met storten is echter nog kleiner. De verschillen in waterpeilen zijn hier kleiner dan 1 cm. Op enkele locaties wordt zelfs geen effect waargenomen. In de Beneden Zeeschelde worden de grootste wijzigingen waargenomen, met een daling van zowel de hoog- als laagwaters tengevolge van verruiming met storten.

De natuurlijke veranderingen aan het Gat van Ossensisse – Middelgat hebben een zeer klein effect op de waterpeilen in de Schelde. De verschillen bedragen niet meer dan enkele millimeters.

De analyse van het effect van zandwinning over een periode van 10 jaar toont aan dat zandwinning tijdens deze periode slechts een klein effect heeft op de waterpeilen in het estuarium.

Tot slot wordt vermeld dat met de hydrodynamische modellen enkel het directe effect van een bepaalde ingreep werd bestudeerd. Naar verwachting zal elke ingreep eveneens kleinere of

grotere morfologische wijzigingen teweegbrengen, die op hun beurt de hydrodynamica zullen beïnvloeden. Echter dit effect werd met de uitgevoerde simulaties niet begroot.

Tabel 17: Schematisch overzicht van het effect van de berekende scenario's op de gemiddelde hoog en laagwaters en het tijverschil

Scenario	1D			2D		
	GHW	GLW	Tijverschil	GHW	GLW	Tijverschil
Zeespiegelrijzing						
- 25 cm				↘↘↘	↘↘↘	↘
+ 25 cm				↗↗↗	↗↗↗	↗
+ 60 cm	↗↗↗↗↗↗	↗↗↗↗	↗↗	↗↗↗↗↗↗	↗↗↗↗	↗↗
5% + 50 cm				↗↗↗↗↗	↗↗↗↗	↗↗↗
Omgekeerde rechttrekking Zeeschelde en Durme	↘↘	↗↗	↘↘			
Wijziging bovendebiet						
Q _{mellea}	↗↗	↗↗↗↗	↘			
Q _{melleb}	↗	↗↗	↘			
Q _{mellec}	↘	↘↘	↗			
Omgekeerde rechttrekking op Zeeschelde + wijziging bovendebiet (Q _{mellea})	↗	↗↗↗↗	↘↘↘			
Omgekeerde rechttrekking op Zeeschelde + verhoogde ruwheid						
Opwaarts ingreep	↘↘↘	↗↗↗↗	↘↘↘			
Ter hoogte van ingreep	↘	↗↗↗	↘↘			
Afwaarts ingreep	↗	↘	↗			
Omgekeerde inpoldering						

Vliet	-	-	-			
Braakman	-	-	-	↘	↗	↘
Nieuw-Westlandpolder	↘	↗	↘	↘	↗	↘
Tielrodebroek	↘	↗	↘	↘	↗	↘
Groot Schoor	↘	↗	↘	↘	↗	↘
Bergenmeersen	↘	↗	↘			
Braakman + Nieuw-Westlandpolder				↘↘	↗↗	↘↘
4 polders				↘↘	↗↗	↘↘
Verruiming van de vaargeul						
Met sedimentonttrekking				↗	↘	↗
Met terugstorten van sediment				↘	↘	-
Wijzigingen ter hoogte van Gat van Ossensisse - Middelgat				↘	↗	↘
Zandwinning				↗	↘	↗

Literatuurlijst

- Adriaensen F., Van Damme S., Van den Bergh E., Brys R., Cox T., Jacobs S., Konings P., Maes J., Maris T., Mertens W., Nachtergale L., Struyf E., Van Braeckel A., Van Hove D. & Meire P. (2005). Instandhoudingsdoelstellingen Schelde-estuarium. Rapportnummer: ECOBE 05-R82.
- Allen, J.R.L. 2000. Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quaternary Science Reviews* 19, 1155-1231.
- Boumans RMJ, Burdick DM, Dionne M (2002) Modeling habitat change in salt marshes after tidal restoration. *Restoration Ecology* 10[3]: 543-555.
- Breine, J. (2009). Fish assemblages as ecological indicator in estuaries: the Zeeschelde (Belgium) = Visgemeenschappen als ecologische indicator voor estuaria: de Zeeschelde (België). Doctoraten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek = PhD theses of the Research Institute for Nature and Forest, 1. PhD Thesis. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek: Brussel. ISBN 978-90-403-0299-2. 265 pp.
- Brys, R., Ysebaert, T., Escaravage, V., Van Damme, S., Van Braeckel, A., Vandevoorde, B. & Van den Bergh, E. 2005. Afstemmen van referentiecondities en evaluatiesystemen in functie van de KRW: afleiden en beschrijven van typespecifieke referentieomstandigheden en/of MEP in elk Vlaams overgangswatertype vanuit de overeenkomstig de KRW ontwikkelde beoordelingssystemen. Verslag van het Instituut voor Natuurbehoud, IN.O.2005.7. Brussel.
- Caspers H. (1959) Vorschung einer brackwassernomenklatur ("The Venice System"). *Int. Revue ges Hydrobiol.* 44, 313-315.
- Coen L., Peeters P. & Mostaert F. 2008. Inventarisatie en historische analyse Zeeschelde habitats: Effect antropogene ingrepen en natuurlijke evoluties op de getij-indringing in de Zeeschelde – Ondersteunende numerieke 1D-modellering. WL Rapporten. 713_21. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- Coen L., Peeters P., Ides S. & Mostaert F. 2009. Inventarisatie en historische analyse Zeeschelde habitats: Effect antropogene ingrepen en natuurlijke evoluties op de getij-indringing in de Zeeschelde – Ondersteunende numerieke 1D-modellering. WL Rapporten. 713_21. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- Dyer K.R., Christie M.C. & Wright E.W. 2000. The classification of intertidal mudflats. *Continental Shelf Research* 20, 10, pp. 1039-1060.
- Demas, G. P. & Rabenhorst, M.C. 1999. Subaqueous Soils: Pedogenesis in a Submersed Environment. *Soil Science Society America Journal* 63: 1250-1257.
- French JR, Clifford NJ (2000) Hydrodynamic modelling as a basis for explaining estuarine environmental dynamics: some computational and methodological issues. *Hydrological Processes*. 14: 2089-2108.
- Hoffmann., M. & Meire, P. 1997. De oevers langs de Zeeschelde: inventarisatie van de huidige oeverstructuren. *Water* 95, 131-137.

