713_21 WL Rapporten

INBO.R.2012.59

Wetenschappelijke instelling
van de Vlaamse overheid

inbo
Instituut voor
Natuur- en Bosonderzoek

waterbouwkundig
LABORATORIUM

Historische evolutie van Zeescheldehabitats

Kwantitatieve en kwalitatieve analyse van invloedsfactoren

Van Braeckel A., Coen L., Peeters P., Plancke Y., Mikkelsen J. en Van den Bergh E.

Auteurs:
Van Braeckel A.[1], Coen L.[2], Peeters P.[2]; Plancke Y.[2], Mikkelsen J.[1] en Van den Bergh E.[1]
[1]Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek
[2]Waterbouwkundig laboratorium

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzame beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

Het Waterbouwkundig Laboratorium is een expertisecentrum dat wetenschappelijk onderzoek doet naar de effecten van water in beweging. Het WL onderzoekt de invloed van menselijke activiteit en van de natuur op watersystemen en de gevolgen ervan voor de scheepvaart en voor de watergebonden infrastructuur.

Vestiging:
INBO Brussel
Kliniekstraat 25, 1070 Brussel
www.inbo.be

Adres:
Waterbouwkundig Laboratorium
Berchemlei 115, B-2140 Antwerpen
www.waterbouwkundiglaboratorium.be

e-mail:
alexander.vanbraeckel@inbo.be

e-mail:
waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

Wijze van citeren:
Van Braeckel A., Coen L., Peeters P., Plancke Y., Mikkelsen J. en Van den Bergh E. (2012). Historische evolutie van Zeescheldehabitats. Kwantitatieve en kwalitatieve analyse van invloedsfactoren. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2012 (59). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel i.s.m. het Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen.

D/2012/3241/345
INBO.R.2012.59
WL2012R713_21_7rev2_0
ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:
Jurgen Tack

Druk:
Managementondersteunende Diensten van de Vlaamse overheid

Foto cover:
Voormalige vloeiweide Tielrodebroek en schor nabij de Durmemonding, foto Yves Adams - Vildaphoto

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:
het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Afdeling Maritieme Toegang.

Mobiliteit en Openbare Werken

Onderzoek in navolging van het Memorandum van Vlissingen (2002) tussen Vlaanderen en Nederland inzake het gezamenlijk opstarten van een langlopend monitoring- en onderzoeksprogramma ter ondersteuning van de grens-overschrijdende samenwerking bij beleid en beheer, met als thema's Natuurlijkheid, Veiligheid, Toegankelijkheid, Visserij en Recreatie en Toerisme. Werkgroep Onderzoek & Monitoring Vlaams Nederlandse Schelde Commissie (WG O&M VNSC).

Aangepaste herdruk

© 2012, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek
© 2012, Waterbouwkundig Laboratorium

Historische evolutie van Zeescheldehabitats

Kwantitatieve en kwalitatieve analyse van invloedsfactoren

Historical evolution of habitats in the Zeeschelde
Quantitative and qualitative analysis of external factors

Van Braeckel, A.; Coen, L.;.Peeters P.; Plancke Y.; Mikkelsen J. en Van den Bergh, E.

Documentidentificatie

Titel:	**Historische evolutie van Zeescheldehabitats: Kwantitatieve en kwalitatieve analyse van invloedsfactoren**		
Opdrachtgever:	Afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2012R713_21_7rev2_0 INBO.R.2012.59
Keywords (3-5):	Scheldt Estuary		
Tekst (p.):	111	Tabellen (p.):	35
Bijlagen (p.):	14	Figuren (p.):	48 + 7 foto's
Vertrouwelijk:	☐ Ja	Uitzondering:	☐ Opdrachtgever ☐ Intern ☐ Vlaamse overheid
		Vrijgegeven vanaf	
	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Goedkeuring

Auteur	Revisor	Projectleider WL	Afdelingshoofd WL
Van Braeckel, A. Coen, L. Ir.Peeters P. Ir.Plancke Y. Mikkelsen J. Van den Bergh, E.	Ir.Taverniers, E.	Ir.Plancke, Y. Projectleider INBO Van den Bergh, E	Dr.Mostaert, F. Administrateur Generaal INBO Dr. Jurgen Tack

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur
1_0	24/05/2011	Conceptversie	Van Braeckel, A.; Coen, L.; Peeters P.; Plancke Y.; Mikkelsen J.
1_1	16/12/2011	Inhoudelijke revisie	Taverniers, E.; Van den Bergh, E.
2_0	14/12/2012	Definitieve versie	Van Braeckel, A.; Coen, L.; Peeters P.; Plancke Y.; Van den Bergh, E.

Dankwoord/Voorwoord

Dit rapport kon niet tot stand komen zonder de geslaagde samenwerking van wetenschappers uit verschillende disciplines: biologen, geologen, waterbouwkundigen en morfologen. Dank aan de medewerkers van INBO, WL en afdeling Maritieme toegang die betrokken waren bij deze studie: Jonas Dillen, Tatiana Maximova, Jeroen Speybroeck, of bij vorige projectfasen: Frederic Piesschaert, Stefaan Ides, Tatiana Maximova, An Govaerts, Youri Meerschaut. We willen in het bijzonder Ir. Eric Taverniers bedanken voor zijn commentaren gestoeld op decennialange ervaring met diverse aspecten van de Schelde, alsook Chantal Martens en Frederic Roose voor hun nauwe betrokkenheid bij de voortgang van het project.
Resultaten van het INBO onderzoek dat gefinancierd wordt door de Afdeling Zeeschelde van Waterwezen en Zeekanaal NV leverden een belangrijke input voor dit project en konden hier in een historische context geplaatst worden.
Ten slotte willen we afdeling Maritieme toegang danken voor het verwerven en aanleveren van een groot aandeel van de historische data en niet in het minst voor de financiering van dit project.

Samenvatting

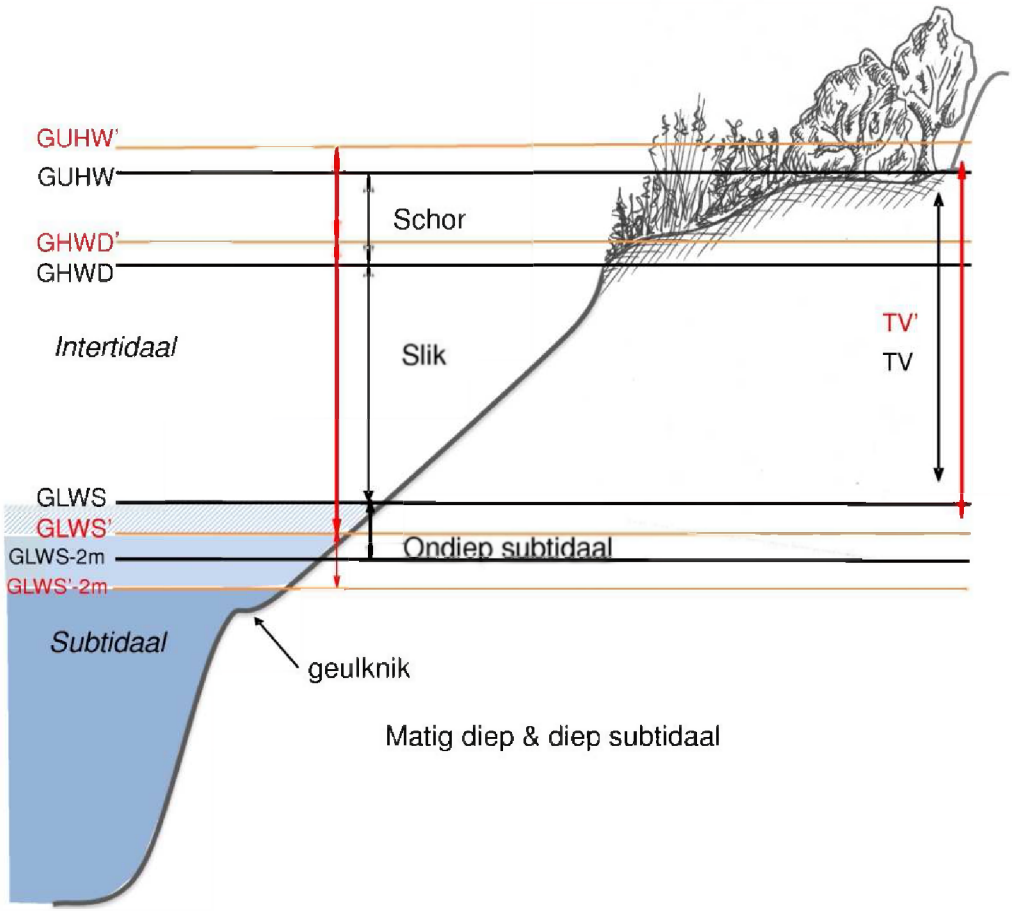
In een eerste historische analyse van de ingreep-effectrelaties op de Zeeschelde (Van Braeckel et al., 2006) werden data verzameld, geëvalueerd naar kwaliteit en continuïteit en ecologisch geïnterpreteerd. De eerste analyse van ingrepen, getij en evolutie van Zeescheldehabitats was vooral kwalitatief. Eenduidige oorzaak-gevolg relaties waren moeilijk te leggen omdat verschillende ingrepen gelijktijdig plaatsvonden en het relatief belang van autonome processen moeilijk in te schatten was. Kennishiaten werden geïdentificeerd en een aantal onderzoeksvragen werden als stelling geformuleerd.

In dit vervolgproject werd de systeemkennis verder uitgediept met nieuw verworven informatie: de tij-analyse werd meer in detail doorgevoerd en het historisch beeld van de ecotopen werd vervolledigd. Het doel van deze vervolgstudie was vooral om ingreep-effect relaties beter te kwantificeren.

Met betrekking tot arealen werd vastgesteld dat slik- en schoroppervlakten langs de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren respectievelijk met 66% en 82% verminderden tussen 1850 en 2003. Sinds 1930 verdween ook 40% van het ondiep subtidaal. Zowel rechtstreekse habitatvernietiging als hydrodynamische en morfologische ontwikkelingen die voortschrijdende erosie veroorzaken, liggen hier aan de basis. Meer bepaald rechttrekkingen, inpolderingen, dijkwerken, zeespiegelstijging, wijziging en manipulatie van het debiet van de bovenafvoer, verruiming en verdieping van de vaargeul, vaargeulonderhoud en baggerstortwerken, zandwinning en morfologische aanpassingen worden steeds in die context vermeld.

In deze studie wordt met behulp van numerieke modelleringen (1D en 2D modellen) getracht het effect van de verschillende ingrepen te kwantificeren. Het doel is om de relatieve bijdrage van rechttrekkingen, debietwijzigingen van de bovenafvoer, inpolderingen, verruimingen, zandwinning en de algemene zeespiegelstijging op de getij-indringing in het Schelde-estuarium te bepalen. Omdat de morfologische veranderingen van het Middelgat en het Gat van Ossenisse eveneens het getij beïnvloedden werden ook deze gemodelleerd in enkele bagger/stort-scenario's. Vertrekkend van modellen die de huidige topo-bathymetrie weergeven worden de ingrepen uit het verleden schematisch ongedaan gemaakt. Het resultaat is dus niet echt een reconstructie van het verleden maar eerder een 'hindcast' vanuit het heden. Door de resultaten van verschillende simulaties te vergelijken kunnen richting en grootteorde van het aandeel van de ingrepen op wijzigingen in de getij-variabelen begroot worden. Via deze getijkenmerken werd dan de potentiële impact op areaal en kwaliteit van habitats ingeschat.

Een laagwater daling heeft de potentie in zich de slikoppervlakte te vergroten, althans indien de hoogtegradiënt niet te steil is. Op dezelfde wijze kan stijging van hoogwater potentieel schoruitbreiding met zich meebrengen op voorwaarde dat de zijdelingse ruimte voorhanden is (Figuur 0.1). De werkelijke ontwikkeling van slikken en schorren ten gevolge van toenemend getijverschil is echter ook nog afhankelijk van sedimentvracht, hydro- en morfodynamiek en topografie (Figuur 1.3). In de Zeeschelde is de beschikbaarheid van sediment geen beperkende factor. Door gebrek aan zijdelingse ruimte en luwten echter zal toename in het getijverschil zelden in duurzame slik- en schorwinst resulteren.



Figuur 0.1 - Estuariene habitats en toename van het tijverschil (GLWS: gemiddeld laagwater bij springtij; GHWD: gemiddeld hoogwater bij doodtij. GUHW: gemiddeld uitzonderlijk hoogwater).

Ingreep/effect-relaties:

Rechttrekkingen: Het riviertraject wordt ingekort; niet alleen wordt hierbij habitat vernietigd, het resterende riviertraject verliest ook morfologische diversiteit. Het getijverschil en hydraulisch vermogen stroomopwaarts de rechttrekking nemen toe. Ter hoogte van de rechttrekking nemen sedimentafzettingen toe en afwaarts neemt het hydraulisch vermogen af.
Door de zeer beperkte zijdelingse ruimte met haast continue breuksteenverharding zorgde toename van het getijverschil in de Boven-Zeeschelde niet voor uitbreiding van slik- en schorareaal. De grotere procentuele volumewijzigingen in de Durme en het haast volkomen gebrek aan bovenafvoer verklaren mogelijks waarom de Durme wel en de Boven-Zeeschelde niet of minder te kampen heeft met sedimentatieproblematiek.

Bovenafvoerverlaging: kan opwaarts lagere waterstanden en verdere getijdoordringing veroorzaken. In de simulatieresultaten is de daling van de hoogwaterstanden kleiner dan de daling van de laagwaters. Het getijverschil wordt dus groter maar het estuariene bereik dwars op de rivier verkleint. Door beheergerichte bovenafvoermanipulatie bovenop de effecten van klimaat wijzigingen vergroot de kans op groter dan natuurlijke saliniteitschommelingen.
Indien de ruimte en luwte aanwezig zijn en blijven, kan de oppervlakte slik- en pionierzone verhogen ten koste van ondiep subtidaal. De hoogste schorzones worden supratidaal en aan het estuarium onttrokken. Vooral in de oligohaliene zone vormen saliniteitschommelingen die de natuurlijke variabiliteit overstijgen een bedreiging voor benthische en pelagische fauna en flora.

Inpoldering onttrekt een deel van het estuarium aan getij-invloed. Het geheel aan estuariene habitats verliest morfologische diversiteit en continuïteit. Stroomopwaarts stijgen (hoewel gering) de hoogwaterstanden over enkele tientallen kilometers, naargelang de grootte en de locatie van de inpoldering. Het effect op de laagwaterstanden is quasi nihil. Vloedvolumes stijgen ter hoogte van en stroomopwaarts de inpoldering. In het resterende rivierdeel zal het slikareaal nauwelijks wijzigen; het schorareaal zou kunnen toenemen op plaatsen waar ruimte voorhanden is. Schorren, slikken en ondiepwaterzones boeten er aan kwaliteit in door verhoogde vloedsnelheden; de onthoofde kreekrestanten ter hoogte van de inpoldering passen zich morfologisch aan en worden minder optimaal voor fauna en flora.

Verruiming zonder terugstorten van baggerspecie heeft geen invloed op hoogwaterstanden maar veroorzaakt op termijn voortschrijdende verlaging van laagwaterstanden. De effecten zijn moeilijk apart te begroten van die van zandwinning. Effecten van verruiming met terugstorten van baggerspecie wijzen in dezelfde richting maar zijn veel kleiner.
Door de toename van het getijverschil breidt het verticale bereik van de slikzone uit ten koste van het ondiep subtidaal. Door de versteiling van het profiel bij verruiming leidt dit echter niet noodzakelijk tot toename in slikareaal. Het terugstorten van baggerspecie kan mits de nodige aandacht, het areaal en de kwaliteit van ondiep subtidaal en laag slik bevorderen.

Zandwinning is zeer uitgespreid in de tijd en is onvolledig gedocumenteerd voor de Zeeschelde. Op korte termijn zijn geen duidelijke effecten op getij karakteristieken waar te nemen. De algemene expert opinie is dat op lange termijn het systeem voortschrijdend uitruimt waardoor de getij-indringing versterkt. Zandwinningen hebben hierdoor vooral een effect op de lagere ecotopen zoals ondiep subtidaal, slik en pionierschor. Met de toename van getijverschil breidt de verticale reikwijdte van slikken en schorren uit, maar als dit samengaat met uitruiming van het systeem leidt dit eerder tot areaal- en kwaliteitsverlies.

Zeespiegelstijging wordt in de modelberekeningen gedempt tussen Baalhoek en Schoonaarde terwijl men eerder een versterking over de hele lijn verwacht. Toename van de laagwaterstanden wordt voortschrijdend van Baalhoek tot Gent gedempt en dit sneller dan hoogwater. Het resultaat is een stroomopwaarts groeiende toename in getijverschil. Het model berekent echter het effect van een eenmalige sprong in de waterstand met een statische bathymetrie, terwijl in werkelijkheid slikken en schorren meegroeien met geleidelijk toenemende waterstanden. Anderzijds is het effect van de zeespiegelstijging in gemeten waterstanden niet te onderscheiden van de ingrepen.
Toename van getijverschil breidt de verticale reikwijdte van slikken en schorren uit, maar als dit samengaat versteiling van de subtidaal-supratidaal gradiënt doordat het estuarium zijdelings beperkt is, komt er nauwelijks habitat bij en vermindert de kwaliteit.

Met de resultaten van de modelsimulaties zijn getij-evolutie en ingrepen in het estuarium per dubbeldecade en per zone naast elkaar gelegd om het aandeel van elke ingreep in de getij-evolutie in te schatten en door te vertalen naar habitatareaal en -kwaliteit.

Chronologisch overzicht:

De periode voor 1921 is die van de grote inpolderingen in de mesohaliene zone, de rechttrekkingen in de zoete zone en de 'verbeteringswerken' voor de bevaarbaarheid van de Rupel. De inpolderingen hadden een gering effect op hoogwaterstanden tot Dendermonde, de rechttrekkingen stroomopwaarts Dendermonde hadden een matig tot groot effect op de laag- en hoogwaterstanden en het getijverschil in Melle en Uitbergen. De ingrepen aan de Rupelmonding worden slechts een gering effect op hoogwater in Walem toegekend.

Tussen 1921 en 1940 hebben de inpolderingen van Kreekrak en Hellegat in de Westerschelde een gering effect op hoogwater tot in Bath. Onttrekking van de Scheldebroeken aan

estuariene invloed heeft een gering effect op hoog en laagwater in Dendermonde. Een kleine rechttrekking aan de Dendermonding heeft enkel lokaal geringe invloed op hoog- en laagwater. De rechttrekking tussen Appels en Schoonaarde laat zich echter op hoog- en laagwater voelen van Dendermonde tot Melle. Op de Durme vergroten de rechttrekkingen het getijverschil in Waasmunster, terwijl de aanleg van de potpolder een gering omgekeerd effect heeft. De baggerwerken hebben er een groot effect op laagwater.

Tussen 1941 en 1960 veroorzaakt de inpoldering van de Braakman een geringe toename van hoogwater tot in Schelle. De inpolderingen tussen Bath en Antwerpen en de opspuiting van de Wijtvlietpolder krijgen een vergelijkbaar effect toegekend. De bedijking van de Kalkense meersen veroorzaakt een geringe toename van de hoogwaterstanden stroomopwaarts Schelle tot Uitbergen. De baggerwerken op de Durme vergroten verder lichtjes het getijverschil tussen Tielrode en Waasmunster, de potpolders blijven het omgekeerde effect geven en de afdamming aan Lokeren legt het tijvenster in Waasmunster gevoelig hoger.

Tussen 1961 en 1980 worden vloeisystemen en vallei van de Zeeschelde en Durme verder onttrokken aan de estuariene invloed, schorren worden in gebruik genomen als huisvuilstorten. Deze ingrepen veroorzaken vooral ter plekke geringe toename van hoogwater en afname van laagwater. De 1^{e} verruiming zorgt in grote delen van de Zeeschelde voor een matige daling van het laagwater (maximaal~ 20cm). De aanleg van de Ringvaart en schutsluis in Gent had een gering tot matig verlagend effect op hoog- en laagwater stroomopwaarts Dendermonde. De evoluties in de Durme zetten zich verder.

Tussen 1981 en 2000 dragen zandwinning voor allerhande infrastructuurwerken, dijkverstevigingen en de 2^{e} verruiming bij aan de verdere toename van het getijverschil in de mesohaliene zone.

Geografisch overzicht:

In de mesohaliene zone daalde het laagwater gevoelig in het stroomopwaartse deel in 1901-1920 en over de volledige lengte in 1961-1980. Dit kon telkens gerelateerd worden aan een combinatie van geulverruiming en zandonttrekking. Extra toename van hoogwater in de mesohaliene wordt geobserveerd in 1901-1920 en 1941-1960, twee perioden van grote inpolderingen.
Subtidale platen en slikgebieden versmalden, werden dynamischer en minder stabiel. Grote zones van de slik-schor overgang werden ingepolderd. Geschikte ruimtes voor cyclische schordynamiek zijn nagenoeg verdwenen en het verticaal profiel werd steiler.

In de oligohaliene zone daalt het laagwater tussen 1921 en 1980. De daling is het sterkst in 1961-1980, de periode van de 1^{e} verruiming. Perioden van uitgesproken stijging van hoogwater 1901-1920 en 1941-1960 komen respectievelijk overeen met grote inpolderingen stroomopwaarts en toenemende controle op overstromingen van de vloeimeersen.
Ook in deze zone werd de geul groter en dieper en de intertidale zone smaller. Subtidale en intertidale platen werden kleiner en minder stabiel. Landbouwmethoden in de begroeide zones werden steeds meer gecontroleerd en intensiever. Na 1961 werden deze zones volledig ingepolderd, omgevormd tot buitendijks stort, of teruggegeven aan de rivier.

In de zoete zone met lange verblijftijd daalt het laagwater tussen 1921 en 1960. In deze periode verzandt ook het ebdiep in Sint-Amands met een vaargeulwissel als gevolg. In 1961-1980 is deze daling nog versterkt tijdens de 1^{e} verruiming. Hoogwater stijgt versneld in 1901-1920 en iets minder uitgesproken in 1941-1960. Zowel de stroomafwaartse inpolderingen als de stroomopwaartse rechttrekkingen laten zich hier voelen in de eerste periode. De tweede periode valt samen met de definitieve inpoldering van de vloeisystemen.
De Scheldehabitats ondergaan een evolutie die vergelijkbaar is aan die in de oligohaliene zone. De stroombergende breedte die aan de rivier onttrokken werd in de loop van de vorige eeuw was echter relatief veel groter.