- Holland, A.M.B. en H. Smit. (1994). Zoet water in het Schelde-estuarium: veranderingen in de saliniteit. Rapport DGW-93.057.
- Hood WG (2002) Landscape Allometry: From Tidal Channel Hydraulic Geometry to Benthic Ecology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59[8]: 1418-1427.
- Hood WG (2004) Indirect Environmental Effects of Dikes on Estuarine Tidal Channels: Thinking Outside of the Dike for Habitat Restoration and Monitoring. *Estuaries* 27[2]: 273-282.
- Huijs, S.W.E. 1995. Geomorfologische ontwikkeling van de intergetijdgebied in de Westerschelde 1935-1989 [Geomorfologische ontwikkeling van het intergetijdgebied in de Westerschelde 1935-1989]. Universiteit Utrecht, IMAU: Utrecht, The Netherlands.
- Ides, S., Vanlede, J., De Mulder, T. & Mostaert, F. 2008. Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde – Deelrapport 2 - Gevoeligheidsonderzoek 2D modellen. WL Rapporten, 713_21. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- IUSS Working Group WRB 2006. World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Leemans, J. & Verspaandonck, B. 1980. Saeftinghe, Vegetatiekaart 1:10.000 1972, Stichting Zeeuws landschap, 24pp. 1krt.
- Lebbe, L. & Van Meir, N. 2000. Implications of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR) for Belgium. Proceedings of SURVAS Expert Workshop on European Vulnerability and Adaptation to impacts of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR). Hamburg, Germany, 19th-21st June 2000
- Maximova, T., Ides, S., Vanlede, J., De Mulder, T. & Mostaert, F. 2009a. Verbetering randvoorwaardenmodel. Deelrapport 3: Calibratie bovenlopen. WL Rapporten, 753_09. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Maximova, T., Ides, S., Plancke, Y., De Mulder, T. & Mostaert, F. 2009b. Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde – Deelrapport 3: Scenario analyse 2D modellen. WL Rapporten, Mod 713_21. Flanders Hydraulics Research. Antwerp, Belgium.
- Mikkelsen, J.H., Cools, N., Van Braeckel, A., & Van den Bergh, E. 2009b. Guidelines for Site & Soil Description of Estuarine Tidal Mud Flats and Marshes. Interne Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2009 (INBO.IR.2009.32). Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel.
- Mikkelsen, J.H., Dille, J., Van Braeckel, A., & Van den Bergh, E. 2009c. Guidelines for Auger Description of Estuarine Tidal Mud Flats and Marshes. Interne Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2009 (INBO.IR.2009.33). Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel.
- Mikkelsen, J.H., Van Braeckel, A., Dillen, J. & Van den Bergh, E. 2009a. Inventarisatie en historische analyse van Zeescheldehabitats. Deelrapport Bodem. Interne Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2009 (INBO.IR.2009.30). Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel.

- Moens, T., P.M.J. Herman & T. Ysebaert. 2001. Eten en gegeten worden in het Schelde-estuarium. *De Levende Natuur* 102: 52-55.
- Peeters P.; Plancke Y. & Mostaert F. 2009. Langjarig overzicht van het getij in het Zeescheldebekken: Vlissingen-Liefkenshoek-Dendermonde-Uitbergen-Melle-Tielrode-Waasmunsterbrug-Wallem. Versie 1_2. WL Rapporten, 833_02. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Piesschaert, F., Dillen J., Van Braeckel, A. & Van den Bergh, E. 2008. Inventarisatie en historische analyse Zeescheldehabitats (vervolgstudie): resultaten van het eerste jaar. Interne Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2008 (INBO.IR.2008.29). Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel.
- Sanderson EW, Ustin SL, Foin TC (2000) The influence of tidal channels on the distribution of salt marsh plant species in Petaluma Marsh, CA, USA. *Plant Ecology* 146[1]: 29-41.
- Snacken, F. 1963. Verklarende tekst bij de [bodem]kaartbladen Noordhoek 5E, Kieldrecht 14SW, Lillo 14E. IWONL.
- Soetaert, K.; Herman, P.M.J. (1995). Estimating estuarine residence times in the Westerschelde (The Netherlands) using a box model with fixed dispersion coefficients, in: Heip, C.H.R.; Herman, P.M.J. et al. (1995). Major biological processes in European tidal estuaries. *Developments in Hydrobiology*, 110: pp. 215-224
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy* (2nd ed.). Washington, D.C., U.S. Government Printing Office.
- Speybroeck, J., Breine, J., Vandevoorde, B., Van Wichelen, J., Van Braeckel, A., Van Burm, E., Van den Bergh, E., Van Thuyne, G. & Vyverman, W. 2008. KRW doelstellingen in Vlaamse getijrivieren: afleiden en beschrijven van typespecifiek maximaal ecologisch potentieel en goed ecologisch potentieel in een aantal Vlaamse getijrivier-waterlichamen vanuit de – overeenkomstig de Kaderrichtlijn Water - ontwikkelde relevante beoordelingssystemen voor een aantal biologische kwaliteitselementen. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO.R.2008.56, Brussel.
- Stevens, M., Van den Neucker, T., Mouton, A., Buysse, D., Martens, S., Baeyens, R., Jacobs, Y., Gelaude, E. & Coeck, J. 2009. Onderzoek naar de trekvissoorten in het stroomgebied van de Schelde. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, 2009 INBO.R.2009.9. Brussel.
- Taverniers, E. & Theuns, J. 1975. Evolutie van het getij in de Westerschelde – Periode 1941 – 1974. Antwerpse Zeediensten.
- Taverniers, E. 1998. Zeescheldebekken: de afvoer van de Schelde in 1997. Antwerpen: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, afdeling Maritieme Schelde.
- Teijssen, K. 2006. ongepubliceerde data. Eindverhandeling ingediend tot het bekomen van de graad van Licentiaat in de Biologie, zwaartepunt Milieu. Universiteit Antwerpen
- Vanallemeersch, R., Hoffmann, M. & Meire, P. 2000. Ontwerpbeheersplan voor het Vlaams Natuurreservaat slikken en schorren van Schelde en Durme. Rapport van het Instituut voor Natuurbehoud, Brussel, 362 pp. + bijlagen.

- Van Braeckel, A., Piesschaert, F. & Van den Bergh, E. 2006. Historische analyse van de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren. 19e eeuw tot heden. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. INBO.R.2006.29. Brussel.
- Van Braeckel, A.; Vandevorde, B.; Van den Bergh, E. (2008). Schorecotopen van de Schelde : Aanzet tot de ontwikkeling van één schorecotopenstelsel voor Vlaanderen en Nederland. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek[S.l.]. 62 pp.
- Van Damme, S.; Ysebaert, T.J.; Meire, P.; Van den Bergh, E. (1999). Habitatstructuren, waterkwaliteit en leefgemeenschappen in het Schelde-estuarium. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, 99.24. Instituut voor Natuurbehoud: Brussel, Belgium. ISBN 90-403-0113-1. 119 pp.
- Van de Moortel, R. & Deckers, J. 1997. Bodemkundige karakterisatie van gecontroleerde overstromingsgebieden en schorren. Interne Rapport nr 49. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- Van den Berg, J.H.; Jeuken, C.J.L.; Van der Spek, A.J.F. (1996). Hydraulic processes affecting the morphology and evolution of the Westerschelde estuary, in: Nordstrom, K.F.; Roman, C.T. (Ed.) (1996). Estuarine shores: evolution, environment and human alterations. pp. 157-184 Van den Bergh et al. 1999
- Van den Bergh, E.; Meire, P.; Hoffmann, M.; Ysebaert, T.J. (1999). Natuurherstelplan Zeeschelde: drie mogelijke inrichtingsvarianten. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, 99.18. Instituut voor Natuurbehoud: Brussel, Belgium. ISBN 90-403-0108-5. IV, 166 pp.
- Van den Hurk, B., Klein Tank, A., Lenderink, G., van Oldenborgh, G., Katsman, C., van den Brink, H., Keller, F., Bessembinder, J., Burgers, G., Komen, G., Hazeleger, W., Drijfhout, S. & van Ulden, A. 2006. Klimaat in de 21e eeuw vier scenario's voor Nederland, Brochure KNMI'06 scenario's
- Van den Neucker, T., Verbessem, I., Vandevorde, B., Van Braeckel, A., Stevens, M., Spanoghe, G., Gyselings, R., Soors, J., De Regge, N., De Belder, W., Van den Bergh, E. 2007. Evaluatie van natuurontwikkelingsprojecten in het Schelde-estuarium. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, 2007 INBO.R.2007.54. Brussel.
- van Oevelen, D.; Van den Bergh, E.; Ysebaert, T.; Meire, P. (2000). Literatuuronderzoek naar ontpolderingen. Rapporten van het instituut voor natuurbehoud, 2000(7). Instituut voor Natuurbehoud: Brussel : Belgium. 116 pp.
- Van Ranst, E. & Sys, C. 2000. Eenduidige legende voor de digitale bodemkaart van Vlaanderen (schaal 1:20000). Gent, Universiteit Gent, Laboratorium voor Bodemkunde.
- Vandevorde, B.; Van Braeckel, A.; Mertens, W.; Piesschaert, F.; Van den Bergh, E. (in prep). Vegetatiekartering van de schorren van Zeeschelde, Durme en Rupel.
- Vanlede, J., Decrop, B., De Clercq, B., Ides, S., De Mulder, T., Mostaert, F. 2008. Permanente verbetering modelinstrumentarium: verbetering randvoorwaardenmodel. Deel 2: afregelen van het Scheldemodel. WL Rapporten, 753_09. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Williams PB, Orr MK, Garrity NJ (2002) Hydraulic geometry: A geomorphic design tool for tidal marsh channel evolution in wetland restoration projects. *Restoration Ecology* 10[3]: 577-590.

Ysebaert, T.J. 2000. Macrozoobenthos and waterbirds in the estuarine environment: spatio-temporal patterns at different scales [Macrozoöbenthos en watervogels in het Schelde-estuarium, ruimtelijke en temporele patronen]. *Communications IN*, 16. PhD Thesis. Instituut voor Natuurbehoud: Brussel, Belgium.