In de zoete zone met korte verblijftijd zijn waterstanden en getij-indringing vooral beïnvloed door combinatie van rechttrekkingen en verminderde bovenafvoer en door de aanleg van de ringvaart en de schutsluis. Rechttrekkingen veroorzaakten vooral in 1901-1920 extra toename van hoogwater. In diezelfde periode steeg ook het laagwater door sedimentatie. In deze zone werd vooral alluviaal gebied van de stroombergende breedte ontnomen.

Toetsing van de hypothesen

In dit rapport worden vooral oorzaak-gevolg relaties op een algemeen niveau behandeld en wordt niet zozeer getracht om lokale fenomenen te verklaren. De gegenereerde kennis wil kapstokken aanreiken aan rivierbeheerders ter ondersteuning van het duurzame beheer voor het drieluik toegankelijkheid – veiligheid – natuurlijkheid. Door deze aanpak komen niet alle onderzoeksvragen uit Van Braeckel et al. (2006) aan bod. Stellingen 1, 2 en 11 vergen specifieke studies en werden in deze vervolgstudie niet expliciet behandeld. Stellingen 4, 5, 6 en 10 komen aan bod in de achtergrondrapporten (Van Braeckel et al., 2011, in prep.(b) , Mikkelsen et al, 2011).

Stelling 3: Verdieping van de Schelde gecombineerd met sedimentonttrekking uit het systeem (1^{e} verdieping) heeft een grotere ecologische en hydrodynamische impact dan verdieping zonder sedimentonttrekking (2^{e} verdieping) kan hier bevestigd worden.

Stelling 7: De plotse val van het gemiddeld laagwater na 1970 ter hoogte van de oorsprong van de Rupel is een gevolg van de afsluiting van de Vliet wordt hier verworpen. Het afsluiten van de Vliet heeft slechts een beperkte bijdrage geleverd, de eerste verruiming had een groter effect.

Stelling 8: Het gemiddeld laagwater is gevoeliger voor antropogene en 'natuurlijke' wijzigingen dan het gemiddeld hoogwater kan hier als volgt genuanceerd worden:
- GHW wordt voornamelijk beïnvloed door rechttrekking, inpoldering, wijzigingen bovenafvoer, zandwinning en zeespiegelstijging
- GLW wordt voornamelijk beïnvloed door rechttrekking, wijzigingen bovenafvoer, zandwinning, verruiming en zeespiegelstijging
- Het effect varieert naargelang de aard en relatieve grootte van de ingreep.

Stelling 9: Het gedeeltelijk wegvallen van de bovenafvoer heeft een grotere impact op het getijverschil in de Boven-Zeeschelde dan de rechttrekkingen, kan hier als volgt geherformuleerd worden:
- Rechttrekkingen hebben een groter effect op het tijverschil dan het wegvallen van de bovenafvoer.

Foto 1 Contactmileu tussen slik, jong en oud schor in het Paardeschoor nabij de haven; Contact zone between tidal mudflat, young and old tidal marsh in the Paardeschoor, a managed retreat site near the Antwerp harbour (Vildaphoto-Yves Adams)

Summary

The river Scheldt takes its rise in the north of France and flows into the North Sea near Vlissingen (The Netherlands). It is a lowland river with a total length of 355 km and a fall of 100 m at most. Its estuary extends to Gent, 160 km from the mouth, where tidal influence is stopped by sluices. The Dutch part of the estuary (Westerschelde) is characterised by flood and ebb channels, separated by intertidal sand and mudflats. Where the Zeeschelde (the Flemish part) starts, it changes quite rapidly into a one channel system. It covers a complete salinity gradient, including fresh water tidal zones with long and short chlorine retention times. Due to the funnel shape of the estuary the maximum vertical tidal range is situated about 100 km upstream, in the freshwater zone with long retention time. The mean tidal amplitude varies from 3.8 m near the mouth to a maximum of 5.33 m and back to 2 m near Gent.

This study focuses on the Zeeschelde, from the mesohaline zone to the end of the tidal fresh water reach. In the past centuries the estuary has been heavily modified by land reclamations, channel deepening and widening, canalizations, sand extraction and discharge manipulations. Together with the general sea level rise they affect the hydro morphological condition of the estuary in an interactive way. This study attempts to separate the individual effects of these impacts on the estuarine habitats, in order to gain a better understanding of the estuarine functioning. This will help to design the appropriate compensation and mitigation measures in anticipation of the negative effects of future anthropogenic changes and relative sea level rise.

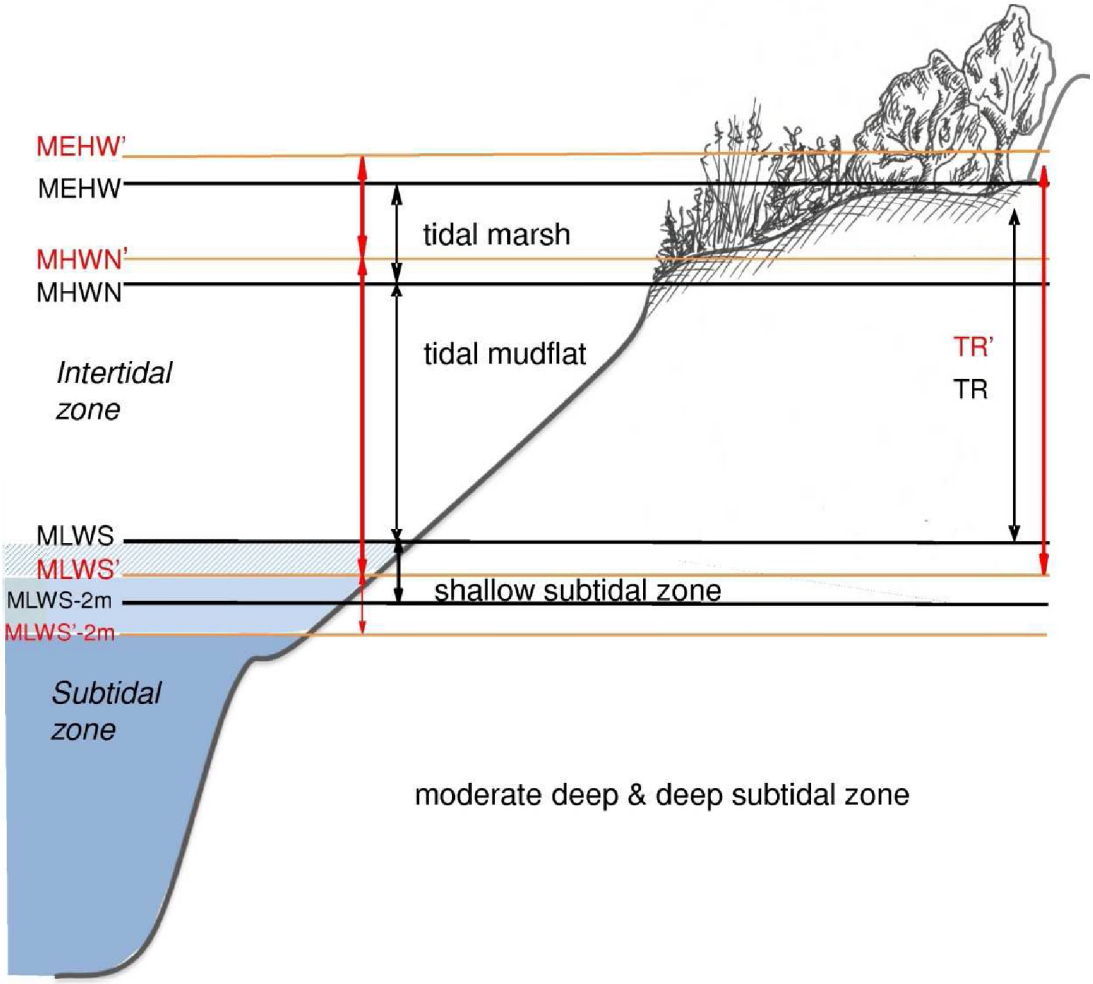
A first historical analysis of anthropogenic modifications and their effects on the Zeeschelde and its habitats, consisted of data collection (historical maps and hydrographical charts from 1850 onward, aerial photos (1944-2000), bathymetric charts and tidal data), their evaluation in terms of quality and continuity, and their ecological interpretation (Van Braeckel et al., 2006). A first, largely qualitative analysis of the modifications and the accompanying changes in tidal characteristics and habitats have been conducted. As several modifications occurred simultaneously and the relative importance of autonomous processes were hard to assess, straightforward causal relations have been difficult to establish.

In this follow-up research, new data was added to the available knowledge base. The historical description of the ecotopes was completed and a more detailed tidal regime analysis has been executed. However, the main goal for the present study was to establish causal links: 1D and 2D numerical models have been used to single out the type specific effects of anthropogenic measures and of sea level rise on tidal variables in the Zeeschelde and to determine their relative contribution to the increasing upstream tidal intrusion. Some morphological changes in downstream Dutch areas (Middelgat and Gat van Ossenisse) were also modelled in a number of dredging and dumping scenarios because they influenced the tidal regime in the Zeeschelde. The modelling results were held against the observed trends of mean low and high water levels together with the history of major anthropogenic measures in the Zeeschelde.

Both tidal flat and tidal marsh area along the Zeeschelde and its tidal tributaries suffered significant habitat loss (respectively 66% and 82%) between 1850 and 2003. Thirty per cent of the shallow subtidal area was lost since 1930. This was caused by direct habitat destruction as well as by hydrodynamic and morphological changes bringing about progressive erosion. In this regard, canalization, land reclamation, embankment, sea level rise, change and manipulation of discharge volume and flow rate, channel widening and deepening, maintenance dredging and dumping, sand extraction and morphological modifications are repeatedly cited.

With numerical models portraying the current topography and bathymetry serving as a baseline, past modifications are schematically cancelled or undone. Thus, the result is rather a 'hind cast' than a true historical reconstruction. The direction and relative magnitude of each measure's share in explaining the observed changes in the tidal variables can be assessed through comparison of simulation results. The potential alteration of habitat surface area and habitat quality is subsequently deduced from the obtained values of the tidal characteristics.

If the bank slope is not too steep, a drop in low water level could result in a noticeable increase of intertidal area. Similarly, if space for lateral habitat expansion is available, a high water level rise could create potential for tidal marsh growth (Figuur 0.1). However, development of tidal flats and marshes following increased tidal range also depends on the sediment load of the water, hydro- and morphodynamics and topography (Figuur 1.3). Sediment availability is not a limiting factor in the Zeeschelde. Unfortunately, lack of lateral space and shallow areas will usually hamper any potential increase of high quality tidal habitat area.



Figuur 0.2 - Estuarine habitats and increasing tidal range (MLWS: mean high water spring tide; MHWN: mean high water at neap tide; MEHW: mean exceptional high water).

Cause/effect relations:

Canalization:

Canalization shortens the river and decreases friction, causing direct habitat destruction as well as loss of morphological diversity. Upstream of the modification tidal range and hydraulic power increase. In the canalized section, sediment deposition increases. Downstream, hydraulic power drops.
Given the highly restricted lateral space with virtually continuous riprap fortification, the increase in tidal range did not result in the expansion of tidal habitat in the upper Zeeschelde (upstream of the Rupel tributary mouth). In the upper Zeeschelde increased sedimentation rate is not an issue; in the Durme however, it is. An explanation might be that canalization in this tributary caused a relative large volume change in terms of percentage and that there is nearly no upper fresh water discharge left.

Discharge reduction and manipulation:
Discharge reduction may induce lower water levels in the upstream parts of the estuary, and it may enhance tidal intrusion. Simulation results show a smaller drop in high water levels than in low water levels. Thus, the tidal range increases, while the transversal reach of the estuary decreases. Discharge manipulations on top of climate change may result in exceeding salinity fluctuations.
If shallow zones are and remain available, the surface area of tidal mudflat and pioneer marshes may increase at the expense of the shallow subtidal area. The highest parts of the tidal marshes become supratidal zones, thus less exposed to the tidal influence and less functional to the estuarine ecosystem. Salinity fluctuations surpassing the natural variability pose a threat especially for the benthic and pelagic fauna and flora of the oligohaline zone.

Land reclamation blocks a part of the estuary from tidal influence, thus reducing the estuarine surface area. The estuarine habitat complex loses morphological diversity and continuity. Depending on the size and longitudinal location of the reclamation, high water levels rise over some tens of kilometres upstream, albeit to a limited extent. The effect on low water levels is insignificant. Flood volume increases nearby and upstream of the reclamation. The mudflat area in the rest of the system will hardly change, while the tidal marsh area might increase at places where lateral space is available. Marshes, tidal flats and shallow water areas display quality loss due to higher flood velocities. The decapitated tidal creeks adapt themselves morphologically to the new conditions and become suboptimal for fauna and flora.

Channel widening with removal of the dredged material does not affect the elevation of the high water level, yet on the long run it causes ongoing lowering of the low water levels. The effects are, however, hard to disentangle from those of sand extraction. Effects of channel deepening and widening with dumping of the dredged material back into the system seem similar but less pronounced.
The increased tidal range enlarges the vertical reach of the tidal flat area at the expense of the shallow subtidal area. As the intertidal cross-section becomes steeper with widening of the river, this does not necessarily lead to a larger mudflat area. Well-considered dumping of dredged material at specific locations and with the right methods may benefit the surface area and quality of shallow subtidal and lower intertidal habitats.

Sand extraction in the Zeeschelde has been on and off with time and is insufficiently documented. Short term effects on the tidal characteristics are not apparent. Expert judgement anticipates long-term widening of the system, causing enhanced tidal intrusion in the estuary. As such, sand extraction mainly affects the low-lying ecotopes such as shallow subtidal areas, mudflats and pioneer tidal marsh zones. With increased tidal range, the vertical extent of tidal mudflats and marshes grows. Yet, when combined with the widening of the system this rather leads to loss of habitat area and quality.
Sea level rise
While an overall enhancement along the estuarine funnel is expected, sea level rise seems to be tempered in the model calculations between Baalhoek and Schoonaarde. Rising low water

levels are damped from Baalhoek to Gent. This happens faster than for the high water levels. The overall result is an upstream increase of the tidal range. However, the model calculated the impact of a singular shift in water levels with a steady bathymetry, whilst in reality, tidal mudflats and marshes gradually grow with the rising water levels. On the other hand it is not possible to separate the effect of sea level rise in the observed water levels from that of structural and morphological modifications.
A larger tidal range results in increased vertical expansion of mudflats and marshes. Yet, as the lateral spatial restriction of the estuary makes this coincide with steeper bank habitats, the gain in habitat surface area is limited, while habitat quality diminishes.

Evolution of tidal variables have been faced to the history of anthropogenic measures for each double decade and per salinity zone. The model simulation results were then used to assess the relative part of each measure in the evolving tidal characteristics, and to translate these findings into habitat area and -quality changes.

Temporal variation

Before 1921, there were large land reclamations in the mesohaline zone, canalizations in the freshwater zone and the 'improvement management' for navigation in the Rupel tributary. Land reclamation had limited effect on high water levels up to Dendermonde. Canalizations upstream from Dendermonde showed moderate to large impacts on the high and low water levels, as well as on the tidal range at Melle and Uitbergen. Limited effect on the high water level at Walem on the Rupel is attributed to modifications at the mouth of the Rupel.

Between 1921 and 1940, the reclamations of Kreekrak and Hellegat in the Westerschelde showed limited effect on high water levels up to Bath. Blocking the Scheldebroeken from tidal influence had limited effect on water levels in Dendermonde. A small canalization at the Dender mouth showed limited local effect on water levels. Yet, the canalization between Appels and Schoonaarde caused noticeable changes at both low and high water between Dendermonde and Melle. Canalization of the Durme caused an increase of the tidal range in Waasmunster, while creation of the flush basin had a limited opposite effect. Dredging in the Durme has a large impact on the low water level.

Between 1941 and 1960, reclamation of the Braakman caused a slight increase of the high water level up to Schelle. Similar effects were attributed to land reclamations between Bath and Antwerp and the landfilling of the Wijtvlietpolder. Embankment of the Kalkense Meersen caused a limited rise of the high water levels between Schelle and Uitbergen. Dredging in the Durme slightly increased the tidal range between Tielrode and Waasmunster, while the flush basins still exercised their opposite effect. Construction of the dam in Lokeren slightly raised the tidal frame.

Between 1961 and 1980, the valley and floodplains of Zeeschelde and Durme were progressively blocked from tidal influence. Some tidal marshes were occupied as garbage dumps. These changes mainly caused local and limited rise of high water levels and drop of low water levels. The 1st channel deepening caused a moderate drop (max. ca. 20cm) of low water levels in the major part of the Zeeschelde. Construction of the Ring canal and lock in Ghent caused limited to moderate lowering effects on water levels upstream Dendermonde. The Durme continued its evolution in the same direction.

Between 1981 and 2000, sand extraction for infrastructure works, bank reinforcements and the 2nd channel widening and deepening contributed to on-going increase of tidal range in the mesohaline zone.

Spatial variation

Mesohaline zone

Low water levels lowered in the upstream parts in 1901-1920, as well as along the entire length in 1961-1980. Each time, this can be related to a combination of channel widening

and sand extraction. Two eras of major land reclamations (1901-1920 and 1941-1960) caused additional rise of the high water level.
Subtidal flats and intertidal mudflats become more narrow, more dynamic and less stable. Large parts of the transition between mudflats and tidal marshes have been reclaimed. Areas with suitable conditions for the natural cyclic tidal marsh dynamics have virtually disappeared and cross-section slopes increased.

Oligohaline zone
Low water levels dropped between 1921 and 1980. This is most prominent in 1961-1980, the era of the 1st channel deepening. Distinct rises of the high water level in the eras 1901-1920 and 1941-1960 respectively coincide with sizeable upstream land reclamations and increased flooding management of the floodplains.
In this zone as well, the channel widened and deepened, whilst the intertidal zone became more narrow. Subtidal and intertidal flats grew smaller and less stable. Vegetated areas were increasingly subject to controlled and intensified agriculture. From 1961 onwards, these parts were either entirely reclaimed, elevated as dumpsite or realigned with the river.

Freshwater zone with long retention time
Low water levels dropped between 1921 and 1960. In this period, the 'ebdiep' behind the island near Sint-Amands completely silted up, causing a relocation of the navigation channel. In 1961-1980, the low water drop is amplified by the 1st channel deepening. Rise of the high water levels accelerated in 1901-1920, while less pronounced in 1941-1960. Both downstream land reclamations and upstream canalizations produced their noticeable effect. The second period coincides with the final reclamation of the floodplains.
The estuarine habitats evolve in a similar way to those in the oligohaline zone, albeit with in relative numbers much more significant loss of the transversal water-carrying capacity of the river.

Freshwater zone with short retention time
Canalization, decreased discharge volume and construction of the Ring channel and its locks were the key factors determining water levels and tidal penetration in this part of the estuary. Mainly in 1901-1920, canalizations incited additional rise of the high water level. At the same time, the low water level rose as a consequence of silting. In this part of the estuary, mainly alluvial floodplains were reclaimed from the water-carrying width of the system.

Evaluation of hypotheses

This study focused on causal links at a general level, not aiming to explain local phenomena. The generated knowledge and understanding seeks to provide guidance for sustainable ecosystem management with a healthy balance between care for accessibility, safety and ecology. Following this approach, not all research questions as outlined by Van Braeckel et al. (2006) were dealt with. Hypotheses 1,2 and 11 require specific research not dealt with in this study. Hypotheses 4, 5, 6 and 10 are addressed within related background reports (Van Braeckel et al., 2011 en Van Braeckel et al. in prep.(b), Mikkelsen et al., 2011).

Hypothesis 3: "Channel deepening with sediment extraction (1st deepening) has a larger impact on hydrodynamics and ecology than channel deepening without sediment extraction (2nd deepening)."
This hypothesis is confirmed from our research results.

Hypothesis 7: "The sudden drop of the mean low water level after 1970 at the upstream end of the Rupel is a consequence of disconnecting the tributary Vliet." This hypothesis is rejected – closing the Vliet played a limited part only, whereas the first channel deepening of the Schelde had a larger effect.

Hypothesis 8: "The mean low water level is more sensitive to hydro morphological changes (both anthropogenic and 'natural') than the mean high water level." This statement can be refined following our results.

- MHW is mainly affected by canalisation, land reclamation, changes in discharge volume, sand extraction and sea level rise;
- MLW is mainly affected by canalisation, changes in discharge volume, sand extraction, channel deepening and widening and sea level rise;
- The effect magnitude depends on modification's nature and size relative to the river section.

Hypothesis 9: "Partial loss of discharge had a larger impact on the tidal range in the upper estuary than the canalizations."
This hypothesis is rejected. Canalizations had a larger impact on the tidal range than the loss of discharge volume.