Lijst van figuren

figuur 1-1: Schematische weergave van de relaties tussen natuurlijke evoluties, antropogene ingrepen en het effect op de slikken, schorren en subtidale gebieden (Van Braeckel et al., 2006).	3
figuur 2-1: Situering van de opgenomen slik- schor hoogteprofielen in de Zeeschelde voor de periode 2008/2009 en van de geanalyseerde slikgebieden.....	6
figuur 2-2: Voorbeeld van het intermediar type zandig slib of slibrijk zand in de brakke zone. ...	8
figuur 2-3: Systematisch patroon bij vergelijking geïnterpoleerd dtm 2007 (LIDAR) met dtm 2001 (single beam)	8
figuur 2-4: Slikprofiel van het zuidelijk deel van de Plaat van het Groot Buitenschoor.	9
figuur 2-5: a) Fysiotopen van de Ballastplaat (rode ovale cirkel) en het slik van het Groot Buitenschoor met aanduiding van de ligging van de hoogteprofielen. b) mesoribbels (voorground) en megaribbels (achtergrond).	9
figuur 2-6: De Ballastplaat en Bank van Doel in 1875	10
figuur 2-7: De Ballastplaat in 1910 (a) en 1933 (b).....	10
figuur 2-8: Evolutie van het eb- en vloedgeul patroon ter hoogte van de Ballastplaat over een periode van meer dan 130 jaar (Van den Berg et al, 1996).....	11
figuur 2-9: Evolutie van de Ballastplaat en plaat van het Groot Buitenschoor: toestand in 1958. met situering hoogteprofielen. Recht= met rechte kreken; vlak= zonder kreken; meander= met meanderende kreken.	12
figuur 2-10: Evolutie van de Ballastplaat en plaat van het Groot Buitenschoor in 1973 met situering van de hoogteprofielen.. Recht= met rechte kreken; vlak= zonder kreken; meander= met meanderende kreken.	13
figuur 2-11: Evolutie van de Ballastplaat en plaat van het Groot Buitenschoor in april 2004 met situering van de hoogteprofielen. Recht= met rechte kreken; vlak= zonder kreken	14
figuur 2-12: Evolutie van het dwarsprofiel op het Groot Buitenschoor tussen 1930 en 2002 op 750m van de Belgisch-Nederlandse grens.Ligging van het transect is weergegeven in Figuur 2-13a.....	15
figuur 2-13: Evolutie van de bathymetrie tussen 1930 en 2002-03. Diepte in 1930; centraal diepte in 2002-03 (-mTAW); rechts sedimentatie of erosie tussen 1930 en 2002-03 (m)	15
figuur 2-14: Hoogteveranderingen aan het Groot Buitenschoor tussen april 2004 en augustus 2007 op basis van laseraltimetrie.....	16
figuur 2-15: Fysiotopen voor het slik en schor van Ouden Doel. Kaart gebaseerd op gegevens uit 2001.	17
figuur 2-16: Slikprofiel van het zuidelijk brede deel van het slik en schor van Ouden Doel. De locatie van de profiel is aangeduid met een rode lijn op figuur 2-15.....	17
figuur 2-17: Evolutie van de plaat van Doel en het slik van Ouden Doel 1958 – 1969	18
figuur 2-18: Evolutie van de plaat van Doel en het slik van schor Ouden Doel 1982 – 2004.....	18
figuur 2-19: Evolutie van de subtidale en intertidale hoogteprofiel tussen 1930 en 2002 op 4.5km van de Belgisch – Nederlandse grens,	19
figuur 2-20: Hoogteveranderingen aan het slik van Ouden Doel tussen april 2004 en augustus 2007. Kaart op basis van laseraltimetriedata.	20

figuur 2-21: Profielverloop van de plaat van de Ballooi (boven). Zicht op de overgang tussen de slib en de zand gedeelte van de slik (onderaan links) en detail van de mesoribbels op de zandplaat (onderaan rechts). De ligging van het profiel is weergegeven in figuur 2-22.	21
figuur 2-22: Fysiotopen van het slik van de Ballooi (Kaart gemaakt op basis van gegevens uit 2001). De vette zwart/rode lijn geeft de ligging van het hoogteprofiel uit figuur 2-21 aan de zwarte lijnen geven de ligging van de profielen in figuur 2-25 en 2-26 weer..	22
figuur 2-23: De plaat van de Ballooi in 1875 nabij de bank van het Buitenland (Stessels, bron AMT).....	22
figuur 2-24: Evolutie van de Plaat van de Ballooi van 1944 tot 2007: A=1944; B=1954; C=1969; D=1990; E= 2003; F=2007	24
figuur 2-25: Evolutie van de subtidale en intertidale hoogteprofiel te Ballooi tussen 1930 en 2001. Het profiel is gelegen op 44,25 km langs de Schelde van de Nederlandse grens.	25
figuur 2-26: Evolutie van de subtidale en intertidale hoogteprofiel op Ballooi tussen 1930 en 2001. Het hoogteprofiel is gemeten op 44,75 km langs de Schelde van de Nederlandse grens. Dit profiel loopt van dijk tot dijk.....	25
figuur 2-27: Hoogteveranderingen (m) van de slikplaat van de Ballooi tussen 2001 en 2007. Bovenste figuur: veranderingen tussen 2004 en 2001; middenste figuur tussen 2007-2004, en onderste figuur tussen 2007 en 2001. Kleine inzetfiguren dezelfde figuur zonder hoogtelabels.....	27
figuur 2-28: Slikprofiel van de plaat van Temse met aanduiding van de slikfysiotoopgrenzen ..	27
figuur 2-29: Fysiotopen van de plaat van Temse in 2001. De ligging van het hoogteprofiel uitgetekend in figuur 2-28 is aangeduid met een zwart-rode lijn.	28
figuur 2-30: De plaat van Temse in 1875 (bovenaan) en 1912 (onderaan) nabij de zandplaat 'banc Onbekende'	28
figuur 2-31: De belangrijkste vloed- en ebstromingspatronen ter hoogte van de plaat van Temse in 1912	29
figuur 2-32: Evolutie van de Plaat van Temse voor de periode 1954 tot 2003.....	31
figuur 2-33: Evolutie van de subtidale en intertidale hoogteprofiel in 1930-1960 en 2001 net stroomaf-(a) en stroomopwaarts (b) van het sas van Weert	32
figuur 2-34: Hoogteveranderingen van de slikplaat van Temse tussen 2004 en 2007.	33
figuur 2-35: Hoogteprofiel van de Plaat te Driegoten (2009), de ligging van het profiel is weergegeven in figuur figuur 2-36.....	33
figuur 2-36: Fysiotopen van subtidale en intertidale gebied in de omgeving van de Plaat te Driegoten (binnenbocht linkeroever). De zwart-rode lijn duidt de ligging van het hoogteprofiel uit figuur 2-35 aan.	34
figuur 2-37: De Plaat in Driegoten volgens kaartgegevens uit 1876 (a) en 1896 (b, bron MT) .	35
figuur 2-38: Evolutie van de Plaat van Driegoten tussen 1954 en 2004.....	36
figuur 2-39: Evolutie van de subtidale en intertidale hoogteprofiel op Plaat van Driegoten tussen 1930 en 2001	36
figuur 2-40: Hoogteveranderingen van de Plaat van Driegoten tussen 2004 en 2007.....	37
figuur 3-1: Spreiding van de schorfocusgebieden over de saliniteitzones in de Zeeschelde: mesohalien (hemelblauw), oligohalien (licht blauw), zoet met lange verblijftijd	

(licht groen) en zoet met korte verblijftijd (groen). Verder zijn de twee zijrivieren Durme en Rupel respectievelijk geel en oranje gekleurd.	38
figuur 3-2: a) Saliniteitsvariatie op Schor van Ouden Doel (SAL6-NI, SAL7-9) en bij Ketenisse (SAL10) en b) meetlocaties	41
figuur 3-3: Links saliniteitsvariatie in Galgenschoor (RO, SAL20-22) en Blokkersdijk (LO, SAL19) en rechts hun situering.	41
figuur 3-4: Saliniteitsvariatie Op Schor van de Notelaer (SAL43-47).....	42
figuur 3-5: Saliniteitsvariatie in het Groot Schoor van Hamme (SAL33-37) en b) meetlocaties	43
figuur 3-6: Saliniteitsvariatie op Schor van Appels (SAL30) en Nieuw Schor van Appels (SAL31-32).....	44
figuur 3-7 Saliniteit in maart, juni en oktober van 2007 in de verschillende OMES-segmenten .	45
figuur 3-8: 2D-gemodelleerd Springtij en doottij vloedvolume in de Zeeschelde (Maximova et al., 2009b)	45
figuur 3-9: Maandgemiddelden voor de bovenafvoer van de Schelde te Schelle, Melle en de Rupel : 1995-2008 (bron HIC)	46
figuur 3-10: Jaargemiddelde bovenafvoer van de Schelde te Schelle: 1949-2008 (Taverniers & Mostaert, 2009).	47
figuur 3-11: Lange termijn evolutie van het Schor van Ouden Doel tussen 1850 en 1936.	49
figuur 3-12: Oppervlakte evolutie van het Schor van Ouden Doel tussen 1936-2003. a) situering en b) oppervlakteevolutie (ha) in Schor van Ouden Doel, c) schorafslag in het Vlaams deelgebied, d) schoraangroei en e) schorafslag van het Nederlands deelgebied	50
figuur 3-13: Kreekontwikkeling en oorsprong- natuurlijk of antropogeen, in de mesohaliene zone bij Schor Ouden Doel.....	51
figuur 3-14: Kreekbreedte in functie van de afstand tot de kreekmonding. De figuur toont het verschil aan tussen een onverdedigde (NL) en een verdedigde schorrand (BE).	51
figuur 3-15: Vertakkingsgraad en breedte van krekken aan de (a) Nederlandse en (b) Belgische kant van Schor van Ouden Doel.	52
figuur 3-16: De krekken volgens hun ouderdom	53
figuur 3-17: Luchtfoto's van Schor van Ouden Doel, jaartal 1954 en 2003. Links het Vlaamse onderzoeksgebied, rechts het Nederlandse onderzoeksgebied.....	54
figuur 3-18: Landgebruik op de Notelaer. Gegevens op basis van het gereduceerd kadaster (1850) en DG2 (1903)	54
figuur 3-19: Ouderdom van de huidige schordeelgebieden op de Notelaer. De ouderdom is geschat op basis van een reeks luchtfoto's.. De exacte ouderdom is met geel becijferd op de kaart. Aan de voet van de dijk is bij de dijkverhoging een strook schor vernietigd, wat de jonge leeftijd van deze strook verklaart.....	55
figuur 3-20: Kreekontwikkeling en oorsprong in de Oligohaliene zone: schor van de Notelaer..	56
figuur 3-21: Kreekbreedte in functie van de afstand van de kreekmonding op schor van de Notelaer. De kreek werd opgemeten in de winter van 2009.	56
Figuur 3-22: Ouderdom van krekken op de Notelaer	57
figuur 3-23: Luchtfoto's van Notelaer jaartal 1954, 1969 en 2004. Links omgeving megakreek, rechts gebied met schoraangroei (ligt net ten noordoosten van het	