Foto 2 Een typisch zoetwaterschor met wilgenvloedstruweel en riet langs de Schelde en de Durme. A typical fresh water marsh with willow shrubs and reed along the Schelde and Durme (Vildaphoto-Yves Adams)

Inhoud

Dankwoord/Voorwoord ..... **ii**

Samenvatting ..... **iii**

Summary ..... **ix**

Inhoud ..... **xv**

Lijst met figuren ..... **xvii**

Lijst met tabellen ..... **xix**

Lijst met intermezzo's ..... **xx**

Lijst met foto's ..... **xxi**

Verklarende woordenlijst en gebruikte afkortingen ..... **xxii**

1 Inleiding **1**

1.1 De projectdoelstellingen 2
1.2 Aanpak 2
1.3 De achtergrondrapporten 8

2 Het studiegebied **13**

2.1 Ecotopen langsheen de gradiënten 13
2.2 Beschrijving van de saliniteitszones 16
2.3 Historische evolutie per deelgebied 20

3 Ingreep-effectrelaties **35**

3.1 Rechttrekking 35

INTERMEZZO 1 Potentiële invloed van wijzigingen in de laagwaterlijn op slikareaal in de Zeeschelde **41**

3.2 Bovenafvoer 46

INTERMEZZO 2 Verschuiving van de saliniteitsgradiënt bij hoge en lage afvoer **50**

3.3 Inpoldering 54

INTERMEZZO 3 Inpoldering langsheen de Rupel: de Vliet (1D-modellering) **57**

INTERMEZZO 4 Stroomsnelheden in de Zeeschelde **61**

3.4 Verruiming 63

INTERMEZZO 5 Effectenbeoordeling op de middellange termijn **65**

3.5 Zandwinning 70
3.6 Zeespiegelstijging 73

Effect op slikareaal **77**

Effect op slikkwaliteit **77**

Effect op schorkwaliteit **77**

4 Ingrepen en effecten op het getij **79**

INTERMEZZO 8 Hindcast van de reproduceerbaarheid van ontwikkelingen in de waterbeweging **79**

5 Ingreep-getij effecten op Scheldehabitats **91**

5.1 Mesohaliene zone 92
5.2 Oligohaliene zone 93
5.3 Zoete zone met lange verblijftijd 95
5.4 Zoete zone met korte verblijftijd 96

5.5 Overzicht 98

6 Conclusies en aanbevelingen 101

6.1 Conclusie 101
6.2 Aanbevelingen 105

Referenties 106

Bijlage 1 Ondersteunende numerieke modellering: scenario's 112

Bijlage 2 Inpolderingen langs de Schelde en Westerschelde 113

Bijlage 3 Grafieken ingreep-effectrelaties 116

Lijst met figuren

Figuur 0.1 - Estuariene habitats en toename van het tijverschil (GLWS: gemiddeld laagwater bij springtij; GHWD: gemiddeld hoogwater bij doodtij. GUHW: gemiddeld uitzonderlijk hoogwater)..... iv

Figuur 0.2 - Estuarine habitats and increasing tidal range (MLWS: mean high water spring tide; MHWN: mean high water at neap tide; MEHW: mean exceptional high water)..... x

Figuur 1.1 - Geografische begrenzing Sigmamodel + locatie tijposten 3

Figuur 1.2 – Grid Nevlamodel (in deze studie werd de lijn Westkapelle-Cadzand gebruikt als zeewaartse rand) 4

Figuur 1.3 – Interactie tussen externe wijziging(en) en kwaliteit en kwantiteit van ecotopen in het Schelde-estaurium..... 6

Figuur 2.1 - Het studiegebied de Zeeschelde met saliniteitszones en locatie van tijposten 13

Figuur 2.2 – Evolutie van het dwarsprofiel van subtidaal, slik en schor overgangen ter hoogte van Galgenschoor noord (Blauwgaren). 17

Figuur 2.3 – Dwarsprofiel van subtidaal, slik en schor ecotopen ter hoogte van de Plaat van de Onbekende (nabij Temse). 18

Figuur 2.4 – Situering schorren in de zoete zone met lange verblijftijd 19

Figuur 2.5 – Evolutie van het slikoppervlak (linker Y-as), de slikondergrens (GLWS, rechter Y-as) en de vertraging van het hoogwater tov Vlissingen (uren,rechter Y-as) in de mesohaliene zone (Liefkenshoek)..... 21

Figuur 2.6 – Ecotopen van 1870-1980 van de mesohaliene zone met aanduiding van de historische inpolderingen (met inpolderingsdatum), het gemodelleerd inpolderingsgebied, tijposten en de valleirand. 22

Figuur 2.7 - Zeeschelde te Liefkenshoek: Langjarige tijevolutie (1901-2008)..... 23

Figuur 2.8 – Ecotopen van 1870-1980 van de oligohaliene zone van de Zeeschelde, de ecotopen van 1930 voor de Rupel met aanduiding van de historische inpolderingen (met inpolderingsdatum), het gemodelleerd inpolderingsgebied, tijposten en de valleirand. 24

Figuur 2.9 - Zeeschelde te Schelle-Hingene: Langjarige tijevolutie (1901-2008) 25

Figuur 2.10 - Zeeschelde/Durme te Tielrode: Langjarige tijevolutie (1901-2005) 26

Figuur 2.11 - Rupel te Walem: Langjarige tijevolutie (1901-2005) 26

Figuur 2.12- Evolutie van profieldoorsneden ter hoogte van de Plaat van Driegoten 27

Figuur 2.13 – Ecotopen van de zoete zone met lange verblijftijd van de Zeeschelde (1870-1880) en Durme (1930) voor de Durme; met aanduidingen van de historische inpolderingen en het gemodelleerd inpolderingsgebied Tielrodebroek en Groot Schoor van Hamme. 28

Figuur 2.14 - Afdamming van de Durme in drie stappen: 1954, 1967 en 1973..... 29

Figuur 2.15 – Hydrografische kaarten van de zoete zone met lange verblijftijd uit 1875 door Petit 30

Figuur 2.16 - Zeeschelde te Sint-Amands (Buggenhout in stippenlijn): Langjarige tijevolutie (1951-2005)..... 31

Figuur 2.17 - Zeeschelde te Dendermonde: Langjarige tijevolutie (1901-2008) 31

Figuur 2.18 - Durme te Waasmunsterbrug: Langjarige tijevolutie (1901-2008)..... 32

Figuur 2.19 - Evolutie van profieldoorsneden ter hoogte van Uitbergen..... 33

Figuur 2.20 - Zeeschelde te Uitbergen: Langjarige tijevolutie (1901-2005) 34

Figuur 2.21 - Zeeschelde te Melle: Langjarige tijevolutie (1901-2006)..... 34

Figuur 3.1 - Rechttrekkingen langs de Zeeschelde en Durme opgenomen in het 1D-model..... 38

Figuur 3.2 - Historische evolutie van de ondiep subtidale helling (%) langsheen de lengteas van de Zeeschelde (per OMES segment en saliniteitszone). 41

Figuur 3.3 - Gemiddeld gemeten hellingspercentage van de voornaamste slikken per saliniteitszone (2007-2008, n=33)..... 42

Figuur 3.4 - Relatie slikhelling en slikbreedteverlies of –toename bij verschillende waterstandsveranderingen ter hoogte van de slik-subtidaalgrens. 43

Figuur 3.5 - Relatie tussen procentueel oppervlak van verschillende slikgebieden per saliniteitszone en de absolute hoogte (mTAW) 43

Figuur 3.6 - Historische evolutie van het dwarsprofiel ter hoogte van a) de Plaat van Driegoten, b) de Plaat van de Onbekende – Temse met indicatie van de hoogte en slikondergrens 44

Figuur 3.7 – Situering Ringvaart rond Gent 48

Figuur 3.8 - Verloop daggemiddelde debieten te Schelle voor 2008 en 2009 (verticale lijnen geven moment van kenteringvaart aan) 51

Figuur 3.9 - Verloop langsgradiënt conductiviteit Beneden-Zeeschelde 2008 en 2009 voor natte (winter) en droge (zomer) periode, ... 51

Figuur 3.10 - Overzicht gesimuleerde inpolderingen 55

Figuur 3.11 – Tijposten in functie van de afstand langs de rivieras 56

Figuur 3.12 – Inpoldering Vliet (Topografische kaart 1: 10 000, Nationaal Geografisch Instituut, 1978-1993) 57

Figuur 3.13 - Maximale en mediane sectiegemiddelde stroomsnelheden voor vloed en eb in 98-99 (1D-modeldata uit Coen et al. 2010) langsheen de Zeescheldegradiënt..... 61

Figuur 3.14 - Dwars stroomprofiel van 2D-gemodelleerde maximale en minimale vloed- en ebstroomsnelheden stroomafwaarts de bocht nabij Temse (LO-RO: buitenbocht - binnenbocht) 62

Figuur 3.15 - Stroomsnelheidsverloop gedurende één getij in 2 slikgebieden, de Notelaer (NOT) en de Ballooi (BAL), voor verschillende hoogtelocaties (mTAW) 62

Figuur 3.16 – Overzicht ingrepen baggeren, storten en zandwinning in de Westerschelde (bron: Afdeling Maritieme Toegang)..... 64

Figuur 3.17 – Overzicht ingrepen baggeren, storten en zandwinning in de Beneden-Zeeschelde (bron: Afdeling Maritieme Toegang) 65

Figuur 3.18 - Stijging van gemiddeld hoogwater in de zomer in Oostende van 1925 tot 2004 (Verwaest et al., 2005) De punten geven de gefilterde metingen weer. De vloeiende lijn is de trendlijn doorheen die punten. Deze trendlijn wordt bepaald door de combinatie van een gemiddelde lineaire stijging van 18 cm per eeuw, met een sinusoïdale schommeling van 3,5 cm ten gevolge van het nodaal getij. .. 73

Figuur 3.19 – Westerschelde te Vlissingen: Langjarige tijevolutie 76

Figuur 4.1 – Evolutie GLW en GHW te Vlissingen na uitfiltering nodaal getij..... 80

Figuur 5.1 – Uitgestrekt pionierschor anno 1904 gekenmerkt door uitgestrekte Heen pollen ter hoogte van het huidig Groot Buitenschoor (Massart 1904) 93

Figuur 5.2 – Labiele hoogdynamische slikfase met tijdelijk sterk ontwikkelde megaribbelvelden ter hoogte van de plaat van de Onbekende in 1969 (Temse).... 94

Lijst met tabellen

Tabel 0.1 - Gebruikte terminologie voor effectbegroting bij scenarioberekeningen xxiv

Tabel 1.1 - Overzicht van de onderzoeksspecifieke stellingen (uit Van Braeckel, 2006) en hun link met de meest relevante onderzoeksthema's in deze studie 1

Tabel 1.2 - Overzicht ondersteunende numerieke modellering per onderzoeksthema 2

Tabel 1.3 – Overzicht verzamelde of gemeten en bewerkte data 5

Tabel 1.4 – Overzicht achtergrondrapporten opgemaakt in het kader van deze studie 10

Tabel 2.1 – Begrenzingen OMES-compartimenten 13

Tabel 2.2 – Ecotopenstelsel gebruikt bij historische evolutie van ecotopen 15

Tabel 2.3 – Habitatevolutie in de mesohaliene zone van de Schelde 20

Tabel 2.4 – Habitatevolutie in de oligohaliene zone van de Schelde 23

Tabel 2.5 – Habitatevolutie in de zoetwaterzone met lange verblijftijd van de Schelde en de Durme 27

Tabel 2.6 – Habitatevolutie in de zoetwaterzone met korte verblijftijd van de Schelde 32

Tabel 3.1 – Rechttrekkingen langs de Schelde en Durme (Meyvis 1977a, Taverniers 1979, Van Braeckel et al., 2006) 36

Tabel 3.2 - Overzicht voorspeld direct effect hoog- en laagwater voor scenario met rechttrekkingen t.o.v. scenario met bochten (Coen et al., 2010) 39

Tabel 3.3 - Overzicht voorspeld direct effect hoog- en laagwater voor huidige situatie t.o.v. situatie met hoger bovendebiet (Coen et al., 2010) 49

Tabel 3.4 – Invloedgebieden van de verschillende polders obv 2D-modelresultaten (Maximova et al., 2010a) 56

Tabel 3.5 - Overzicht voorspeld direct effect hoog- en laagwater voor scenario zonder terugstorten (ZT) en met terugstorten (MT) (Maximova et al., 2010a) 66

Tabel 3.6 - Overzicht voorspeld direct effect getijverschil (Maximova et al., 2010a) 66

Tabel 3.7 - Overzicht waargenomen ontwikkelingen periode 1970 – 1980 ten opzichte van de trend in de periode 1901 – 1970 hoog- en laagwater in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde 67

Tabel 3.8 - Overzicht voorspelde ontwikkelingen hoog- en laagwater in de Westerschelde op 10 jaar (RWS, 1998) 67

Tabel 3.9 - Overzicht voorspelde ontwikkelingen getijverschil in de Westerschelde op 10 jaar (RWS, 1998) 67

Tabel 3.10 - Overzicht waargenomen ontwikkelingen periode 1996 – 2006 ten opzichte van de trend in de referentieperiode hoog- en laagwater in de Westerschelde (RIKZ, 2007) 67

Tabel 3.11 - Overzicht vastgestelde ontwikkelingen periode 1996 – 2006 ten opzichte van de trend in de referentieperiode getijverschil in de Westerschelde (RIKZ, 2007) 68

Tabel 3.12 - Overzicht waargenomen ontwikkelingen periode 1996 – 2006 ten opzichte van de trend in de periode 1901-1970 (incl. shift omwille van trendbreuk jaren 1970) hoog- en laagwater in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde 68

Tabel 3.13 - Overzicht voorspelde ontwikkelingen (variant P4P) hoog- en laagwater in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde initieel en korte termijn (5 jaar) 68

Tabel 3.14 - Overzicht voorspeld direct effect hoog- en laagwater voor scenario zandwinning t.o.v. referentie (Maximova et al., 2010a) 70

Tabel 3.15 - Overzicht voorspeld direct effect voor scenario zeespiegelstijging (stijging van 60 cm van hoog- en laagwater) t.o.v. referentiescenario, met 1D- en 2D-modelinstrumentarium (Coen et al., 2010; Maximova et al., 2010a) 75

Tabel 4.1 - Begroting van het aandeel van de ingrepen op de tijevolutie tussen 1901 en 1920 langs de Zeeschelde. 81

Tabel 4.2 - Begroting van het aandeel van de ingrepen op de tijevolutie langs de Zeeschelde tussen 1921 en 1940 83

Tabel 4.3 - Begroting van het aandeel van de ingrepen op de Meirevolutie langs de Zeeschelde tussen 1941 en 1960 85

Tabel 4.4 - Effectbegroting van ingrepen langs de Zeeschelde tussen 1961 en 1980..... 87

Tabel 4.5 - Effectbegroting van ingrepen langs de Zeeschelde tussen 1981 en 2000..... 89

Tabel 5.1 Evolutie van de dubbel-decanale trends van de jaargemiddelde laag- en hoogwaterpeilen en het getijverschil in de Zeeschelde. 91

Tabel 5.2 Evolutie van de dubbel-decanale trends van de jaargemiddelde laag- en hoogwaterpeilen en het getijverschil in de Zeeschelde. 91

Tabel 5.3 – Legende bij Tabel 5.4 98

Tabel 5.4 – Overzicht theoretische impact ingrepen op hoog- en laagwater, getijverschil, areaal en kwaliteit van slikken en schorren (obv. simulatieresultaten en gegevens uit literatuur)..... 99

Lijst met intermezzo's

INTERMEZZO 1 Potentiële invloed van wijzigingen in de laagwaterlijn op slikareaal in de Zeeschelde..... 41

INTERMEZZO 2 Verschuiving van de saliniteitsgradiënt bij hoge en lage afvoer 50

INTERMEZZO 3 Inpoldering langsheen de Rupel: de Vliet (1D-modellering)..... 57

INTERMEZZO 4 Stroomsnelheden in de Zeeschelde 61

INTERMEZZO 5 Effectenbeoordeling op de middellange termijn 65

INTERMEZZO 6 Zandwinning vs. verruiming zonder terugstorten..... 71

INTERMEZZO 7 Zeespiegelstijging in de toekomst 73

INTERMEZZO 8 Hindcast van de reproduceerbaarheid van ontwikkelingen in de waterbeweging 79

INTERMEZZO 9 Morfologische ontwikkelingen Gat van Ossenisse en Middelgat en getijvoortplanting 88

Lijst met foto's

Foto 1 Contactmileu tussen slik, jong en oud schor in het Paardeschoor nabij de haven; Contact zone between tidal mudflat, young and old tidal marsh in the Paardeschoor, a managed retreat site near the Antwerp harbour (Vildaphoto-Yves Adams) viii

Foto 2 Een typisch zoetwaterschor met wilgenvloedstruweel en riet langs de Schelde en de Durme. A typical fresh water marsh with willow shrubs and reed along the Schelde and Durme (Vildaphoto-Yves Adams) xiv

Foto 3 Monding van Durme in de Schelde met op de voorgrond het voormalig vloeisysteem en huidig GOG Tielrodebroek en het schor van de Durmemonding; mouth of the Durme tributary in the Schelde, in front a former flooding zone and present flood control area (Vildaphoto-Yves Adams) 12

Foto 4 Voormalige vloeimeersen langs de Schelde in Berlare in de zoete zone met korte verblijftijd; former flooding area along the Schelde in the most upstream freshwater reach (Vildaphoto-Yves Adams) 46

Foto 5 Verdedigd slik met breuksteen en wiepen op steile Scheldeoevers in het zoetwater gebied; riprap and wood protection on steep tidal mudflats in the fresh water zone (Vildaphoto-Yves Adams) 53

Foto 6 Overspoeling van een rietschor bij vloed; high water at the reed marsh (Vildaphoto-Yves Adams) 72

Foto 7 Laterale uitbreiding van schorren is vaak niet meer mogelijk, enkel door ontpoldering zoals in Lillo (werken in uitvoering); lateral expansion of tidal marsh is often limited, exept by de-embankment such as Lillo (at the bottom) (Vildaphoto-Yves Adams) 78

Foto 8 'Erosietongen' aan de schorrand van de Notelaer (oligohalien). In een natuurlijke schorcyclus wisselen periodes van erosie van het schorplateau en pionierschorontwikkeling elkaar af; lateral marsh edge retreat with 'erosion tongues' in the low brackish reach, in a natural tidal marsh cycle an era of erosion should be followed by an era of pioneer marsh development (Vildaphoto-Yves Adams) 90

Foto 9 'De Kramp' te Baasrode, de meest uitgesproken nog bestaande meander in de Schelde, met vooraan zoetwaterschorren gedomineerd door wilgenvloedbos; De Kramp, one of the last pronounced meander in the upstream Schelde area(Vildaphoto-Yves Adams) 104

Verklarende woordenlijst en gebruikte afkortingen

Verklarende woordenlijst

Woord	Verklaring
Ecotoop	Een ruimtelijke eenheid die homogeen is wat betreft de voornaamste (a)biotische factoren die voor de biota van belang zijn.
Getijasymmetrie	De verhouding van de duur van daling (eb) van het waterpeil tov. de duur van stijging (vloed) van het waterpeil.
Laterale connectiviteit	Mate waarin de rivier contact heeft met haar vallei; de hier gebruikte maat is de verhouding tussen het overstroombaar oppervlak of stroombergend gebied in een bepaald jaar en het maximaal mogelijk overstroombaar oppervlak binnen elk deelgebied (vaak overeenkomend met de historische vallei).
Stroombergende breedte	Een maat voor de breedte van het stroombergend gebied of het valleigebied waar tijdens de winterperiode getij optreedt (intertidaal gebied en vloeisystemen die vaak in de winter onder invloed van het getij staan)
Riviersinuositeit	S is een maat voor het meanderend karakter van een rivier. S is gelijk aan de verhouding tussen de werkelijke rivierlengte (RL) en de valleilengte (VL), gemeten volgens de vallei-as
Hydraulisch vermogen	Het hydraulisch of uitschurend vermogen van een tijrivier in een sectie is het gemiddelde vloeddebiet door die sectie. Het vloeddebiet is het vloedvolume gedeeld door de duur van de vloed. De ebstroom onderhoudt de diepten in de rivier des te beter naarmate het ebdebiet groter is, en dus naarmate het vloeddebiet groter is. Het gemiddeld vloeddebiet of het vloedvolume doorheen een dwarsprofiel is dus een maat voor het vermogen van een rivier om zelf haar diepte te onderhouden of zelfs te vermeerderen (Berlamont, 1977). Naarmate het kombergend vermogen opwaarts een sectie groter is, zal hier meer vloedvolume kunnen passeren wat een toename met zich meebrengt van het hydraulisch of uitschurend vermogen.
Nodaal getij	De gemiddelde waarden van het getij variëren van jaar tot jaar in een cyclus van 18,6 jaar. Deze periode is niet te verwarren met de Saros periode van 18 jaar 11 dagen en 8 uur, die de periode aangeeft wanneer de posities van de aarde de zon en de maan weer vrijwel identiek zijn. Om verwarring te voorkomen is hier de term nodaal getij gebruikt.
(Slik)plaat	Deze term wordt in de context van Zeeschelde gebruikt voor relatief grote slikgebieden aanliggend aan de oever. Ze vertonen een duidelijke horizontale zone al dan niet met een vloedgeul. Dit verschilt van de betekenis courant gebruikt in de Westerschelde waar het enkel vrijliggende slikken(eilanden) betreft.
Normalisatie van de rivier	Normalisatiewerken van een rivier omvatten naast de rechttrekking van de rivier ook verhoging en versteviging van de dijken, 'verbeteren' van de vaargeul in functie van de scheepvaart door verdieping en uitholling van het dwarsprofiel.