megakreekgebied). De lichtgele lijnen geven de huidige schorkreken weer, de witte lijn is de huidige schorrand.	58
figuur 3-24:: Landgebruik op Groot Schoor van Hamme. Gegevens op basis van topografisch kaart uit 1850.....	59
figuur 3-25: Landgebruik op Groot Schoor van Hamme. Gegevens op basis van topografisch kaart uit 1930.....	60
figuur 3-26: Schoroppervlakte aan het Groot Schoor van Hamme sinds 1944.	60
figuur 3-27: Zoete zone met lange verblijftijd: Groot schoor van Hamme en haar kreeksysteem; zowel de antropogene (rood) als de natuurlijke kreken (groen). ...	61
figuur 3-28 Luchtfoto's van Groot Schoor van Hamme, jaartal 1944, 1955, 1975 en 1982. De lichtgele lijnen geven de huidige schorkreken weer, de witte lijn is de huidige schorrand.....	62
figuur 3-29: De kreken op Groot schoor van Hamme volgens hun leeftijd.	62
figuur 3-30: Landgebruik op het Schor van Zele. Gegevens op basis van topografisch kaart uit 1850 en 1910.....	63
figuur 3-31: Luchtfoto's van Schor van Zele, jaartal 1949 en 2009. De lichtgele lijnen geven de huidige schorkreken weer, de witte lijn is de huidige schorrand.	63
figuur 3-32: Oppervlakte evolutie van het schor van Zele en het nieuw schor van Appels.....	64
figuur 3-33: Kreken op Schor van Zele. a: per ontstaansperiode; b. naar oorsprong..	65
figuur 3-34: De lengte van kreken geïnterpreteerd als sterk antropogeen of natuurlijk in functie van de locatie langs de saliniteitsgradient van de Zeeschelde.	66
figuur 3-35: Ligging van de bodemprofielen op het schor van Ouden Doel (Foto van 2003)....	67
figuur 3-36: Voorbeeld van een van de bestudeerde bodemprofielen. Links de landschapspositie van P6 binnen het zilte grasland- gebied. Rechts de verticale doorsnee van P6. De grens tussen de zuurstofhoudende en de zuurstofarme horizonten is bijzonder scherp op deze foto (beige tot antracietgrijze kleurgrens).....	68
figuur 3-37: A: boven links de relatie tussen natrium kationen (vastgebonden op de klei of organisch materiaal) en natrium geëxtraheerd door aqua regia op de schorstalen. B: boven rechts relatie tussen de geleidbaarheid en de inhoud aan aqua regia extraheerbaar natrium op de schorstalen. C: onderaan links de relatie tussen Na kationen en Na (aqua regia) op de slikstalen. D: onderaan rechts de verhouding tussen geleidbaarheid en de concentratie aan Na (=aqua regia) op de slikstalen.....	71
figuur 3-38: De concentratie aan zwavel (mg/kg) gemeten op de schorbodem- stalen van het Schor van Ouden Doel. De resultaten zijn opgedeeld volgens horizonttype in resp. zuurstofrijk, tijdelijk zuurstofarm en permanent zuurstofarm. De gegevens zijn gerangschikt volgens zwavelconcentratie van laag naar hoog.....	72
figuur 3-39: Overzicht van de bodemtypes gekarteerd in de poldergebieden (groene kleuren) op de linkeroever van de Zeeschelde ter hoogte van de Antwerpse haven. Een aantal van de grotere inpolderingen zijn duidelijk af te lijnen op basis van de bodemkaart. Deze zijn: 1) Prosperpolder, 2) Nieuw-Arenbergpolder, 3) een conglomeraat van noord naar zuid bestaande uit Paardenschorpolder, Doelpolder, Kleine-Doelpolder, St Annapolder en Ketenispolder, 4) Oud-Arenbergpolder, 5) St Nicolas polder en kallopolder, 6) Vrasenepolder en Beverenpolder. De bodems met profielontwikkeling binnen het poldergebied rond Meerdonk zijn met "a" aangeduid.....	73