Veelgebruikte afkortingen

Afkorting		Verklaring:
GHW		Gemiddeld hoogwater: gemiddelde van alle waterhoogte bij hoogwater per maand. Het jaargemiddelde hoogwater is het gemiddelde van de maandelijkse hoogwaters
GLW		Gemiddeld laagwater: gemiddelde van alle waterhoogte bij laagwater per maand. Het jaargemiddelde laagwater is het gemiddelde van de maandelijkse laagwaters
GHWS		Gemiddeld hoogwater bij springtij: gemiddelde van 24 hoogwaters bij springtij per jaar. Springtij treedt globaal 2 dagen na volle of nieuwe maan op of voor Antwerpen betekent dit het hoogwater dat volgt op de 5e maandoorgang te Ukkel te rekenen vanaf het tijdstip van nieuwe of volle maan. Het daaropvolgend LW wordt beschouwd als zijnde het laagwaterspring springtij over één jaar. Het jaargemiddelde is het gemiddelde van de maandelijkse hoogwaters bij springtij.
GLWS		Jaargemiddeld laagwater bij springtij: gemiddelde van 24 laagwaters telkens bij springtij per jaar. Springtij treedt globaal 2 dagen na volle of nieuwe maan op of voor Antwerpen het laagwater volgend op hoogwaterspring. Het jaargemiddelde is het gemiddelde van de maandelijkse laagwaters bij springtij.
GTV		Jaargemiddeld getijverschil: verschil tussen gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater over één jaar
GHT		Jaargemiddeld halftij: het gemiddelde van de hoogwater- en laagwaterstand over één jaar
NKD		*Nul Krijgsdepot* is het nulpunt van de Algemene Waterpassing van de Staf (1840-1973). Het verschil met het vergelijkingsvlak TAW bedraagt te Antwerpen -8 cm[1]. Dit verschil is locatiegebonden.
OF		Overspoelingsfrequentie is de frequentie van hoogwaters die een bepaalde hoogte bereiken binnen één jaar. Dit kan ook in percentages uitgedrukt worden tov alle hoogwaters in dat jaar
OD		Overspoelingsduur of de totale duur dat een bepaalde locatie met een welbepaalde hoogte overspoeld is gedurende één jaar. Dit kan ook in percentages uitgedrukt worden tov de duur van een jaar. Overspoelingsduur is het omgekeerde van droogvalduur.
PSU		PSU (practical salinity unit), universele dimensieloze eenheid voor saliniteit
Saliniteitszones (zie Figuur 2.1):	MH	Mesohaliene zone: zone grens met Nederland tot aan Burcht met een sterke saliniteitsgradiënt met mesohaliene zoutconcentratie van 5-18 PSU (Practical Salt Unit) of 3-11g Cl-/l.
	OH	Oligohaliene zone: zwak brakke zone tussen Burcht en Durmemonding met seizoenaal variërende zoutconcentratie van 0,5-5 PSU of 0,2-3 g Cl^-/l
	ZL	Zoete zone met lange verblijftijd: zoete zone tussen de Durmemonding en Denderkanaal met een lange verblijftijd van chloride (<0,5 PSU of <0,3 g Cl^-/l).
	ZK	Zoete zone met korte verblijftijd: zoete zone tussen de Denderkanaal en Gentbrugge met een korte verblijftijd van chloride (<0,5 PSU of <0,3 g Cl^-/l).
TAW		*Tweede Algemene Waterpassing* (TAW) is de Belgische referentiehoogte. Een TAW-hoogte van 0 meter is ongeveer gelijk aan het gemiddeld zeeniveau bij laagwater te Oostende. In Nederland gebruikt men het Normaal Amsterdams

[1] *Controlemetingen in 2010 van het historische NKD-nulpunt aan de Kattendijkzeesluis in Antwerpen doen geen twijfel rijzen aan het verschil tussen beide vergelijkingsvlakken in Antwerpen.*

Afkorting	Verklaring:
	Peil (NAP), dat 2,3 (2,33 à 2,35) meter hoger ligt dan TAW.
GOG	Gecontroleerd overstromingsgebied
GGG	Gecontroleerd gereduceerd getijgebied
OMES –nr-	OMES-compartimenten afgebakend in OMES project (Onderzoek Milieu Effecten van het Sigma plan) (Meire et al., 1997 Water, 95: 147-165.). De grenzen zijn de Belgisch-Nederlandse grens -9- Kerncentrale -10- Ketenissepolder -11- Blokkersdijk -12- Burcht -13- Rupelmonding-14- Durmemonding -15- Baasrode -16- Denderkanaal -17- Schoonaarde -18- Schellebelle -19- Ringvaart

In hoofdstukken 3 en 5 wordt onderstaande tabel gebruikt om de effecten van de scenarioberekeningen te begroten. De grootteorde van de impact van ingrepen op het hoog- en laagwater wordt hiertoe ingedeeld in klassen. Een '-' teken (negatieve klasse) geeft aan dat het effect een daling van het hoog-/laagwater veroorzaakt. Geen effect betekent in deze context geen aantoonbaar effect.

Tabel 0.1 - Gebruikte terminologie voor effectbegroting bij scenarioberekeningen

Terminologie	Afwijking in cm van waterstanden in een scenario tov referentiescenario	Klasse
Geen effect	<1 cm	
Gering effect	1-5 cm	A
Klein effect	5-10 cm	B
Matig effect	10-25 cm	C
Groot effect	>25 cm	D

1 Inleiding

Het Schelde-estuarium is in Europese context buitengewoon omwille van de verschillende systeemfuncties die het vervult. Enerzijds speelt het estuarium een belangrijke rol als ecosysteem met Europees belangrijke habitats en soorten langs de volledige saliniteitsgradiënt. Vooral het grote aandeel zoetwatergetijgebonden habitats is speciaal. Anderzijds zijn er de maatschappelijk belangrijke functies zoals toegankelijkheid van de havens, veiligheid tegen overstromingen, recreatie, …
Het estuarium wordt hier gedefinieerd als de volledige riviervallei die onderhevig is aan getij ten gevolge van de vrije verbinding met de open zee (Fairbridge, 1980). Kenmerkend voor het stroomafwaartse deel is de saliniteitsgradiënt die ontstaat door de vermenging van zeewater met het zoete water dat van het land afvloeit.

De indringing van het zoute zeewater wordt gecontroleerd door getijverschil, bovenafvoer en riviermorfologie. De zoutconcentratie vermindert stroomopwaarts, maar het effect van het getij is door onder andere het stuweffect verder stroomopwaarts voelbaar dan de saliniteit. De tijdelijke maar regelmatige overspoelingen door de getijden creëren een uniek ecosysteem, met de ontwikkeling van slikken die dagelijks overstromen op de lager gelegen intertidale gebieden en schorren op de hoger liggende delen, waar overstromingen zich grotendeels beperken tot springtijperiodes.
Slikken zijn in het algemeen vegetatieloos en overwegend gekenmerkt door zachte substraten met slibrijk tot zandig sediment. Slikken vormen doorgaans voedselrijke foerageergebieden voor watervogels. Schorren bestaan uit kleiige humusrijke sedimenten die grotendeels begroeid zijn met hogere planten met een specifieke soortensamenstelling. Ze herbergen tal van diersoorten en voorzien vele van voedsel. Geulen en kreken die door de schorren en slikken snijden staan in voor uitwisseling en contact met de hoofdgeul en zijn belangrijk voor het opgroeien en voortplanten van vissen, schaal- en weekdieren. Een niet te vergeten deel van het estuarium is de subtidale zone, die nooit droogvalt. In het bijzonder de meer laagdynamische delen in de ondiepe (0-2 m onder GLWS) en matig diepe (2-5 m onder GLWS) zone zijn belangrijk habitat voor tal van diersoorten.
Een goed functionerend ecosysteem vereist de aanwezigheid van alle kenmerkende ecotopen in een goede verhouding en dit zowel langsheen de saliniteitsgradiënt, van dijk naar vaargeul, als in de tijd. Estuariene ecosystemen zijn immers op de geologische tijdsschaal hoogdynamische systemen met een voortdurende cyclische repetitie in tijd en ruimte van sedimentatie, kolonisatie en erosie.
Door menselijke ingrepen veranderden de kenmerken van het Schelde-estuarium voortdurend. Ten gevolge van de nagenoeg complete middeleeuwse ontbossing werd het rivierdebiet onregelmatiger, met een hogere winterafvoer en de overstroming van vroeger droge gronden. In combinatie met een bevolkingstoename en veranderde landbouwmethodes werden in de 12^{e}-13^{e} eeuw de eerste bedijkingen en inpolderingen al uitgevoerd (van Strydonck & de Mulder, 2000). Vanaf de eerste industriële revolutie werd de menselijke impact op de rivier dermate omvattend dat er nog nauwelijks sprake kon zijn van een natuurlijke rivier.
De lange geschiedenis van antropogene ingrepen indachtig, en ondanks het feit dat de intergetijdengebieden langs de Zeeschelde als habitatrichtlijngebied zijn ingekleurd, is er tot op heden beperkt kwantitatief inzicht in areaalwijzigingen van ecotopen en andere effecten als gevolg van de uitgevoerde verruimingen, rechttrekkingen en andere grote ingrepen.
In de Westerschelde is de evolutie van slikken en schorren tijdens de voorbije decennia relatief goed in kaart gebracht (Cox et al., 2003; Van der Wal et al., 2008). De effecten van de verruiming van 1997-1998 zijn uitgebreid geëvalueerd in het MOVE project (van Eck & Holzhauer 2007). Voor de Zeeschelde bleek heel wat informatie verspreid te zijn over talrijke Vlaamse onderzoeks- en overheidsinstellingen en archieven.
In een eerste historische analyse van de ingreep-effectrelaties op de Zeeschelde (Van Braeckel et al., 2006) werden data verzameld, geëvalueerd naar kwaliteit en continuïteit en ecologisch geïnterpreteerd. Kennishiaten werden geïdentificeerd en een aantal onderzoeksvragen werden als stelling geformuleerd. Met betrekking tot arealen werd

vastgesteld dat slik- en schoroppervlakten langs de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren respectievelijk met 66% en 82% verminderden tussen 1850 en 2003. Sinds 1930 verdween ook 40% van het ondiep subtidaal (Van Braeckel et al., 2011). Zowel rechtstreekse habitatvernietiging als hydrodynamische en morfologische ontwikkelingen met voortschrijdende erosie als gevolg liggen ten grondslag aan het waargenomen habitatverlies. Meer bepaald rechttrekkingen, inpolderingen, dijkwerken, zeespiegelstijging, wijziging en manipulatie van het debiet van de bovenafvoer, verruiming en verdieping van de vaargeul, vaargeulonderhoud en baggerstortwerken, zandwinning en morfologische aanpassingen worden in die context vermeld. Maar hoe zit de relatie tussen de verschillende ingrepen en de autonome processen en ontwikkelingen precies in elkaar? In welke mate kunnen wij veranderingen vaststellen en welk deel daarvan kunnen wij toeschrijven aan antropogene activiteiten? Tenslotte, hoe kan de ervaring met de reeds uitgevoerde ingrepen ons helpen om in de toekomst bij het beheer negatieve effecten op de ecosysteemfuncties te minimaliseren of zelfs beter, te neutraliseren?

1.1 De projectdoelstellingen

In de eerste historische analyse van ingrepen, getij en evolutie van Zeescheldehabitats (Van Braeckel et al., 2006) werden relaties hoofdzakelijk kwalitatief besproken. Doorheen de historie traden binnen eenzelfde tijdspanne vaak verschillende antropogene ingrepen en habitatveranderingen op waardoor eenduidige oorzaak-gevolgrelaties moeilijk te leggen zijn. Bovendien kan de geleidelijke zeespiegelstijging niet eenvoudig lineair geëxtrapoleerd worden over het volledige estuarium. Een meer kwantitatieve analyse met multidisciplinaire aanpak drong zich op.

Eén van de belangrijkste doelstellingen van dit onderzoeksproject is dan ook *kwantitatieve analyse van ingreep-effect relaties* uit te werken. Hydrodynamische modelleringen (1D en 2D modellen) zijn geschikte instrumenten om effecten van verschillende rivierkundige ingrepen op tijparameters van elkaar te isoleren en/of hun relatief belang apart in te schatten. Het hoofdaandeel van dit rapport is daaraan gewijd.

Een tweede doelstelling is om *een aantal aspecten van de systeemkennis te verdiepen*. De beperkte tijanalyse van de eerste historische analyse wordt verder uitgediept zodat met de opgebouwde modelkennis trends in laagwater en hoogwater in de tijd beter kunnen begroot worden. Daarnaast is aanvullend onderzoek op ecosysteemniveau en op mesoschaal noodzakelijk om het historisch beeld van de Zeeschelde te vervolledigen en om effecten van historische ingrepen op areaal en ecologische kwaliteit beter te kunnen inschatten. Evolutie van hellingen, arealen en morfodynamiek van slikken en slikplaten is hiervan één voorbeeld (Piesschaert et al., 2008; Van Braeckel et al., 2009). Hydrodynamische modellering op mesoschaalniveau van stroompatronen op de Zeeschelde tussen de Ballooi en de Notelaer vormt een tweede voorbeeld (Maximova et al., 2010b; Van Braeckel et al., in prep.(b)).

De derde en laatste doelstelling is de *beoordeling van de stellingen* gecondenseerd uit de eerste historische analyse van de Zeeschelde en getijgebonden zijrivieren (Van Braeckel et al., 2006, Tabel 1.1).

De gegenereerde kennis wil kapstokken aanreiken aan rivierbeheerders ter ondersteuning van het duurzaam beheer voor het drieluik toegankelijkheid – veiligheid – natuurlijkheid.

Tabel 1.1 - Overzicht van de onderzoeksspecifieke stellingen (uit Van Braeckel, 2006) en hun link met de meest relevante onderzoeksthema's in deze studie

Nummer stelling	Definitie stelling	Rechttrekkingen	Bovenafvoer	Inpoldering	Verruiming	Zandwinning	Zeespiegelstijging	Duurzaam behoud subtidaal	Duurzaam behoud schor en slik
Stelling 1	Bij de huidige stort- en zandwinningstrategie kan de Plaat van Doel niet als ondiep subtidaal habitat in stand gehouden worden.					X		X	
Stelling 2	Ondiepe subtidale zones op baggerstortlocaties hebben niet dezelfde ecologische waarde als natuurlijke ondiepe zones.							X	
Stelling 3	Verdieping van de Schelde gecombineerd met sedimentonttrekking uit het systeem (1e verdieping) heeft een grotere ecologische en hydrodynamische impact dan een verdieping zonder sedimentonttrekking (2e verdieping).				X	X			
Stelling 4	Toelaten van slikvorming en ontstaan van ondiepe zones vormt de meest duurzame manier om schorren te beschermen.				(X)				X
Stelling 5	Pionierschor kan slechts ontwikkelen bij een combinatie van de juiste hydromorfologische condities (overstromingsfrequentie en –diepte, dynamiek en hellingsgraad).								X
Stelling 6	Fixatie van de slik- en schorgrens is geen duurzame manier om slik- en schorgebieden in stand te houden.								X
Herziene stelling 7[2]	De plotse val van het gemiddeld laagwater na 1970 ter hoogte van de oorsprong van de Rupel is een gevolg van de afsluiting van de Vliet.			X	X				
Stelling 8	Het gemiddeld laagwater is gevoeliger voor antropogene en natuurlijke wijzigingen dan het gemiddeld hoogwater.				X				
Stelling 9	Het gedeeltelijk wegvallen van de bovenafvoer heeft een grotere impact op het getijverschil in de Boven-Zeeschelde dan de rechttrekkingen.	X	X						
Stelling 10	De natuurlijke respons van de diepere getij-indringing, in het bijzonder het dieper landinwaarts schuiven van schorgebieden, wordt door de huidige bedijking onmogelijk gemaakt.			X			X		X
Stelling 11	Historische veranderingen in vloedduur en ebduur en dus ook in de getij-asymmetrie speelden een voorname rol in het verdwijnen van de nevengeul van Mariekerke.			X	X			X	

[2] *Oorspronkelijke Stelling 7: De abnormale stijging van het gemiddeld hoogwater na 1970 ter hoogte van de oorsprong van de Rupel is en gevolg van de afsluiting van de Vliet' vormde een erratum in Van Braeckel et al., 2006*

1.2 Aanpak

Antropogene ingrepen samen met de zeespiegelstijging hebben in de voorbije anderhalve eeuw een grote impact gehad op het duurzaam behoud van waardevolle ecotopen van de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren.
De antropogene ingrepen rechttrekking, wijziging bovendebiet, inpolderingen, verruimingen en zandwinning vormen de eerste 5 onderzoeksthema's (Tabel 1.2). De zeespiegelstijging vormt het 6e onderzoeksthema. Voor elk van deze onderzoeksthema's worden verschillende modelscenario's uitgewerkt. Op basis van de verbeterde systeemkennis wordt getracht antwoorden te bieden op de laatste 2 onderzoeksthema's: het duurzaam behoud van ondiep subtidaal gebied en duurzaam behoud van slikken en schorren. Samen vormen deze onderzoeksthema's de ruggengraat voor dit rapport en bijhorende achtergrondrapporten.
Om de potentiële effecten op het getij van de grote morfologische veranderingen van het Middelgat en het Gat van Ossenisse in te schatten, werden deze eveneens gemodelleerd in verschillende bagger/stort scenario's. Voor de detailmodellering daarvan wordt verwezen naar de 2D-rapportering (Maximova et al., 2010a). Deze ontwikkeling zal samen met het uiteindelijk tevergeefs baggeren van de drempel van Baarland begin jaren '70, verder aan bod komen in de conclusies bij de bespreking van autonome ontwikkelingen van een getijrivier zoals de Schelde.

1.2.1 Hydrodynamische modellering

Met behulp van numerieke modellering werd nagegaan wat de relatieve bijdrage op de getij-indringing in het Schelde-estuarium is geweest van verschillende menselijke ingrepen en autonome wijzigingen. Er werd voor gekozen om te vertrekken van bestaande modellen die de huidige topo-bathymetrische toestand weergeven en daarop de ingrepen uit het verleden schematisch ongedaan te maken. Het betreft dus eerder een 'hindcast' vertrekkende vanuit de huidige situatie dan een echte reconstructie van het verleden. Door de resultaten van verschillende simulaties te vergelijken worden grootteorde inschattingen (alvast) bekomen van het effect van de bestudeerde ingreep en/of evolutie. De uitgevoerde simulaties worden beschreven in Coen et al. (2010) en Maximova et al. (2010a).
Onderstaande tabel geeft een overzicht van de numerieke modellen die gebruikt zijn per onderzoeksthema. In Bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van de verschillende scenario's die per onderzoeksthema doorgerekend werden.

Tabel 1.2 - Overzicht ondersteunende numerieke modellering per onderzoeksthema

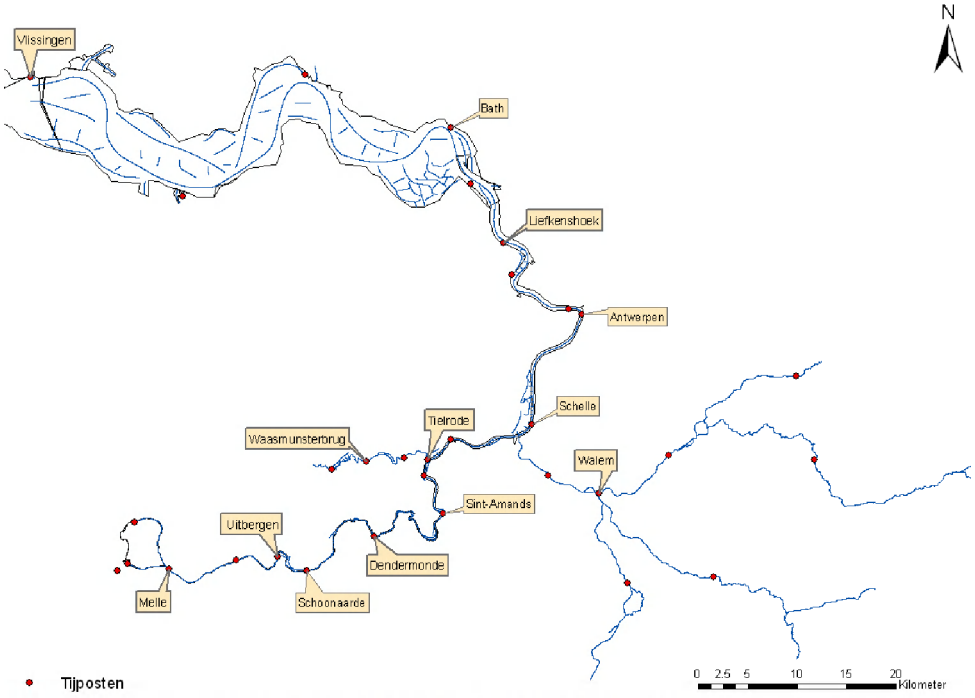
Onderzoeksthema's	**1D**	**2D**
Rechttrekking Zeeschelde en Durme	X	
Wijziging bovendebiet	X	
Inpoldering	X	X
Verruiming van de vaargeul		X
Zandwinning		X
Wijzigingen ter hoogte van Middelgat - Gat van Ossenisse		X
Zeespiegelstijging	X	X

1.2.1.1 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 (Figuur 1.1). De zeewaartse rand van het model is de lijn tussen Vlissingen en Breskens. Als modelleringsoftware wordt gebruik gemaakt van MIKE 11, ontwikkeld door Danish Hydraulic Institute. Voor een gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar het rapport betreffende de opbouw, kalibratie en validatie van dit model (THV. RA-IMDC, 2003).

Om het effect van alle hydrodynamische omstandigheden voor de verschillende scenario's te toetsen, werd geopteerd voor het uitvoeren van simulaties over een langere periode,

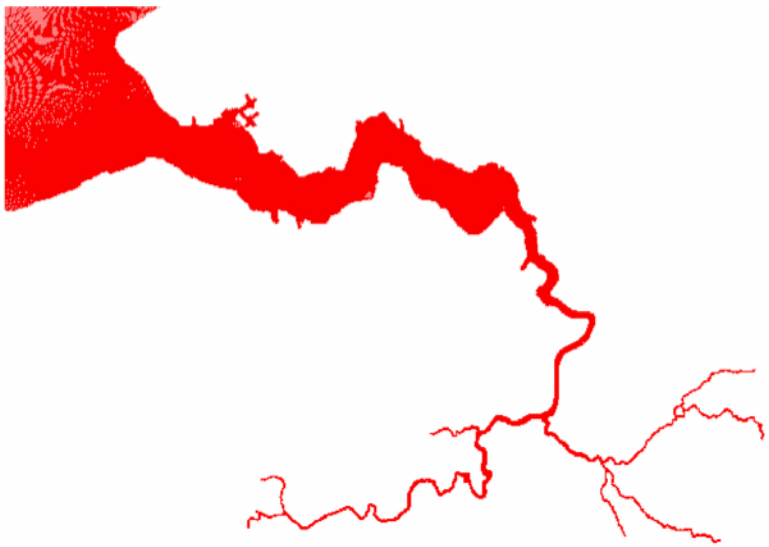
namelijk 2 jaar. De gemeten debieten en waterstanden voor de periode 1998-1999 werden opgelegd aan het model en doorgerekend. Door vergelijking van de waterstand voor een bepaald scenario ten opzichte van de referentiesituatie, werd de impact van de verschillende scenario's bestudeerd.



Figuur 1.1 - Geografische begrenzing Sigmamodel + locatie tijposten

1.2.1.2 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 Westkapele-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., 2008a&b; Maximova et al., 2009a) werden uitgevoerd. Het 2D-Nevlamodel is opgebouwd in de software SIMONA en draait wegens de uitgestrektheid van het model op een parallelle rekencluster.



Figuur 1.2 – Grid Nevlamodel (in deze studie werd de lijn Westkapelle-Cadzand gebruikt als zeewaartse rand)

Voor de scenario's die in dit rapport bestudeerd worden, werd gebruikt gemaakt van de periode 19/06/2002 tot 17/07/2002. Te Westkapelle en Cadzand zijn de gemeten waterstanden gebruikt, aan de opwaartse zijde van het modelgebied zijn 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 te Merelbeke voor beschikbaar zijn. Uit de gevoeligheidsanalyse (Ides et al., 2008) is immers gebleken dat 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 de waterstanden, de debieten en soms de stroomsnelheden berekend door het model geanalyseerd.

1.2.2 Verbeterde systeemkennis in functie van duurzaam behoud van slik, schor en subtidale ecotopen

Om uitspraak te kunnen doen over het duurzaam behoud van ondiep subtidaal gebied, slik en schor is een verbeterde systeemkennis van vitaal belang. Een aantal kennishiaten zijn in de eerste studie (Van Braeckel et al., 2006) aangehaald. Kennishiaten die daar bovenop werden geïdentificeerd in de loop van dit project, zijn aan dit onderzoek toegevoegd.
Het aanvullend beschrijvend onderzoek op ecosysteemniveau richtte zich op volgende thema's (Tabel 1.3):

Macroschaal analyse

- Gebiedsdekkende analyse van de evolutie van slik, schor en subtidale ecotopen
- Analyse van intertidale en subtidale profielen en hellingen
- Evolutie van de toestand van de oevers
- Evolutie van de geometrie van de vallei

Mesoschaalanalyse

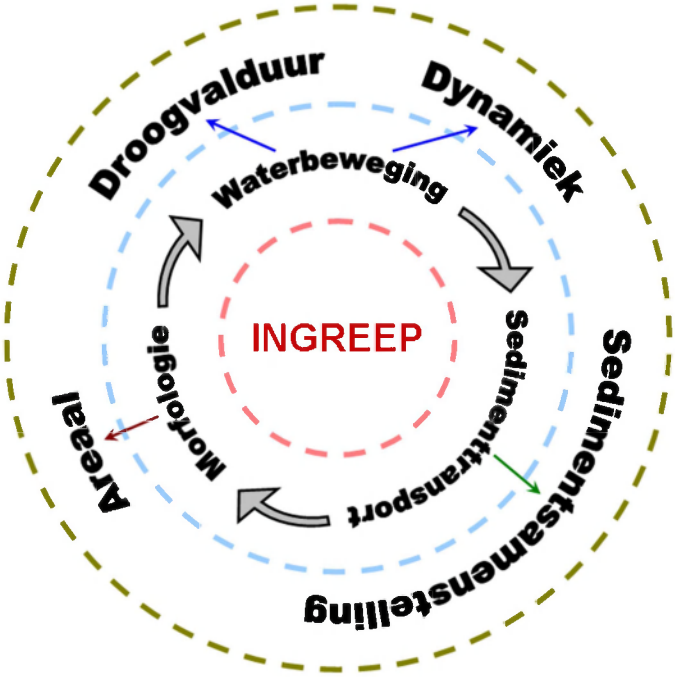
- Evolutie van de geomorfologie op de slikplaten,
- Analyse van de hydro- en morfodynamiek van enkele schorgebieden
    - Bodemonderzoek,
    - hydrologie, geomorfologie, landgebruik, …

Tabel 1.3 – Overzicht verzamelde of gemeten en bewerkte data

Schaal-niveau	Thema	Verzamelde data/ meetcampagne	Data	Tijdsreeks
Macroschaal analyse	Habitat-areaal	Areaalevolutie	Ecotopenkaarten	1850-2001
	Habitat-kwaliteit	Dwarsprofielanalyse	Evolutie helling	1930-2003
		Evolutie van de bathymetrie	Sedimentatie-erosie bathymetrie	1930-2003
		Slik-schorprofielen	Hoogtemetingen; slik-schor grenzen	1969-2009
		Oeverbeoordeling	Karakterisatie oeverbescherming slik en vegetatie	1992-2009
	Getij	Tijevolutie	Jaargemiddelde tijparameters	1900-2000
Mesoschaal analyse	Slik-morfologie	Geomorfologische slikeenheden	Sliktype (textuur); ribbelstructuur; kreekmorfologie	1875-2008
		Hoogteveranderingen slikken	Sedimentatie/erosie (laseraltimetrie)	2001-2007
	Hydro-dynamiek slik	Link hydrodynamiek-morfologie-ecologie in oligohaliene zone (Notelaer-Ballooi)	Stroomsnelheden, slikmorfologie, benthosdensiteiten	jun/09
	Schor-toestand	Schorareaal veranderingen	Oppervlakteëvolutie en landgebruik	1850-2009
		Schorgeomorfologie	Kreekpatroon, -ontwikkeling en -ouderdom;	1930-2003
		Schorbodems	Morfologische, fysische en chemische kenmerken	2008-2010
	Hydro-dynamiek schor	Saliniteit	Conductiviteit van het overspoelingswater	1 maand
		Overspoelings- en drainageregime	Overspoelingsfrequentie en -duur	1 maand

1.2.3 Sterktes en zwaktes van de aanpak

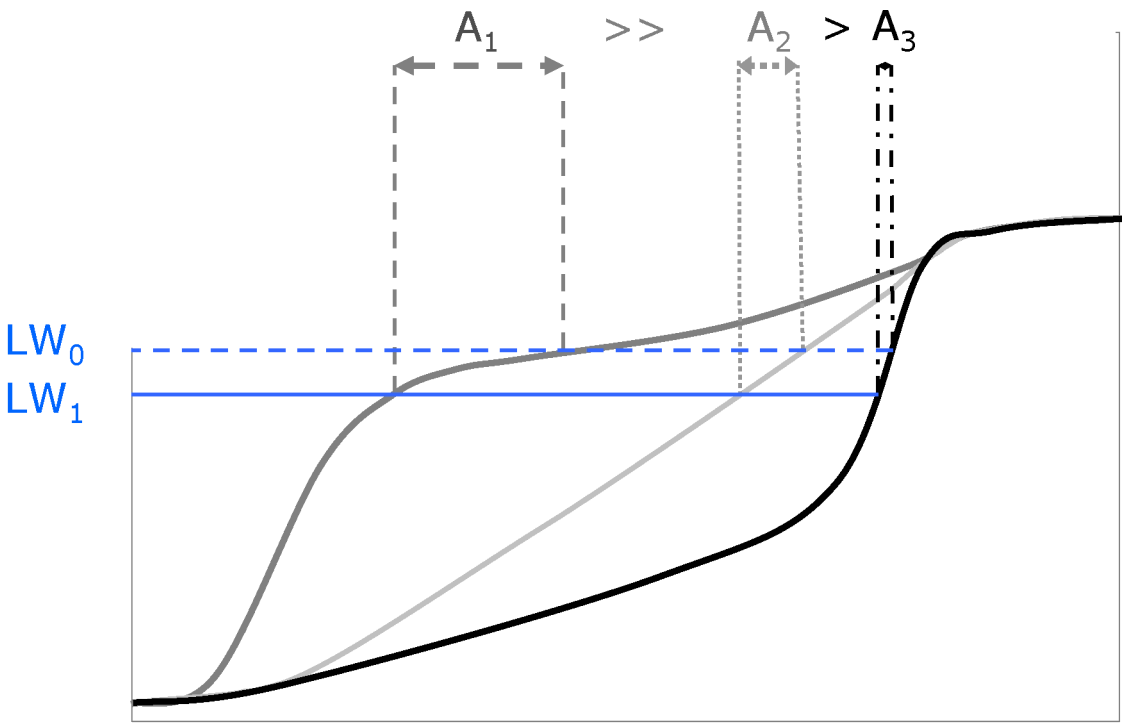
De bedoeling is dus na te gaan wat het aandeel is van discrete (menselijke) ingrepen en van de continue autonome evolutie in de opgetreden wijzigingen van de getij-indringing en de hiermee gepaard gaande vastgestelde evolutie van de ecotopen in het Schelde-estuarium.



Figuur 1.3 – Interactie tussen externe wijziging(en) en kwaliteit en kwantiteit van ecotopen in het Schelde-estaurium

Figuur 1.3 toont hoe (externe) wijzigingen opgelegd aan het estuarium zich via de zogenaamde 'hydromorfologishe motor' doorvertalen richting ecotopenkwantiteit en -kwaliteit. Door de complexiteit, eventuele terugkoppelingen, mogelijks na-ijlende effecten maar zeker ook het verre van helemaal in de vingers hebben van de verschillende optredende processen, is het afleiden van eenduidige en allesomvattende ingeep/effect-relaties onmogelijk. Om ons niet te verliezen in dit kluwen van interagerende processen alsook terugkoppelmechanismen werd er voor geopteerd om enkel onmiddellijke effecten van ingrepen op de waterbeweging te begroten en deze vervolgens door te vertalen richting slik, schor en ondiep subtidaal gebied. Het moet duidelijk zijn dat het onmogelijk is om aan de hand van alleen waterbeweging (hoe eenduidig ook) de evolutie van de ecotopen in termen van dynamiek, sedimentsamenstelling, areaal en droogvalduur volledig te analyseren, laat staan te kwantificeren. Mogelijke na-ijleffecten komen kort aan bod a.d.h.v. literatuuronderzoek (indien voorhanden).
De nadruk ligt zo op het effect van een externe wijziging op de getij-indringing en de doorvertaling hiervan naar de (historisch) aanwezige ecotopen. Dat een ingreep, bv. een inpoldering, naast een mogelijk effect op de getijwerking, zeker ook een afname van het ecotopenareaal met zich meebrengt door rechtstreekse vernietiging wordt niet als minder relevant beschouwd, in tegendeel zelfs, maar vormt hier niet de hoofdvraag.

Figuur 1.4 illustreert de moeilijkheid om veranderingen in de waterbeweging éénduidig door te vertalen naar ecotoopveranderingen. De illustratie toont het verschil in effect op ecotoopkwantiteitverandering ten gevolge van eenzelfde laagwaterstandsdaling. Bij een bol slikprofiel (flauwe helling) is de areaalwinst of -verlies aan slik het grootst. Bij een recht slikprofiel is dit minder en bij een hol profiel (steilste helling) bijna verwaarloosbaar. Het INTERMEZZO 1 gaat verder in op de ruimtelijke en temporele verschillen in de Zeeschelde van het effect van laagwaterspiegeldalingen op mogelijke slikwinst- of verlies.



Figuur 1.4 – Illustratie van het verschil in effect van een laagwaterdaling (op slikbreedte (A) bij een bol (1), recht (2) en hol dwarsprofiel. Een daling van het laagwater LW_0->LW_1 zorgt voor een grotere toename in slikbreedte en -areaal A_1 bij een bol slikprofiel dan bij een recht profiel A_2 of een hol profiel A_3

1.3 De achtergrondrapporten

In de eerste historische analyse van de Zeeschelde (Van Braeckel et al., 2006) is een aanzet gegeven tot een ecotopenstelsel specifiek voor de brakke en zoete estuariene ecotopen van de Zeeschelde. Vervolgens wordt de evolutie van die ecotopen kwalitatief geschetst op basis van het toenmalig beschikbaar kaartmateriaal. Daarnaast is een overzicht gemaakt van de evolutie van de 10-jarige gemiddelde getijkarakteristieken, van geometrische variabelen van de vallei en het intergetijdegebied en hun potentiele relevantie voor de scheldehabitats. De belangrijkste ingrepen in de rivier zijn opgesomd en tot slot worden onderzoekshypothesen geformuleerd met betrekking tot ingreep-effect relaties.

Het doel van deze vervolgstudie is om *ingreep-effect relaties meer kwantitatief te analyseren*, de resultaten aan te vullen met later beschikbaar gekomen kaartmateriaal en metingen (waaronder de jaargemiddelde-tijkarakteristieken) en om de geformuleerde stellingen te onderbouwen en te beoordelen gebaseerd op onderzoeksresultaten.

In het eerste jaar gaat Piesschaert et al. (2008) in op de evoluties van het subtidaal in de Zeeschelde. Uit de analyse van de periodes 1930-1960-2001 blijkt dat de arealen aan ondiep en matig diep water sterk verminderden, vooral in de zoete zone met lange verblijftijd. Een vijfde tot een derde van het subtidaal gebied werd omgezet naar een diepere subtidale klasse (0-2m, 2-5m, >5m). Vooral tussen de Durme- en Rupelmonding verdween hierbij veel ondiep water gebied. Uit de hellinganalyses van het subtidaal gebied blijkt dat stroomafwaarts Dendermonde de gemiddelde helling in de periode 1930-1960 nauwelijks toenam. Stroomopwaarts Dendermonde kon in die periode wel al een eerste versteiling waargenomen worden. Na 1960 is de toename van de helling groter. Tegen 2001 verdubbelt de subtidale hellingsgraad stroomopwaarts Baasrode. In het ondiep subtidaal gebied versteilt de helling tussen Antwerpen en Baasrode gemiddeld van 4° naar 6°. Stroomopwaarts Baasrode versteilt de hellingsgraad van ongeveer 8° tot 14° en zelfs 18° meest stroomopwaarts. Dit beïnvloedt ookt sterk de bovenliggende intertidale gradiënt. Deze intertidale gradiënt wordt besproken in het tweede deel van Piesschaert et al. (2008). De slik-schorraaien in de Beneden-Zeeschelde die in 1967 topografisch werden opgemeten door P. De Smedt (De Smedt, 1969) zijn opnieuw ingemeten. Hieruit blijkt dat de schorbreedte overal sterk is afgenomen, vaak door rivierwaartse dijkverschuivingen. Tevens is de schorhelling toegenomen. De relatie tussen breedte en helling van schor en intertidale zone (slik en schor) vertoont een exponentieel dalend verband. Dit laat vermoeden dat een kritische breedte-drempel bestaat. Boven deze drempel blijfven de helling en de erosiedruk laag, onder deze drempel neemt ze snel toe. Afgaand op de hier gebruikte profielen ligt de kritische drempel breedte van het totale intertidale gebied (slik en schor) ergens tussen 100 en 200 meter. Voor het schor is een breedte 50 a 75 meter een grenswaarde waaronder de helling sterk toeneemt.
Binnen dit eerst jaar zijn de eerste numerieke doorrekeningen met 1D-modellering, uitgevoerd voor een aantal scenario's om het relatief effect van individuele ingrepen/wijzigingen op de waargenomen evoluties in het estuarium te achterhalen. Deze modelsimulaties worden uitgebreid besproken in Coen et al. (2010). Om diezelfde scenario's door te rekenen met het 2D-NEVLAmodel zijn een gevoeligheidsonderzoek en daaropvolgend een kalibratieslag van het model noodzakelijk (Ides et al., 2008).

In het tweede jaar focust Van Braeckel et al. (2009) meer op de evolutie en de huidige habitatdiversiteit van slikken en schorren op ruimtelijke mesoschaal. Om een beeld te krijgen van de dynamiek en diversiteit binnen het slikhabitat zijn voor verschillende slik- en plaatgebieden geomorfologische karteringen uitgevoerd. De grote vaak zandige plaatcomplexen van eind 19^{e} eeuw zijn verdwenen. Het verdwijnen van een slikplaat is vaak voorafgegaan door een periode met ribbelstructuren en zelfs duinen op grote delen van het slik. Dit wijst op een hogere dynamiek van de lage slikzones (bv. plaat van Temse in 1969). Uitbreiding van slikgebieden was meestal gelinkt aan een verschuiving van de voorliggende (vaar- of neven-)geul weg van het slik.

Voor het schorhabitat is ingezoomd op vier schorgebieden gespreid over de verschillende saliniteitszones (MH:Schor van Ouden Doel, OH:Notelaer, ZL: Groot Schoor, ZK:schor van Zele & Nieuw schor van Appels).
Voor elk schorgebied is voor de periode 1945-2001 de evolutie van de schoroppervlakte, ouderdom en oorsprong van kreekpatronen in kaart gebracht. Voor elk schorgebied werden saliniteitsvariatie, hydrodynamiek, overspoelings- en drainageregime, bodemsamenstelling en -ontwikkeling nader onderzocht om de bevindingen van historische evoluties te onderbouwen en mogelijke oorzaken van habitatdiversiteitveranderingen in beeld te brengen. De ecologische kwaliteit van schorgebieden wordt immers sterk bepaald door de abiotische variatie in het gebied. Saliniteit verschilt niet alleen met de afstand tot de zee maar varieert ook binnen een schorgebied afhankelijk van de topografie/bodem en ligging (oeverwal- komgrondverschillen). Het overspoelingsregime is afhankelijk van het tijdstip binnen de springtij-doodtijcyclus en de afstand tot de monding. Daarnaast is er een duidelijk onderscheid tussen het overspoelingsregime in de pionierzone (elk hoogwater) en op het schorplateau. Binnen het schorplateau zijn de lokale topografie (komgrond & oeverwal) en ligging t.o.v. grote kreken van belang. Een komgrondlocatie kent doorgaans langere overspoelingsduren dan verwacht op basis van de tijhoogte in de rivier. Daarenboven zorgt het lager drainageniveau verder van de schorrand voor een globaal meer gedempte situatie. Verder blijken grote, brede kreeksystemen de overspoelingsfrequentie op het omliggende schor meer te verhogen dan smallere, ondiep vastgelegde kreeksystemen. Dit alles benadrukt het belang van voldoende grote schorgebieden (met potentie voor kom-oeverwalsystemen) en een hoge kreekverwevenheid (grote basiskreken en voldoende vertakkingen) om een hoge habitatdiversiteit en -kwaliteit van een schor te realiseren (Brys et al., 2005).
In de focusgebieden is ook gekeken naar aangroei en afslag van het schor. Bij de vergelijking tussen de gebieden voor de voorbije eeuw blijkt dat er in stroomafwaartse richting meer schoraangroei is. In stroomopwaartse richting is een groter aandeel van de kreken (soms tot meer dan de helft) van antropogene oorsprong is door voormalig landbouwgebruik. Zoetwater schorren waren vaak voorzien van een zomerdijk en in gebruik als hooi-, of weiland soms zelfs voor akkerbouw. Meer stroomafwaarts was dit veel minder het gebruik. Op het schor van Ouden Doel (mesohaliene zone) werden schorren met en zonder breuksteen als schorrandverdediging vergeleken, respectievelijk aan Belgische en Nederlandse zijde. Het schor zonder breuksteen kende perioden van aangroei en afslag resp. 1944-64 en 1969-2003, terwijl met breuksteen geen periode met afslag kent. De kreekbreedte en de vertakkingsgraad van twee vergelijkbare kreken rond 1966 is groter in het onverdedigd gebied(NL) dan het verdedigde gebied (B).
Binnen de 4 focusgebieden is tevens de bodemvariatie en –ontwikkeling op schorren en het aanliggend slik onderzocht. Dit is uitgebreid beschreven in Mikkelsen et al. (2009a, 2011, in prep.). Eén van de vaststellingen is de afname van de diepte van gereduceerde gronden meer stroomopwaarts. Dit hengt samen met de sedimentsamenstelling en met de grotere bodemvariatie in de meer stroomafwaartse gebieden van de Zeeschelde.

Op macroschaal werd een globale ecologische oeverstructuurbeoordeling uitgevoerd en vergeleken met de toestand in 1992 (Hoffmann et al., 1997a). Het aandeel van de goede tot zeer goede oevers neemt doorgaans af, uitgezonderd de zoete zone met korte verblijftijd door de recente ontwikkelingen in het traject Melle Gentbrugge dat qua oeverkwaliteit sterk verbeterd is. Het aandeel oevers met matige kwaliteit is toegenomen in elke deelzone van de Zeeschelde. Het aandeel slechte kwaliteitsklasse daalde in de mesohaliene en zoete zone met korte verblijftijd. De goede en zeer goede klassen zijn vooral in de zoete zone met lange verblijftijd.terug te vinden.

Een pilootstudie werd opgestart rond Notelaer en Ballooi in de oligohaliene zone. Voor deze zone werd een verfijnd 2D NEVLAmodelgrid uitgewerkt en gekalibreerd en zijn bijkomende metingen van stroompatronen en waterhoogtes uitgevoerd. Daarnaast is de geomorfologie van het slik in kaart gebracht en werd een beperkte benthos- en hyperbenthos bemonstering uitgevoerd. De pilootstudie Notelaer-Ballooi verschaft eerste inzichten in de relaties tussen

de opbouw van de slikecotopen en hydrodynamische variabelen (Plancke et al., 2009a, Plancke et al. 2009b, Maximova 2010b, Van Braeckel et al. in prep.(b)).

Naast habitatdiversiteit en –kwaliteitsveranderingen is ook aandacht besteed aan de evolutie van slik, schor, vloeisteem en buitenpolder of GOG-arealen (Van Braeckel et al. In voorbereiding).
Omdat habitatevoluties ook nauw samenhangen met de evolutie van het getij maakte Peeters et al. (2011) een uitgebreide analyse van de getijevolutie in de Zeeschelde in de 20e eeuw

Met ondersteunende hydrodynamische modelleringen zijn enkele modelscenario's uitgewerkt en doorgerekend met het 1D-SIGMAmodel en het aangepaste 2D-NEVLAmodel. De uitgevoerde simulaties (Coen et al., 2010; Maximova et al., 2010a) hebben tot doel de besluiten en hypothesen uit Van Braeckel et al. (2006) te toetsen en om te trachten de bijdrage van individuele ingrepen/wijzigingen op de waargenomen evolutie van de waterstanden in het estuarium te begroten.

Het 3e jaar is vooral een synthesejaar. Daarnaast zijn de areaalevoluties verder geanalyseerd op basis van nieuwe data en wordt de historische evolutie van de kwalitatieve elementen van de ecotopen in beeld gebracht. Ook de meest recente ecotoopkaarten (2010, verwerkt in 2012) zijn aan deze analyse toegevoegd. Ecotopen zijn bij deze laatste kaarten tot op een lager hiërarchisch niveau (2de en 3de niveau, Van Braeckel et al. 2006) verwerkt. Een uitgebreide beschrijving en analyse wordt geraporteerd in Van Braeckel in prep.(a).