figuur 3-40: Detail van de bodemkaart rond het polderdorp Doel. De talrijke veenputten zijn hier duidelijk zichtbaar door hun nattere drainagetoestand in vergelijking met de niet ontgonnen polder. In het meest zuidelijke gebied van de kaart is de inslagkreek het Grote Gat gekarteerd.	74
figuur 3-41: Ligging van de bodemprofielen aan de Notelaer. Foto van 2003.....	76
figuur 3-42: Detail van de bodemkaart in de omgeving van het dorp Hingene met de schor – en slik gebieden De’ Notelaer’ en ‘Ballooi’ aangeduid.	79
figuur 3-43: Profielen van de Notelaer.a: Foto van P55, een bodem gelegen aan de huidige schorrand in de schaduw van wilgen. b: Foto van P57 een bodem gelegen dicht bij de dijk in een populieren - en wilgen bos.	80
figuur 3-44: Overspoelingsgolf gemeten met een interval van 1 minuut versus 5 minuten	82
figuur 3-45: Schematische voorstelling meetmethode. Links: schematische voorstelling meetopstelling. Centraal: wijze van meten en benodigd meetmateriaal. Rechts: geperforeerde peilbuis met filterkous op meetlocatie met en RTK-GPS	83
figuur 3-46: A: vergelijking waterregime in Ketenisse en meetreeks tijpost Liefkenshoek voor periode 20 mrt 2008 -21apr 2008. B: detail van de eerste 6 hoogwatercycli. C: detail tussen overspoelingshoogte berekend en gemeten. D: detail van de PB10 overstromingscyclus, en E locatie van deze peilbuis PB10 ten opzichte van de tijpost Liefkenshoek.....	84
figuur 3-47: Verschil in hoogte van de gemeten overspoelingshoogtes (OH) in m bij de diver en bij de tijpost Liefkenshoek.....	85
figuur 3-48: Verschil in overspoelingsregime op basis van enerzijds de gemeten diverdata (groen) en anderzijds de gemodelleerde (blauw) op basis van de tijpost Liefkenshoek.....	85
figuur 3-49: Hoogtevariatie langsheen 6 transversale transecten aan Nederlandse en Belgische zijde van het Schor van Ouden Doel	86
figuur 3-50: Hoogteligging in m TAW (links), en locatie van de peilbuizen op Schor van Ouden Doel (rechts)	86
figuur 3-51: Overspoeling- en drainageregime langsheen een afstandsgradiënt in 1e meetreeks maart-april 2008.	88
figuur 3-52: Overspoelings- en drainageregime in combinatie met neerslag Brasschaat (mm/dag)	88
figuur 3-53: Relatie tussen neerslag (data vanuit de meteorologisch station te Brasschaat) en drainageregime in functie van structuurtype op Schor van Ouden Doel	89
figuur 3-54: overspoeling- en drainageregime van een pioniervegetatie	89
figuur 3-55: overspoeling- en drainageregime van verschillende structuurtypes in Schor van Ouden Doel op dezelfde afstand van de Schelde.....	90
figuur 3-56: Links: Hoogteligging en rechts: de locaties van de divers op de Notelaer	91
figuur 3-57: Hoogtevariatie langsheen 2 transversale transecten in de Notelaer	91
figuur 3-58: Overspoeling- en drainageregime op verschillende afstanden van de Schelde in de Notelaer.....	92
figuur 3-59: Overspoeling- en drainageregime in jong schor met riet tegenover bosrijk oud schor binnen de Notelaer.....	93
figuur 3-60: Links: hoogteligging en rechts: situering van diverlocaties in het Groot Schoor van Hamme	94

figuur 3-61: Hoogtevariatie langsheen 2 transversale transecten in het Groot Schoor van Hamme	94
figuur 3-62: Overspoeling- en drainageregime in het Groot Schoor van Hamme	95
figuur 3-63: Overspoeling- en drainageregime in het westelijk deel van het Groot Schoor van Hamme	96
figuur 3-64: Overspoeling- en drainageregime in het oostelijk deel van het Groot Schoor van Hamme	96
figuur 3-65: A: hoogteligging van de peilbuizen. B: situering van de schorren met waarnemingen. De peilbuislocaties binnen C) het Nieuw schor van Appels, D) de dijkverlegging te Paddebeek, en E) het Appelschor.	97
figuur 3-66: Hoogtevariatie langsheen 2 transversale transecten in het Nieuw schor van Appels	97
figuur 3-67: Overspoeling- en drainageregime in het Nieuw schor van Appels	98
figuur 3-68: Overspoeling- en drainageregime in het Nieuw schor van Appels en naburige schorgebieden	99
figuur 3-69: Hoogtevariatie langsheen een transversaal transect in het nieuw ontwikkeld schor Paddebeek	100
Figuur 4-1: Types slik. A) veenbank (V); B) Breuksteen in verband gelegd (B2); C) Regelmatig dekkend losse breuksteen (B4) het slik ligt boven de breuksteen (sv2); D) Niet dekkend losse breuksteen (B6); E) onverdedigd slik met schorrand zonder erosie (X0); F) zacht substraat met ribbels (Z1).	104
figuur 4-2: A) convex slik (sm2) breder dan 25 m (sb3) met 3 geulen in het slik (sm4) en zonder breuksteen (sv0). B) slik dan breuksteen (sv1) met onafgebroken riet (v4). In het midden is een slibweg om boten naar de achterliggende werf te trekken (SF1), met rechts hiervan een inactieve steiger (SR2). C) Actieve scheepswerf (SF1) zonder vegetatie (v0). D) Inactieve werf (SR2) met fragmentarische rietbegroeiing.....	106
Figuur 4-3: Enkele voorbeelden van onverdedigde en verdedigde oevers, zie ook Tabel 7. A) Oever zonder bescherming noch erosie (X0) met een slik zonder breuksteen (sv0), en een slikbreedte tussen de 5-25 m breed (sb2) en een recht profiel (sm1);. B) onbeschermd oever met erosie (X1) met verspreide losse breukstenen (B7);. C) Intacte palenrij met wilgentenen, nog niet dichtgeslibd (H5); D) Niet intacte dichtgeslibde wilgentenen met palenrij (H4), met losse stenen regelmatig dekkende breuksteenbestorting (B4), slik ook boven de breukstenen (sv2), en een slikstrook smaller dan 5m (sb1); E) Betonnen kaaimuur (M1) zonder slik (sb0); F) een geconstrueerde inham (h2).	107
Figuur 4-4 Evolutie oeverlengte (in percent van het volledige traject) onverdedigde oever tussen 1992 en 2009 voor de 4 saliniteitszones. De zoete zone met korte verblijftijd is weergegeven met of zonder het traject van Melle tot Gentbrugge ..	111
Figuur 4-5: Procentueel aandeel in 1992 en 2009 per oeverkwaliteitsbeoordelingsklasse voor de verschillende saliniteitszones van de Zeeschelde.	112
Figuur -4-6: Verschil in procentueel aandeel tussen 1992 en 2009 per oeverkwaliteitsbeoordelingsklasse voor de verschillende saliniteitszones van de Zeeschelde.	113
Figuur 4-7: Het oever beoordelingsresultaat anno 1992 en 2009 voor de mesohaliene zone..	115
Figuur 4-8: Het oever beoordelingsresultaat binnen de oligohaliene zone anno 1992 en 2009.	116

Figuur 4-9: Het oever beoordelingsresultaat binnen de zoete zone lange verblijftijd voor de jaren 1992 en 2009	117
Figuur 4-10: Het oever beoordelingsresultaat voor 1992 en 2009 binnen de zoete zone korte verblijftijd	118
figuur 4-11: Toenames jaargemiddelde hoogwaterstanden Zeeschelde (zonder Metonic): 1901-2008, 1951-2008 & 1976-2008	119
figuur 4-12: Verschillen tussen jaargemiddelde hoogwaterstanden.....	120
figuur 4-13 – Toenames jaargemiddelde laagwaterstanden Zeeschelde (zonder Metonic): 1901-2008, 1951-2008 & 1976-2008	121
figuur 4-14 – Verschillen tussen jaargemiddelde laagwaterstanden	122
figuur 4-15 – Toenames jaargemiddelde tijverschillen Zeeschelde: 1901-2008, 1951-2008 & 1976-2008	123
figuur 5-1: Geografische begrenzing Sigmamodel + locatie tijposten.....	127
figuur 5-2: Geografische begrenzing Nevlamodel + locatie tijposten.....	128
figuur 5-3: Omgekeerde rechttrekkingen op de Zeeschelde (paars) opgenomen in het 1D-model	132
figuur 5-4: Omgekeerde rechttrekkingen op de Durme (paars) opgenomen in het 1D-model	132
figuur 5-5: Omgekeerde inpoldering Vliet (Topografische kaart 1: 10 000, Nationaal Geografisch Instituut, 1978-1993).....	136
figuur 5-6: Overzicht omgekeerde inpolderingen.....	138
figuur 5-7: Schematisatie omgekeerde inpoldering Braakman in het 1D (links) en 2D-model (rechts).....	139
figuur 5-8: Schematisatie omgekeerde inpoldering Nieuw-Westlandpolder in het 1D (links) en 2D-model (rechts).....	140
figuur 5-9: Schematisatie omgekeerde inpoldering Tielrodebroek in het 1D (links) en 2D-model (rechts)	141
figuur 5-10: Schematisatie omgekeerde inpoldering Groot Schoor in het 1D (links) en 2D-model (rechts)	141
figuur 5-11: Schematisatie omgekeerde inpoldering Bergenmeersen in het 1D-model	142

Lijst van tabellen

Tabel 1: Onderscheiden klassen voor de gebruikte kenmerken in de sliktypologie.	7
Tabel 2: Afgeleide maximale, minimale en gemiddelde saliniteit in maart, juni en oktober van 2007 voor de saliniteitszones en subzones van de Zeeschelde en de Nederlandse grenszone. De focusgebieden zijn gekleurd weergegeven.	39
Tabel 3: Procentueel aandeel van de metingen op de Notelaer met een psu-waarde hoger dan 0,5	42
Tabel 4: Procentueel aandeel van de metingen op het Groot Schoor van Hamme met een psu-waarde hoger dan 0,5	43
Tabel 5: Procentueel aandeel van de metingen op het Schor Appels en Nieuw Schor van Appels met een psu-waarde hoger dan 0,5.	43
Tabel 6: Locatie van de bodemprofielen aan het schor van Ouden Doel en de Notelaer	66

Tabel 7: De legende voor de oeverbeoordeling van 2009	103
Tabel 8: Factor Antropogeen impact op de ecosysteem. Deze parameter is gebruikt in de formule voor de algemeen structuuroordeel (volgens Hoffmann & Meire 1997) ..	109
Tabel 9: De toegepaste slikbreedte klassenindeling	109
Tabel 10: De aangepaste categorieën voor schorbreedte. Deze is berekend op basis van de oevervegetatiekartering daterend uit 1992 en 2003. De schorbreedte werd tijdens de veldkartering niet bepaald dus is er geen karteringslegende voor opgesteld.	109
Tabel 11: De indeling van de structuuroordeelsresultaten in oeverbeoordelingsklassen.....	110
Tabel 12 De voornaamste oevertypes per oever beoordelingscategorie.....	110
Tabel 13 Oeverlengte onverdedigde oever per saliniteitszone voor de jaren 1992 en 2009....	111
Tabel 14 De procentuele oeverlengte per structuurkwaliteitsklasse en per OMES-onderzoekssegment met aanduiding van begrenzing en gemiddelde oeverlengte in km.	111
Tabel 23: Overzicht uitgevoerde scenarioberekeningen met 1D- en/of 2D-model	126
Tabel 24: Bovenafvoer te Melle.....	135
Tabel 25: Schematisch overzicht van het effect van de berekende scenario's op de gemiddelde hoog en laagwaters en het tijverschil.....	150