Tabel 1.4 – Overzicht achtergrondrapporten opgemaakt in het kader van deze studie

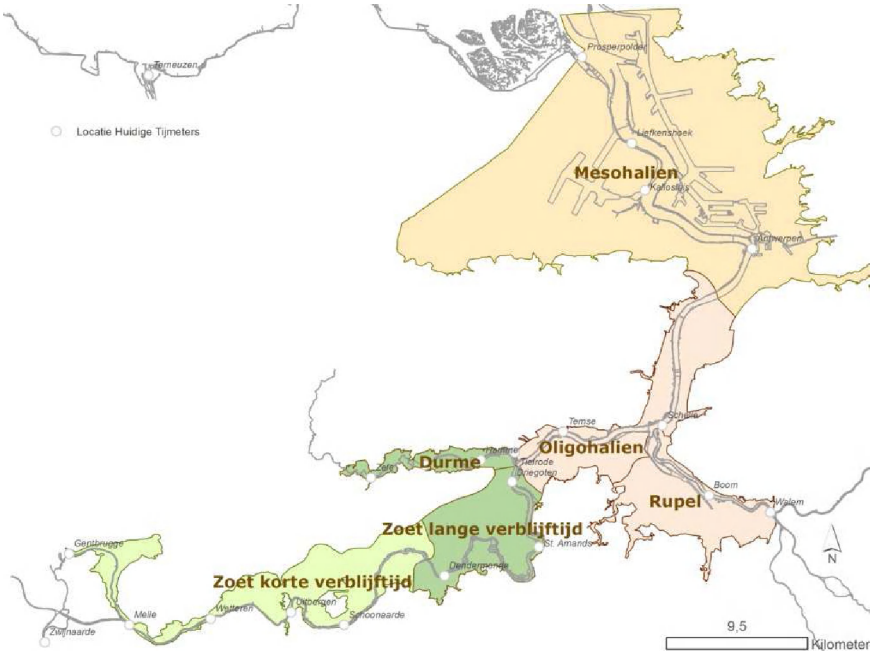
Jaar	Auteurs	Titel	Bijkomende informatie
2006	Van Braeckel, A., Piesschaert, F. & Van den Bergh, E.	Historische analyse van de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren: 19e eeuw tot heden.	Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België. INBO.R.2006.29.
2008	Piesschaert, F., Dillen, J., Van Braeckel, A. & Van den Bergh, E.	Inventarisatie en historische analyse Zeescheldehabitats (vervolgstudie eerste jaar)	Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België. INBO.IR.2008.29.
2010	Coen, L., Peeters, P. & Mostaert, F.	Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde-Ondersteunende numerieke 1D-modellering	Versie 3_0. WL rapporten, 713-21, Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België. Deelrapport 1.
2008	Ides, S., Vanlede, J., De Mulder, T. & Mostaert, F.	Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde-Gevoeligheidsonderzoek 2D modellen	WL rapporten, 713-21, Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België. Deelrapport 2.
2010	Maximova, T., Ides, S., Plancke, Y., De Mulder, T. & Mostaert F.	Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde-Scenario analyse 2D model.	WL rapporten, 713-21, Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België. Deelrapport 3.
2009	Plancke, Y., Ides, S. & Mostaert, F.	Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde-Verkennende vlottermetingen Ballooi en Notelaer.	WL rapporten, 713-21, Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België. Deelrapport 4.

Jaar	Auteurs	Titel	Bijkomende informatie
2009	Plancke, Y., Ides, S. & Mostaert, F.	Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde-Vlottermetingen Ballooi en Notelaer Juni 2009.	WL rapporten, 713-21, Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België. Deelrapport 5.
2009	Mikkelsen, J.H., Dillen, J., Van Braeckel, A. & Van den Bergh, E.	Guidelines for site and soil description of estuarine tidal mudflats and marshes.	Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België. INBO.IR.2009.32.
2009	Mikkelsen, J.H., Dillen, J., Van Braeckel, A. & Van den Bergh, E.	Guidelines for auger description of estuarine tidal mudflats and marshes.	Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België. INBO.IR.2009.33.
2009	Van Braeckel, A. Mikkelsen, J.H, Dillen, J., Piesschaert F., Van den Bergh, E. Coen. L., De Mulder, T., Ides S., Maximova, T., Peeters, P., Plancke, Y en Mostaert, F.	Inventarisatie en historische analyse van Zeescheldehabitats-Vervolgstudie: resultaten van het tweede jaar.	Instituut voor Natuur en Bosonderzoek & Waterbouwkundig Laboratorium, Brussel, België. INBO.IR.2009.34.
2010	Maximova, T., Plancke, Y., Vanlede, J. & Mostaert, F.	Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde-Kalibratie en validatie van het hydrodynamisch 2 dimensionaal numeriek model: pilootstudie Notelaer en Ballooi	WL Rapporten, 713_21. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium
2011	Peeters P., Levy Y., Plancke Y., Coen, L., Taverniers, E., Mostaert F.	Langjarig overzicht van jaarlijkse getijkarakteristieken in het Zeescheldebekken: Prosperpolder - Liefkenshoek - Antwerpen - Schelle - Temse - St-Amands - Dendermonde - Schoonaarde - Uitbergen - Melle - Tielrode - Waasmunsterbrug - Zele - Walem	WL Rapporten, 833_02. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
2009 2011	Mikkelsen, J.H., Van Braeckel, A., Dillen, J. & Van den Bergh, E.	Inventarisatie en historische analyse van Zeescheldehabitats-Eigenschappen van brakke en zoete slik en schor bodems van de Zeeschelde estuarium	Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België. INBO.IR.2009.30.; INBO.R.2011. 46
In prep.	Van Braeckel, A. et al.	Ecotopen van de Zeeschelde-evolutie tussen 19e eeuw en heden	Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België. INBO. R.in prep. (a)
	Van Braeckel, A, Mikkelsen, J.H., Speybroeck, J., Dillen, J. & Van den Bergh, E.	Pilootstudie: Onderzoek van slikecotopen op Notelaer en Ballooi in relatie tot de stroompatronen	Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België. INBO. R. in prep.(b)

Foto 3 Monding van Durme in de Schelde met op de voorgrond het voormalig vloeisysteem en huidig GOG Tielrodebroek en het schor van de Durmemonding; mouth of the Durme tributary in the Schelde, in front a former flooding zone and present flood control area (Vildaphoto-Yves Adams)

2 Het studiegebied

Het studiegebied omvat alle huidige getijbeïnvloede delen van de Zeeschelde (van de grens met Nederland tot de stuw in Gentbrugge), de Durme (tot de dam nabij het Molsbroek in Lokeren) en de Rupel (tot in Rumst). Ook alle door de rivier beïnvloede gebieden binnen de vallei van de Zeeschelde, Rupel en Durme, zoals vloeisystemen en alluviale gebieden, behoren tot het studiegebied. In het kader van enkele ingreep-effect relaties wordt ook gekeken naar de Westerschelde en dan in hoofdzaak de mesohaliene zone nabij Bath.



Figuur 2.1 - Het studiegebied de Zeeschelde met saliniteitszones en locatie van tijposten

2.1 Ecotopen langsheen de gradiënten

2.1.1 De longitudinale estuariene gradiënt

Saliniteit is een determinerende variabele in de longitudinale estuariene gradiënt. In het Belgisch deel van de Schelde onderscheiden we mesohaliene (brakke), oligohaliene (zwak brakke) en zoetwater ecotopen. De grenzen van de saliniteitzones zijn weergegeven in Figuur 2.1. De brakke of mesohaliene zone reikt van de grens met Nederland tot aan Burcht, de zwak brakke of oligohaliene zone van Burcht tot aan de Durmemonding (inclusief de Rupel) en de zoete zones zijn stroomopwaarts van de Durmemonding (inclusief de Durme). Op basis van de verblijftijd van chloride kan de zoete zone onderverdeeld worden in de zoete zone met lange verblijftijd, van de Durmemonding tot Dendermonde en de zoete zone met korte verblijftijd van Dendermonde tot bij Gentbrugge. Binnen de saliniteitszones is een onderverdeling gemaakt in OMES-compartimenten deelgebieden gebruikt in de modelleringstudie van Soetaert & Herman, 1995.

Tabel 2.1 – Begrenzingen OMES-compartimenten

OMESnr	***OMESnr***		
9	Bel.-Ned. Grens - Kerncentrale	15	Durmemonding - Baasrode
10	Kerncentrale - Ketenissepolder	16	Baasrode – Denderkanaal
11	Ketenissepolder - Blokkersdijk	17	Denderkanaal - Schoonaarde
12	Blokkersdijk - Burcht	18	Schoonaarde - Schellebelle
13	Burcht - Rupelmonding	19	Schellebelle - monding Ringvaart
14	Rupelmonding - Durmemonding	19trGM	monding Ringvaart -stuw Gentbrugge

2.1.2 De laterale gradiënt

Langs de lateraal gradiënt wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende ecotopen op basis van getij- en overspoelingsregime (Tabel 2.2,Figuur 2.2).

De ***subtidale gebieden*** staan permanent onder water en zijn ingedeeld in ecotopen in functie van de diepte bij gemiddelde laagwaterstand bij springtij (GLWS). Stroomopwaarts Dendermonde beïnvloedt de bovenafvoer sterk de gemiddelde laagwaterstand en wordt de laagste van de 3 historische beschikbare laagwaterparameters (GLW, GLWS of GLWD) genomen.

De dagelijks overspoelde ***slikken*** in het intertidaal zijn ingedeeld aan de hand van de gemiddelde *overspoelingsduur* (OD, het omgekeerde van droogvalduur). Laag slik is bovenaan begrensd door de 75% overspoelingsduurhoogte (of 25% droogvalduur). De 25% overspoelingsduurhoogte vormt de grens tussen middelhoog en hoog slik.

Binnen deze slikzone kunnen zowel harde als zachte substraten terug te vinden zijn, gaande van harde veenbanken, breukstenen tot slibrijke slikken (zoals gebruikt in de ecotopenkartering van 2010).

Op basis van de plaatselijke dynamiek kunnen ook nog hoogdynamische en laagdynamische slikken onderscheiden worden. Aangezien hiernaar nog weinig onderzoek is gebeurd, wordt dit onderscheid in de Zeeschelde nog niet gemaakt. Algemeen staat binnen eenzelfde riviertraject het laag slikecotoop onder grotere hydrodynamische druk dan de hoger gelegen slikzones vanwege de sterke relatie tussen diepte en stroomsnelheid (Maximova et al., 2010). Bij zandig substraat zijn hoogdynamische slikecotopen vaak gekenmerkt door ribbelstructuren. Deze ecotopen vertonen vaak lagere densiteiten aan bodemdieren en zijn ook voor minder soorten geschikt (Ysebaert, 2000; Van Braeckel et al. in prep.(b)). Ook op hoog slik is de dichtheid van bodemdieren vaak lager omwille van de toenemende droogtestress (Bouma et al., 2005). In de meer stroomopwaartse delen van de Zeeschelde is deze droogtestress op hogere slikken minder uitgesproken omdat deze slibrijker zijn en tijdens laagtij beter water vasthouden (INBO OG Ecosysteemdiversiteit, 2011). In de Zeeschelde zelf zijn de slikken meestal rijker aan bodemdieren dan de subtidale gebieden. In de getijgebonden zijrivieren is dit patroon minder uitgesproken. De relatieve densiteiten en soortensamenstelling in hoog, middelhoog en laag slik veranderen in stroomopwaartse richting. In de brakke en zoete zones zijn hoog en middelhoog slik de rijkste zones voor bodemdieren, zowel naar dichtheden als soortenrijkdom. In de oligohaliene zone en de Rupel is hoog slik schaars en daardoor in het verleden minder goed bemonsterd. Toch wijzen de resultaten erop dat de densiteit en soortenrijkdom voor bodemdieren in deze zone het grootst zijn in het middel hoog slik. In de Durme kan voorlopig niet gedifferentieerd worden tussen de slikzones omdat de fysische informatie die nodig was om de ecotopen af te bakenen tot voor kort niet voorhanden was.

De intertidale gebieden die met hogere planten begroeid zijn, vormen het **schor**. De pionierschorzone overspoelt bijna bij elk getij met uitzondering van sommige hoogwaters bij doodtij, hogere schorplateau's overspoelen minimaal tijdens springtijperioden. In de schorvegetaties zijn naast saliniteit ook overspoelingsduur (OD) en frequentie (OF) naast het drainage regime bepalend voor de samenstelling van plantengemeenschappen (Van Braeckel et al., 2009). In historische context wordt ook het onderscheid gemaakt tussen de 'natuurlijke' of *onbedijkte schorren* en de bedijkte schorren. *Bedijkte schorren* overspoelen net als andere schorren bijna ieder hoogtij en zeker bij elke springtijperiode maar zijn gedeeltelijk of volledig omringd door een zomerdijk. In het laatste geval zijn ze voorzien van een doorsteek in de zomerdijk (Vanallemeersch et al., 2005).

Vloeisystemen zijn door de mens gecreëerde met rivierwater overstroombare gebieden omringd door een zomerdijk, winterdijk of begrensd door de valleirand. In tegenstelling tot bedijkte schorren is de overstroming volledig controleerbaar minimaal in de zomerperiode.

Het merendeel van de tijd zijn ze supratidaal gebied dat slechts overstroomt bij extreem hoge bovenafvoeren en/of springtijen. Onder de vloeisystemen onderscheiden we twee systemen: een vloeisysteem in de enge zin van het woord en een gecontroleerd vloeisysteem. Het *vloeisysteem sensu strictu* is gekarteerd als een gebied dat door een zomerdijk gescheiden is van de rivier en waarbij de afvoer van het grachtenstelsel was afgesloten met een terugslagklep. Enkel in het winterhalfjaar werden ofwel dijken

doorbroken ofwel stuwen open gezet om het getij dagelijks binnen te laten. Hierdoor werd een voedselrijke sliblaag afgezet tegen het volgend groeiseizoen. In de winterperiode kunnen ze dus beschouwd worden als intertidaal gebied, vergelijkbaar met een (bedijkt) schor.
Het andere type, het '*gecontroleerd vloeisysteem*' kwam vaak voor bij laaggelegen polders. Ze functioneerden als vloeisysteem maar op een meer gecontroleerde gedempte manier. Dit type 'gecontroleerd vloeisysteem' was van de rivier gescheiden door een winterdijk met afwateringssluizen, zoals bijvoorbeeld in Vlassenbroek (Vanallemeersch et al., 2005). Tot de jaren '50 werden deze nog frequent via de sluizen gecontroleerd bevloeid in de winter en kort na de 1e hooibeurt.
Daarnaast bestonden ook ingepolderde gebieden die enkel bij extreem hoge waterstanden overstromen. Binnen deze ecotoopeenheid worden o.a. volgende types gerekend. Historisch is dit vaak gekend als **buitenpolders** (Mys, 1973), halfweg 20e ontstond ook de vorm van potpolders (onder voorwaarde dat ze niet als vloeisysteem functioneren) en recent de **GOG's** of gecontroleerde overstromingsgebieden. GOG's die regelmatig (>5-jaarlijks) overstromen en ecologisch interessante habitats herbergen kunnen immers als een gecontroleerde variant van het historisch winterbed aanzien worden.
In stroomopwaartse delen van de zoete zone vormden onbedijkte **alluviale gebieden** het natuurlijk winterbed van de rivier. Ze waren in oorsprong onbedijkt, maar werden van een zomerdijk voorzien naarmate het getij verder landinwaarts drong. 's Winters overstroomden ze vooral bij hoge piekafvoeren.

Deze in historische context gebruikte ecotopentypologie voor de Zeeschelde onderscheidt een reeks van slik, schor, bedijkt schor, vloeisysteem, gecontroleerd vloeisysteem, buitenpolder/GOG, alluviaal gebied. Deze reeks is zo opgebouwd, dat ze een dalende graad van getij-invloed weerspiegelt. Dit impliceert hun dalend aandeel in het ecologisch functioneren van het estuarium (naar laterale connectiviteit met uitwisselingsprocessen van energie, nutriënten en fauna).

Tabel 2.2 – Ecotopenstelsel gebruikt bij historische evolutie van ecotopen

	Ecotoop		Definitie	Grens
Subtidaal	diep subtidaal		>5m waterdpt	Waterdiepte tov GLWS (uitgezonderd stroomopwaarts Dendermonde)
	matig diep subtidaal		2 - 5m waterdpt	
	ondiep subtidaal		GLWS - 2m waterdpt	
Intertidaal	Slik	Laag	GLWS - 75%OD	Overspoelingsduur klasse (OD)
		Middelhoog	25-75% OD	
		Hoog	< 25% OD – schor	
	Schor	Onbedijkt	Onder getij	
Z w z w Supratidaal Winterbed		Bedijkt	meestal onder getij	Kleine zomerdijkjes, open verbinding met de rivier
	vloeisysteem	(*sensu strictu*)	In de winterperiode onder getij	Zomerdijk met sluizen
		Gecontroleerd	Gecontroleerde, vaak gedempte bevloeiing	Winterdijk met sluizen
	Buitenpolder/ GOG		Winterbed bij stormen (OF> 5 jaarlijks)	Winterdijk
	Alluviaal gebied		Winterbed bij hoge bovenafvoeren	Onbedijkt, zomerdijk (enkel stroomop Dendermonde)

2.2 Beschrijving van de saliniteitszones

In onderstaande paragraaf is zijn de ecotooparealen beschreven voor 2010 gebruik makend van de recentste methodiek (Van Braeckel, in prep.(a)). Bij deze oefening is geen onderscheid gemaakt tussen gebieden van antropogene of natuurlijke oorsprong.

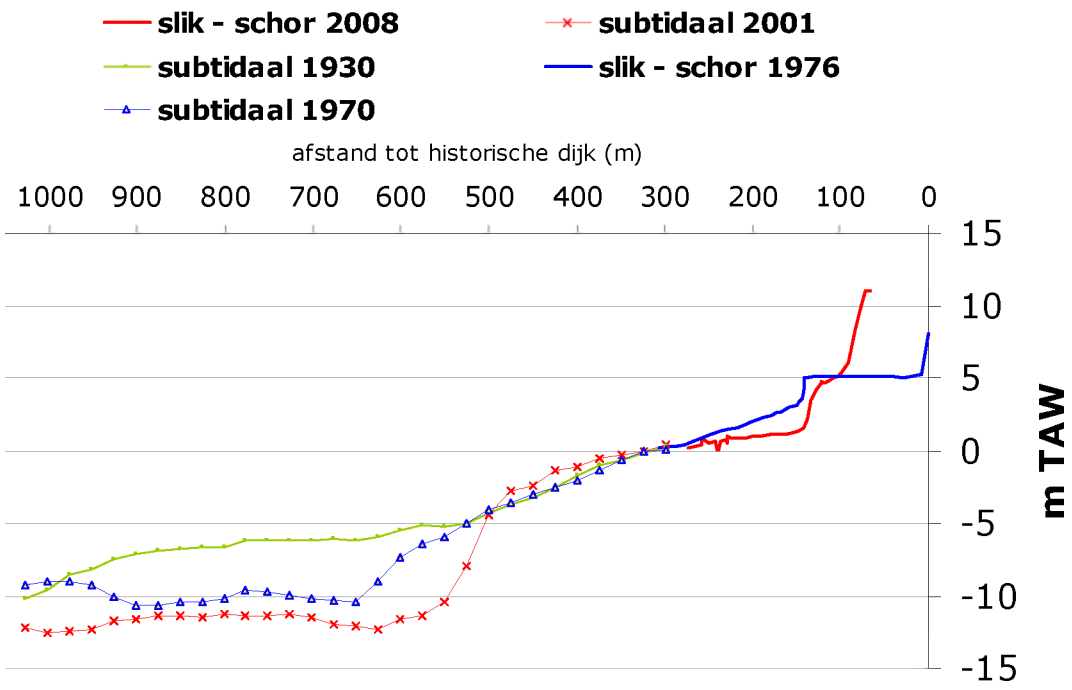
2.2.1 De mesohaliene zone

De brakke of mesohaliene zone van het Schelde-estuarium situeert zich tussen Hansweert en Burcht. De gemiddelde zoutconcentratie daalt in stroomopwaartse richting van 18 tot 5 PSU (Practical Salt Unit) of van 11 tot 3 g Cl-/l. Het Belgische deel hiervan, vanaf de grens tot Burcht, is bij uitstek gekenmerkt door een sterke saliniteitsgradiënt. Niet alleen daalt de gemiddelde zoutconcentratie hier over een vrij korte afstand (32 km) van 15 naar 5 PSU, het zoutgehalte op een gegeven plaats kan hier bovendien sterk variëren naargelang de bovenafvoer en de neerslag (zie intermezzo 2).
Het eerste deeltraject, vanaf de grens tot Lillo, vormde aansluitend op de Westerschelde een meergeulenstelsel. Na de aanleg van de strekdammen ging dit aspect grotendeels verloren maar toch blijft dit deeltraject relatief breed voor de Zeeschelde (tot 2 km, Figuur 2.2)
De oevers van de mesohaliene zone variëren van rechte kades tot brede slik- en plaatgebieden. Bijna 45% van de oevers is ecologisch slecht tot zeer slecht beoordeeld. Anderzijds zijn er nog middelgrote slikken en schorren aanwezig met een hoge tot zeer hoge ecologische waarde (> 15% van de oeverlengte). Het bredere deel stroomafwaarts Lillo herbergt het grootste aandeel van het slik in de mesohaliene zone (43%, OMES-traject 9). Meer stroomopwaarts zijn de slikken en schorren beduidend kleiner, zowel in de breedte als in de lengte (Van Braeckel et al., 2009).

De mesohaliene zone omvat anno 2010 een gebied van 2,9 km² waarvan 457 ha slik en 180 ha schor.
Het schorareaal (sensu strictu) in de ecotopenkartering 2010 bedraagt 180 ha waarvan de grootste gebieden stroomafwaarts Lillo gelegen zijn. Door de relatief flauwe slikhelling is er ook nog 23 ha potentieel pionierschor; onbegroeide zones tegen de schorrand die boven gemiddeld hoogwater bij doodtij liggen m.a.w. hoogwater bij doodtij overspoelt deze zone niet altijd. Daarnaast is er binnen de schorzone nog 19 ha verhard en vegetatieloos en 8 ha te hoog boven GHW om optimaal te functioneren maar nog wel binnen het hoogste hoogwaterbereik (vaak dijkzones soms groter zoals nabij fort Liefkenshoek.

Het grootste deel van het slik bestaat uit zacht substraat (388 ha of 85%). Iets meer dan de helft daarvan bestaat uit middelhoog slik, een derde uit laag slik en negen procent vormt het hoog slik. In 4% of 17 ha van de slikzone liggen harde veen- of kleibanken aan het oppervlak. Elf procent is verhard met verschillende typen breuksteen. De relatieve verdeling van hard substraat over de verschillende hoogtezones is vergelijkbaar met die van het zacht substraat. De slikken van de mesohaliene zone vertonen doorgaans een flauwe helling van gemiddeld 3,8%, met een minimum van 1,1% aan het Paardeschor tot 6,2% aan het slik van Liefkenshoek (Piesschaert et al. 2008).

Het uitgestrekt subtidaal gebied met een oppervlak van 2,23 km², bestaat voor 10% of 214 ha uit ondiep subtidaal habitat. Dit is meer dan de helft van wat aan areaal ondiep subtidaal in de Zeeschelde terug te vinden is. De gemiddelde helling van het ondiep subtidaal anno 2001 behoort tot de laagste in de Zeeschelde, gaande van 2,42 tot 3,5%. Uitzondering hierop vormt het traject stroomopwaarts Antwerpen, in het doorbraakdal van de Boomse cuesta. Daar bedraagt de gemiddelde helling in het ondiep subtidaal 7%.



Figuur 2.2 – Evolutie van het dwarsprofiel van subtidaal, slik en schor overgangen ter hoogte van Galgenschoor noord (Blauwgaren).

2.2.2 De oligohaliene zone

Vanaf Burcht tot aan de Durmemonding is de Zeeschelde zwak brak of oligohalien. Over ongeveer 21 km daalt het gemiddelde zoutgehalte in stroomopwaartse richting van 5 tot 0,5 PSU of van 3 tot 0,2g Cl^-/l.

Ook deze zone heeft twee typische deeltrajecten. Van Burcht tot de Rupel heeft de rivier zich door de Boomse cuesta geërodeerd. Hier is de rivierbedding vrij smal vanwege de hardheid van de Boomse klei. De dijken en kaaimuren zijn er zeer dicht bij de vaargeul aangelegd en er is nauwelijks ruimte voor ecologisch waardevolle ecotopen. De kleinere schorgebieden ter hoogte van Kruibeke, Bazel en Rupelmonde zijn beschermd met breukstenen. Opwaarts de Rupelmonding is de vallei breder en liggen de winterdijken veelal verder van de vaargeul. Langs dit traject liggen een aantal ecologisch zeer waardevolle gebieden: Ballooi, Notelaer, Kijkverdriet en de slikken en schorren aan de Temsebrug.

Deze twee morfologisch verschillende deeltrajecten krijgen een verschillende oeverbeoordeling. Alle oevers stroomafwaarts de Rupel zijn ecologisch matig tot zeer slecht beoordeeld. Meer dan de helft hiervan werd als ecologisch slecht tot zeer slecht beoordeeld. Zelfs daar waar er schorren zijn, wordt de ecologische waardebepaling gereduceerd door smalle voorliggende slikken en breuksteenbestortingen. De oevers stroomopwaarts de Rupel zijn daarentegen overwegend matig tot zeer goed, met >15% van de oevers ecologisch zeer goed.

In de oligohaliene zone is er anno 2010 135 ha slik waarvan meer dan een kwart met breuksteen verhard is. Van de 97 ha slik met zacht substraat is 46% laag slikgebied, 50% middelhoog en slechts 2% hoog slikgebied. Harde kleibanken komen nagenoeg niet voor.

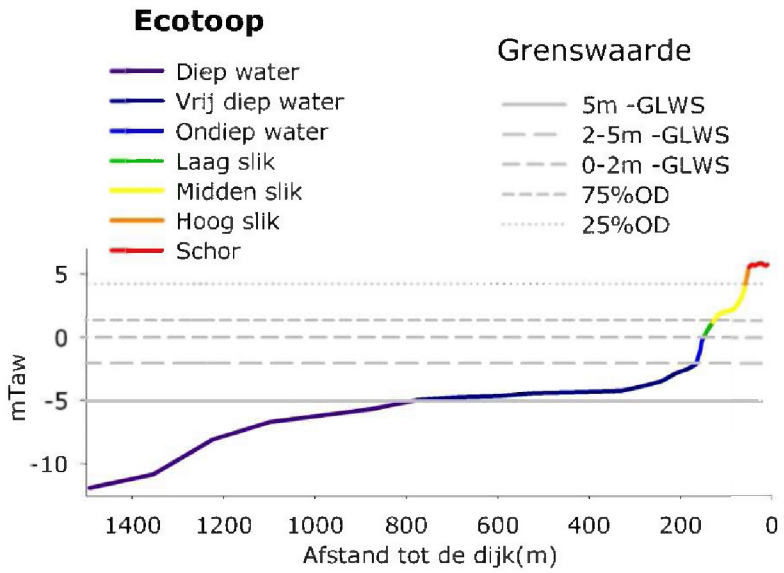
De 37 ha verhardingen zijn vooral aangebracht in de middelhoge zone (67%).

De slikken van de oligohaliene zone vertonen gemiddeld een helling van 6,6% . Aan de Ballooi (Bank van het Buitenland) en Temse (Plaat van de Onbekende, Figuur 2.3) liggen nog brede slikgebieden met flauwe hellingen van respectievelijk 2,6 en 4,4%.

De helling van het ondiep subtidaal in 2001 stroomafwaartse de Rupelmonding is gemiddeld 7,85%; stroomopwaarts de Rupelmonding bedraagt die gemiddeld slechts 5,37%.

Het schorareaal bedraagt 113 ha waarvan 80 ha stroomopwaarts de Rupelmonding. Net zoals de hoge slikzone is de potentiele poinierzone (zone boven GHWD) zeer beperkt in

oppervlakte tot 1 ha of 0,8%. Het ecologisch minder interessante hoog supralitoraal gebied (binnen de winterdijk maar hoog boven het GHW) of de verhard delen, bedragen 6% of 7 ha. Binnen de oligohaliene zone betreft dit o.a. het stort van de Ballooi en tal van verharde slipways. Van de 648 ha subtidaal gebied is 10% of 64 ha ondiep of met een waterdiepte van minder dan 2 m diep onder GLWS.



Figuur 2.3 – Dwarsprofiel van subtidaal, slik en schor ecotopen ter hoogte van de Plaat van de Onbekende (nabij Temse).

De Rupel maakt eveneens deel uit van de oligohaliene zone. De Rupel is een getijgebonden zijrivier die ter hoogte van Rumst ontstaat door de samenvloeiing van de Beneden-Nete en de Beneden-Dijle. De Netes, Zenne en Dijle zijn relatief meer riviergedomineerd en worden in deze studie buiten beschouwing gelaten.
De Rupel omvat 150 ha subtidaal gebied, 54,6 ha slik en 37 ha schor anno 2010. Een vijfde van het subtidaal gebied is ondiep of minder dan 2 m onder GLWS. Binnen het slik is 33 ha niet verhard. Dit sliktype bestaat uit 39% laag, 58% middelhoog en slechts 2% hoog slik. Gebaseerd op de hoogteligging is er potentie voor 32 ha middelhoog slik maar 40% daarvan is verhard met breuksteen. Ook de relatief kleine oppervlakte waar hoog slik voorkomt (2 ha) is voor twee derde verhard met breuksteen. De slikhellingen in de Rupel zijn met een gemiddelde van 14% relatief steil (INBO OG Ecosysteemdiversiteit, 2011).

2.2.3 De zoete zone met lange verblijftijd

Langs dit 20,6 km lange traject tussen de Durmemonding en Dendermonde is er in het algemeen geen of nauwelijks zout aanwezig (<0,5 PSU of <0,3 g Cl^-/l). Er is echter wel nog een krachtige invloed van het getij. Het getijverschil ter hoogte van de Durme is 5,4 m voor de periode 1991-2000 en nog steeds 4,1 m nabij Dendermonde (Tavernier & Mostaert, 2010).
Langs de oevers zijn er een reeks grote en middelgrote schorren zoals 't Stort bij Weert, Schor bij Branst, Schor van Mariekerke, St.-Amandsschoor en Groot Schoor van Hamme. Echt brede slikken zijn er echter niet maar de rivier is in deze zone gekarakteriseerd door een aantal grote bochten en meanders.
Bij de algemene ecologische oeverbeoordeling (Van Braeckel et al., 2009) werd iets meer dan een kwart van de oevers als goed of zeer goed beoordeeld. Ecologisch zeer slechte oevers kwamen slechts op 1% van het traject voor (Kaai te Sint-Amands, en bij Briel). Ecologisch slechte en matige oevers besloegen respectievelijk 42 en 31% van het traject. Bijna de helft van de oevers heeft immers haast geen slik en bij een kwart van de oevers zijn de slikken smaller dan 5 m.

Het schorareaal bedraagt 195 ha. Bijkomend is 3 ha potentieel pionierschor terug te vinden. Dit is meer dan in de oligohaliene zone en stroomopwaartse zoete zone. Van de 275 ha subtidaal is 42 ha of 15% ondiep subtidaal.
De zoete zone met lange verblijftijd is anno 2010 gekenmerkt door 74 ha slik waarvan een derde met breuksteen verhard is. De 49 ha niet verharde slikken bestaan voor 39% uit laag, 47% middelhoog en 3% hoog slik. Volgens de topografie is er potentie voor 38 ha middelhoog slik maar een derde daarvan is verhard met breuksteen. Het kleine potentieel hoog slikareaal (6,5 ha) is voor drie kwart verhard met breuksteen. De slikken van de zoete zone met lange verblijftijd vertonen een gemiddelde helling van 11,3%. Tussen de Durmemonding en Baasrode is dat 6,8% en stroomopwaarts tot Dendermonde 17,3% (INBO OG Ecosysteemdiversiteit, 2011). Ook de ondiep subtidale helling (2001) verschilt in deze twee zones: gemiddeld 7% stroomafwaarts Baasrode en 14% in het deel stroomopwaarts Baasrode.

Figuur 2.4 – Situering schorren in de zoete zone met lange verblijftijd

De Durme maakt eveneens deel uit van de zoete zone met lange verblijftijd. De Durme mondt uit in de Schelde ter hoogte van Tielrode en loopt over een traject van 16 km voorbij Hamme en Waasmunster tot aan de dam te Lokeren waar het getij wordt gestopt. De kanaal-Durme stroomt via Moervaart en Zuidlede uit richting het Kanaal Gent-Terneuzen. De Durme is anno 2010 gekenmerkt door 12,4 ha subtidaal gebied, 54,8 ha slik en 86 ha schor. Hiervan is slechts 2,1 ha slik zichtbaar verhard met breuksteen. Enkele afgesneden meanders zijn nog zichtbaar in het landschap.

2.2.4 De zoete zone met korte verblijftijd

In deze meest stroomopwaartse zone van de Zeeschelde liggen de dijken haast overal tot bijna tegen de vaargeul. Op een paar plaatsen na, o.a. aan het Schor van Zele nabij de Kasteelhoeve van Dam, rest er dus nauwelijks plaats voor slik- en schorontwikkeling.
Brede slikken zijn nauwelijks aanwezig, in tegendeel, langs meer dan drie kwart van de oevers is er geen ruimte voor slikken. Maar liefst 74% van de oevers werd geklasseerd als ecologische slecht tot zeer slechte oever. Goede tot zeer goede oevers komen nauwelijks (< 5%) voor.
De zoete zone met korte verblijftijd tussen Gent en Dendermonde is anno 2010 gekenmerkt 87,4 ha schor en 62 ha slik waarvan de helft met breuksteen verhard. 25 ha van de slikzone bestaat uit laag slik, 29 ha uit middelhoog slik en 8 ha van het hoog slikecotoop. Van de 28,5 ha zacht substraat vinden we 45% in het middelhoog en een vijfde in hoog slik en een derde in het laag slik. Van het 181,5 ha subtidaal is 46 ha ondiep of met een waterdiepte van minder dan 2 m onder de laagwaterlijn. De weinige slikgebiedjes vertonen een gemiddelde helling van 9,7% (INBO OG Ecosysteemdiversiteit, 2011). De gemiddelde helling van het ondiep subtidaal gebied neemt in stroomopwaartse richting van Dendermonde naar Melle geleidelijk toe van 15% naar 18% in 2001.

2.3 Historische evolutie per deelgebied

In deze paragraaf gaan we in op areaalevoluties van de historische ecotopen. Deze verschillen van de recente ecotopenkaart van 2001 en 2010 waarbij tot op een lagere hiërarchisch niveau en meer gedetailleerd is gekarteerd. Zo omhelst bijvoorbeeld het schoroppervlak in de onderstaande historische vergelijking het totale buitendijks gebied. Soms zijn dit ook hogere weinig overstroomde zones, die zonder DTM niet af te leiden zijn, of verharde delen wat op historische kaarten meestal ontbreekt.

2.3.1 De mesohaliene zone

Inpolderingen en ontwikkeling van havenstructuur zijn hier kenmerkend. Door de voortdurende vraag naar betere toegankelijkheid voor schepen met grotere diepgang tot de haven van Antwerpen zijn er 3 verruimingen van de vaargeul uitgevoerd.

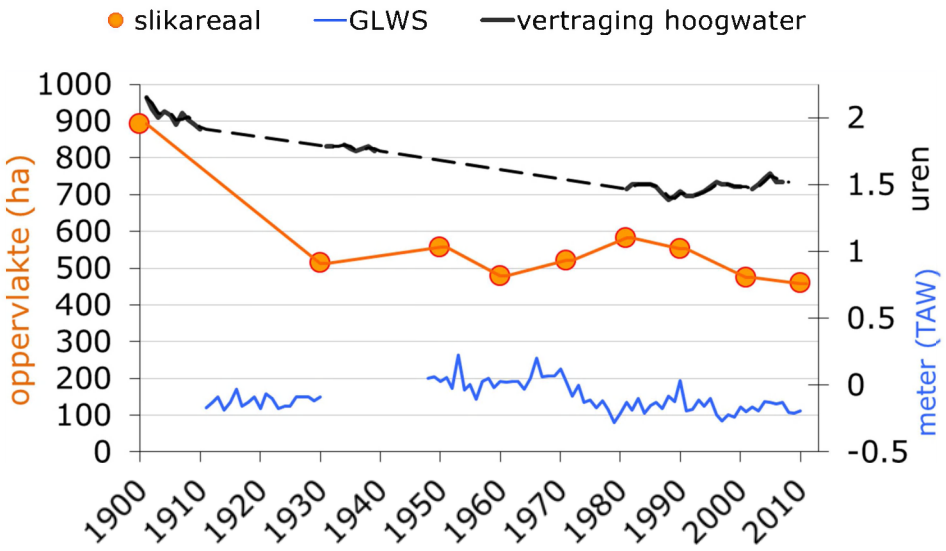
Al in 1850 was de laterale connectiviteit binnen de mesohaliene zone (verhouding tussen de toenmalige en de historische vallei) gereduceerd tot 13% (Van Braeckel et al., 2006), voornamelijk door inpolderingen. Sindsdien daalde ze verder tot 9% in 2003. In de 16^{e} en vooral de 17^{e} eeuw (Mys, 1973) zijn grote delen van de vallei reeds ingepalmd door inpolderingen, geulverleggingen, dijkverhogingen en -verleggingen. Anderzijds is de watermassa die bij elk getij het estuarium instroomt toegenomen. Het verlies aan stroombergende breedte en de toename aan vloedvolume zijn gecompenseerd door toename van het getijverschil stroomopwaarts en door de versnelling van de getijgolf. Na 2001 nam de stroombergende breedte lokaal weer lichtjes toe door dijkverlegging (Paardeschoor en Ketenisse).

Tabel 2.3 – Habitatevolutie in de mesohaliene zone van de Schelde

habitat		1880*	1930	1960	2001	2010
subtidaal	diep		1247	1240	1518	1674
	matig diep	1951	462	442	331	342
	ondiep		303	307	212	214
slik		892	513	482	474	457
schor		532	746	436	183	191
Vloeisysteem		74	151			
Buitenpolder/GOG		52	49	80		

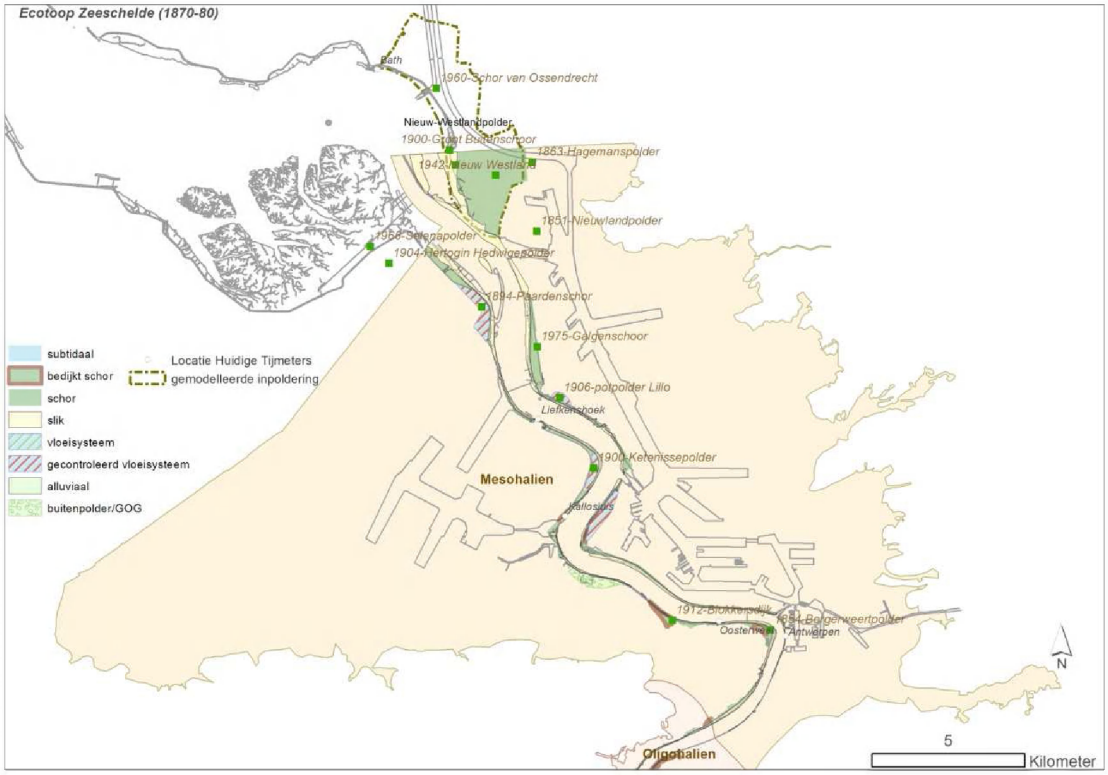
In 1930 en 1960 (Tabel 2.3) was er 303 ha ondiep subtidaal in de mesohaliene zone. Na 1960 daalde deze oppervlakte met 30 procent. Ook het matig diep daalde na 1960 van 442 ha naar 331 ha. Het diep subtidaal daarentegen nam na 1960 toe met 278 ha ten nadele van het ondiep en matig diep subtidaal. Ook ter hoogte van nieuwe kades ging slik verloren ten voordele van diep water. In het stroomafwaartse deel tot Lillo deden zich na de aanleg van de leidammen (1969-1971) en de eerste verruimingen grote wijzigingen voor in de ondiepe subtidale platen (Ballastplaat, Plaat van Doel, Piesschaert et al., 2008; Van Braeckel 2006, 2009). Ook de Plaat van Lillo, Ketelplaat en de Palingplaat (ter hoogte van het Sint-Annastrand) zijn in de tijd sterk aangetast. Enkel de Plaat van de Parel en de Plaat van Boomke bleven relatief stabiel in de voorbije 70 jaar, deels ten gevolge van het terugstorten van baggerspecie zoals bijvoorbeeld aan Boomke.

Het slikoppervlak daalde drastisch van 892 ha naar 513 ha tussen 1880 en 1930 ten gevolge van rivierwaartse schoruitbreiding; een respons op de grote inpolderingen op rechteroever halfweg 19^{e} eeuw (Ossendrecht, Nieuw Westland) en daarna de verschuiving van de vloedgeul van de Appelzak in westelijke richting (Van Braeckel et. al. 2009). Tussen 1930 en 1960 ging 35 ha slik verloren aan het water of subtidaal gebied. De beperkte daling van het slikoppervlak tussen 1960 en 2001 met 8 ha in de mesohaliene zone weerspiegelt geen stabiele periode (Figuur 2.5). Door de daling van de laagwaterlijn op het slik (afhankelijk van de gemiddelde laagwaterstand bij springtij, afgekort GLWS), nam het slikoppervlak toe in de periode 1970- 1980. De daling van de GLWS tussen 1970 en 1980 verklaart ongeveer de helft van de waargenomen sliktoename in die periode (Figuur 2.5; zie ook INTERMEZZO 1).
Na 1980 ging vooral slik verloren meerbepaald in de lage slikzone zoals o.a. de hoogdynamische zandduinen aan de Ballastplaat en de slikplaat van het Groot Buitenschoor. Desondanks was er ook een beperkte uitbreiding waar te nemen van meer slibrijke slikken in de hogere slikzones naast het schor v het Groot Buitenschoor en Ouden Doel (Van Braeckel et al., 2009). Globaal binnen de mesohaliene zone treedt tussen 2010 en 2001 een daling van de slikzone op van 16 ha, deels door kolonisatie van de nieuwe ontpolderingen, deels ook door effectief verlies.



Figuur 2.5 – Evolutie van het slikoppervlak (linker Y-as), de slikondergrens (GLWS, rechter Y-as) en de vertraging van het hoogwater tov Vlissingen (uren,rechter Y-as) in de mesohaliene zone (Liefkenshoek)

Rond 1850 bedroeg de oppervlakte aan brakke schorren in de mesohaliene zone 2200 ha[3] . Op het eind van de 19e eeuw (1870-1880) was dit gedecimeerd tot 532 ha schor en ongeveer 200 ha slik met pionierend schor ter hoogte van het huidige Groot Buitenschoor (Figuur 5.1). Het grote verlies is vooral te wijten aan de inpolderingen van de Prosperpolder (540 ha) en de Nieuwlandpolder (655 ha), maar daarnaast waren er ook nog enkele kleinere inpolderingen aan Ketenisse, Paardenschor, Lillo,… Naast schor was er 74 ha aan vloeisystemen met hoge zomerdijken en een sluissysteem en 52 ha buitenpolder met winterdijken maar die soms functioneerden zoals een huidig GOG. In 1930 was het schorareaal vnl. door de schoruitbreiding aan het Groot buitenschoor opgelopen tot 746 ha en waren er 151 ha aan vloeisystemen. In 1960 is het schorareaal gedaald tot 436 ha voornamelijk door de inpoldering van de Nieuw Westlandpolder (291 ha). In 1960 vielen vloeisystemen weg, enkel bleef 80 ha functioneren als een soort GOG (Paardenschoor, Lillo). Tot in 2001 is het totale schorareaal verder afgenomen tot 183 ha en zijn geen vloeisystemen noch GOG's in werking. Na 2001 is door nieuwe ontpolderingen en landwaartse dijkverschuivingen een kentering opgetreden van de afname in schoroppervlak naar toename met 8 ha.

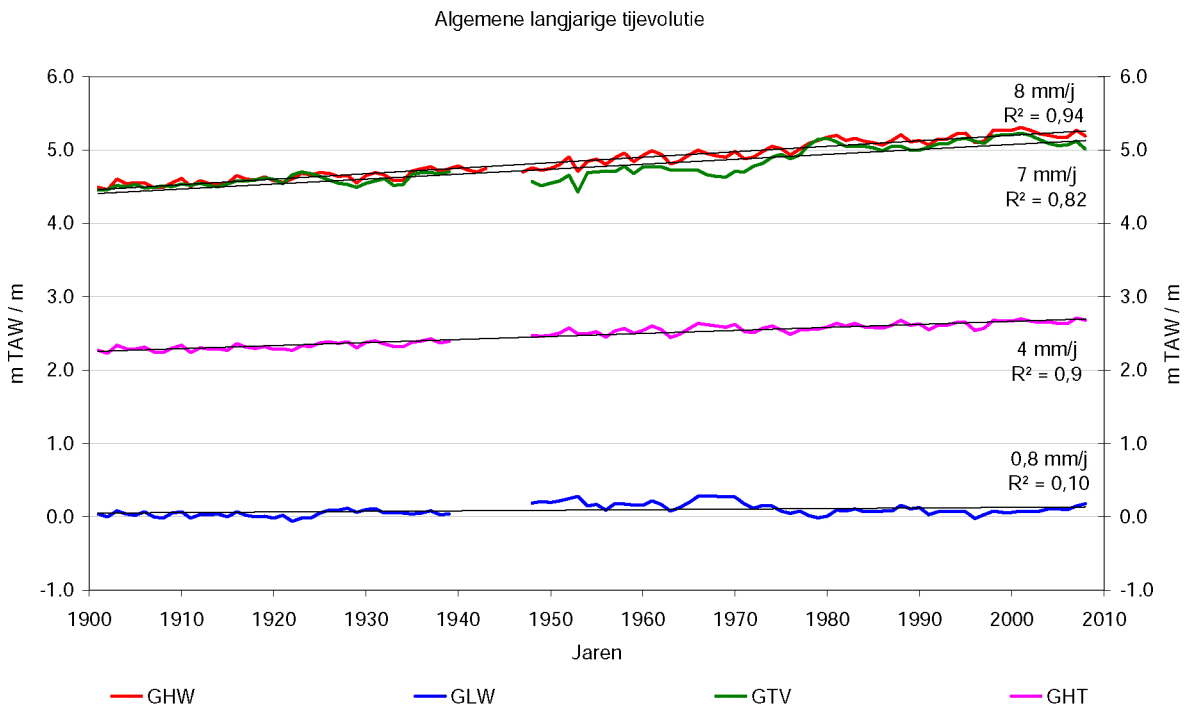


Figuur 2.6 – Ecotopen van 1870-1980 van de mesohaliene zone met aanduiding van de historische inpolderingen (met inpolderingsdatum), het gemodelleerd inpolderingsgebied, tijposten en de valleirand.

De evolutie van het getij in de mesohaliene zone wordt beschreven op basis van de tijpost in Liefkenshoek. De hoogwaterstanden en getijverschillen kennen een toename tussen 4 en 8 mm/jaar. De laagwaterstanden lijken echter tot middelhoog in de 20ste eeuw gestaag toe te nemen, om ergens tussen 1950 en 1960 een dalende trend te volgen. De sterkere toename van de jaargemiddelde hoogwaters in vergelijking met de jaargemiddelde laagwaters zorgt

[3] *Schoroppervlak 1850 gebaseerd op de gereduceerde kadasterkaart (Van Braeckel et al. 2006), aangevuld met de oppervlakte van de Nieuwlandpolder ingepolderd in 1851 en niet als schor gekarteerd tijdens veldkartering van het gereduceerd kadaster)*

voor een toename (extra versterkt vanaf 1970) van het jaargemiddelde getijverschil (Peeters et al., 2011).



Figuur 2.7 - Zeeschelde te Liefkenshoek: Langjarige tijevolutie (1901-2008)

2.3.2 De oligohaliene zone

De grootste veranderingen in de oligohaliene zone traden op bij de slikoevers, en -platen en de aangrenzende subtidale platen tussen de Rupel- en Durmemonding. De Plaat van het Buitenland (Ballooi) en de Plaat van de Onbekende nabij Temsebrug verminderen sterk in oppervlakte tussen 1880 en 1930. Na 1930 verdween de bank van het Buitenland nagenoeg volledig door de verschuiving van de vaargeul naar het noorden. Van de plaat van het Buitenland rest nog slechts het huidige slik van de Ballooi (Van Braeckel et al., 2009).

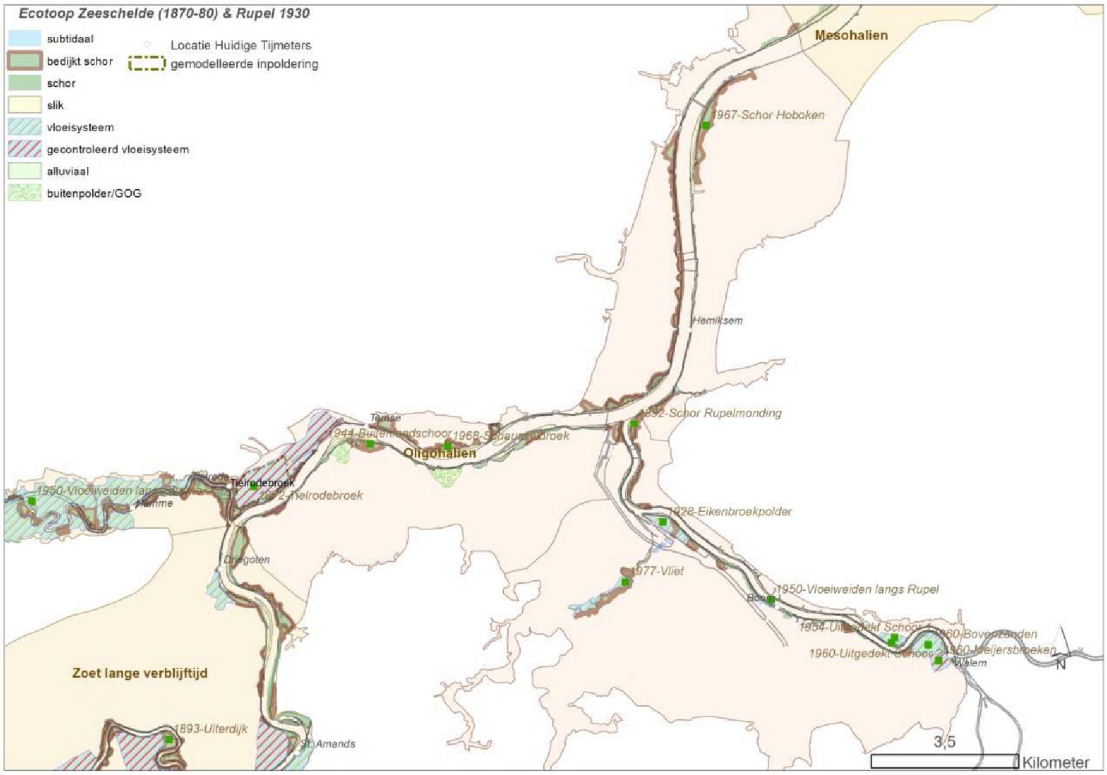
Tabel 2.4 – Habitatevolutie in de oligohaliene zone van de Schelde

habitat		**OH-Schelde**					**Rupel**			
		1880*	**1930**	**1960**	**2001**	**2010**	**1930**	**1960**	**2001**	**2010**
subtidaal	**Diep**	678	335	319	430	461	12	15	22	23
	Matig diep		178	193	137	123	83	88	93	94
	Ondiep		113	103	71	64	71	62	36	32
Slik		129	184	149	145	135	69	67	54	55
Schor		243	223	193	118	118	89	63	38	39
Vloeisysteem		173	171	123			95	89		
Buitenpolder/GOG		54	37	24	96	96			34	34

Daarmee verdwenen ook luwe ondiepe waterzones op de platen; (paai)habitat voor enkele vissoorten zoals de fint, die afhankelijk is van dit soort ondiepe laagdynamisch en zandige substraten (Stevens et al., 2009). In 1930 restte de oligohaliene zone nog 113 ha ondiep subtidaal. In 1960 bedroeg dat 103 ha, in 1980 ongeveer 83 ha en in 2001 71 ha. De grootste verliezen van ondiep subtidaal traden op tussen de Rupelmonding en Temse. Het diep subtidaal steeg van 335 ha in 1930 naar 430 ha in 2001 (Piesschaert et al., 2008; Van Braeckel et al., 2009).

Het slikoppervlak evolueerde in de oligohaliene zone voornamelijk stroomop de Rupelmonding van grote aaneengesloten slikplaten of banken tot 1930 naar meer smalle langgerekte slikstroken zoals in 1960 en 2001. Deze evolutie ging gepaard met een geulverruiming en -verschuiving naar het noorden. De slikplaat van de Ballooi, in 1944 opgebouwd uit zowel slibrijke als zandige delen, verloor tussen 1880 en 1960 vooral de lage zandige zone (Van Braeckel et al., 2009). Aan de zuidelijke oever ontstonden zo luwe omstandigheden waar slikuitbreiding met meer slibrijker laagdynamisch materiaal plaatsvond voor het schor van de Notelaer. Meer stroomopwaarts aan de Temsebrug traden verliezen aan de zandplaat bij de binnenbocht pas rond 1970 op, waarbij in de laatste fase op de luchtfoto van 1969 (Figuur 5.2) duidelijk grote hoogdynamische zandduinen te zien zijn. Van de 184 ha slik in 1930 bleef er in 2001 nog 145 ha over. Tegen 2010 is dit oppervlak verder gedaald tot 135 ha met vooral verlies aan laag en middelhoog slik met zacht substraat (elk 3 ha).

In de 19e eeuw was het merendeel van de schorren in deze zone in cultuur. Net stroomafwaarts van de Durmemonding werden al in de 10e en 11e eeuw verregaand alluviale gronden bedijkt en omgevormd tot vloeisysteem (bijvoorbeeld Tielrodebroek). Polders in de buurt van de oude Scheldearm van Bornem werden toen ingepolderd als buitenpolder en functioneerden vergelijkbaar zoals een huidig GOG. Op het eind van de 19e eeuw (1870-1880) bedroeg het schorareaal 243 ha, 173 ha was vloeisysteem met zomerdijken en een sluissysteem, 54 ha was buitenpolder. In 1930 was het schorareaal ingekrompen tot 223 ha door de omvorming van de schorren aan de Rupelmonding en nabij Hoboken ('t Kiel) tot vloeisystemen. In 1960 is vooral het areaal vloeisysteeml gedaald tot 123 ha. In 2001 en 2010 rest er nog 118 ha schor en zijn er geen vloeisystemen meer in werking tenzij het GOG van Tielrodebroek (96 ha).

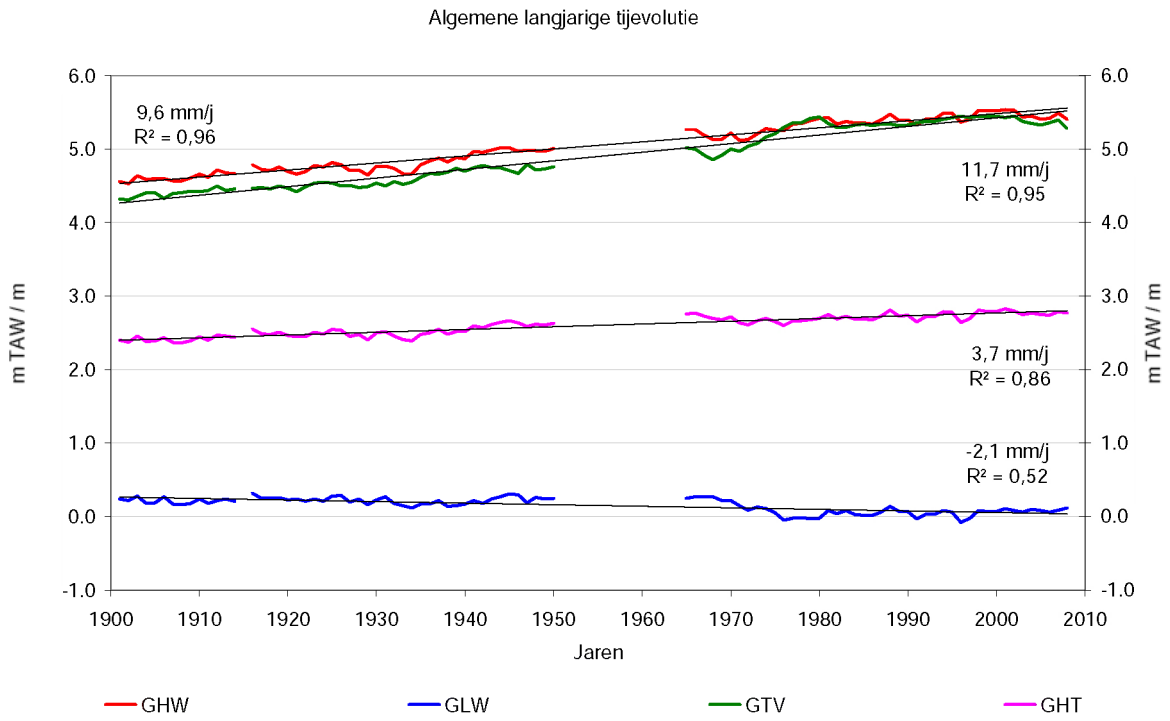


Figuur 2.8 – Ecotopen van 1870-1980 van de oligohaliene zone van de Zeeschelde, de ecotopen van 1930 voor de Rupel met aanduiding van de historische inpolderingen (met inpolderingsdatum), het gemodelleerd inpolderingsgebied, tijposten en de valleirand.

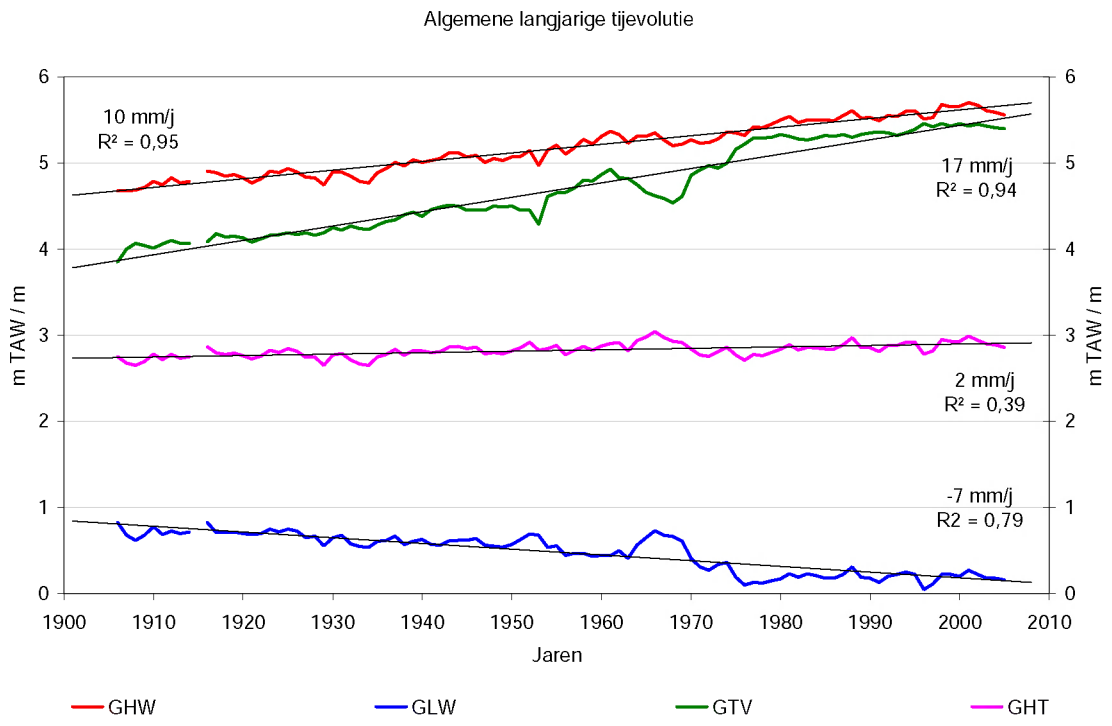
Langs de *Rupel* is het ondiep subtidaal gedaald van 71 ha in 1930 naar 62 ha in 1960 en 36 ha in 2001. Het slikareaal besloeg in de 1930-1960 ongeveer 68 ha, daalde tot 54 ha in 2001 en bleef stabiel in 2010.

Het supratidaal gebied van de Rupel (zonder de Vliet) bestond in 1930 en 1960 voornamelijk uit vloeisystemen. Respectievelijk 95 en 89 ha was met een zomerdijk en een sluissysteem enkel in lente en zomer van de getijdeninvloed afgesloten. Het schorareaal bedroeg in 1930 89 ha, na 30 jaar nog 63 ha en 54 slechts 38 ha in 2001 en 2010.
Naast verliezen aan schor langs de Rupel, verdween met de afsluiting van de Vliet in 1976 ongeveer 53 ha getijdengebied en vloeisystemen. Van toen af aan werd het Vlietwater met pompen in de Rupel en het Rupelkanaal geloosd. De nieuwe Zeesluis aan de Rupelmonding en de bijhorende uitbreiding van het Zeekanaal werden geopend in 1997. Hiermee verdween ook het schor aan de Rupelmonding.

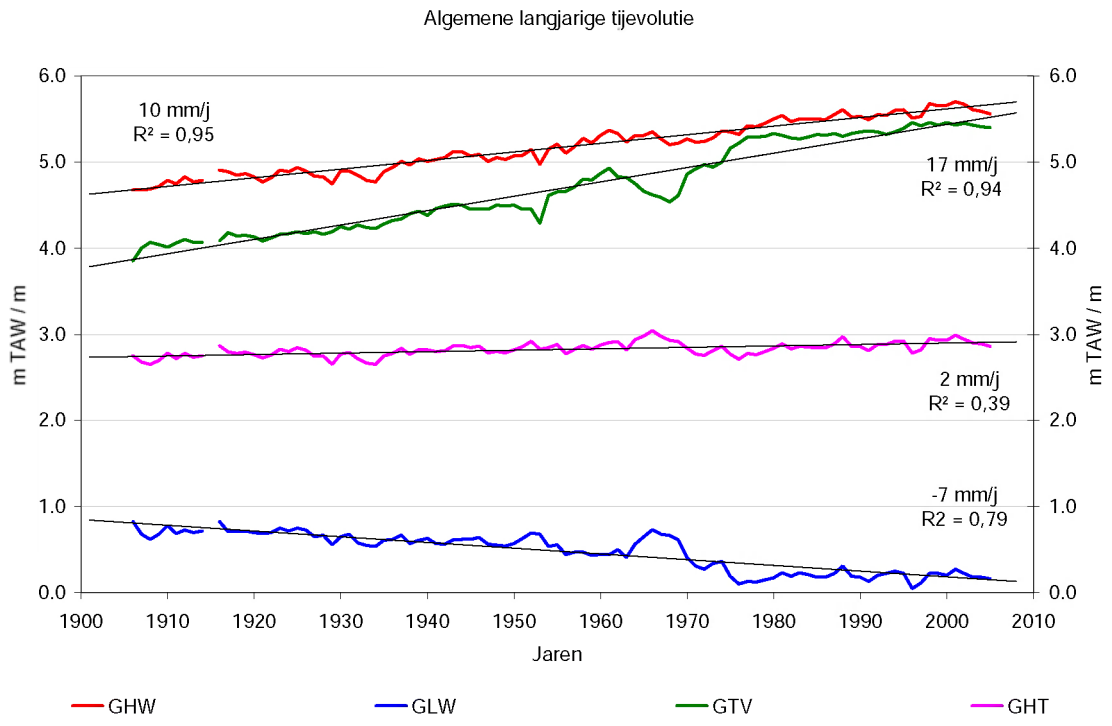
Voor de oligohaliene zone worden de tijposten van Schelle en Tielrode beschouwd. De tijpost Tielrode geeft vooral de veranderingen op de grens tussen 2 saliniteitszones en de mondingzone van de Durme weer.
De hoogwaters in Schelle en Tielrode vertonen in de periode 1901-2000 een stijgende trend. De laagwaters daarentegen tonen een dalende trend die sterker is in Tielrode dan in Schelle. Ook de toename van het getijverschil is groter in Tielrode dan in Schelle. In Tielrode zijn er enkele opvallend bruuske veranderingen van de jaargemiddelde laagwaters, en bijgevolg ook de getijverschillen, tussen 1960 en 1970. Deze zijn minder sterk uitgesproken te Schelle (Peeters et al., 2011).



Figuur 2.9 - Zeeschelde te Schelle-Hingene: Langjarige tijevolutie (1901-2008)



Figuur 2.10 - Zeeschelde/Durme te Tielrode: Langjarige tijevolutie (1901-2005)



Figuur 2.11 - Rupel te Walem: Langjarige tijevolutie (1901-2005)

2.3.3 De zoete zone met lange verblijftijd

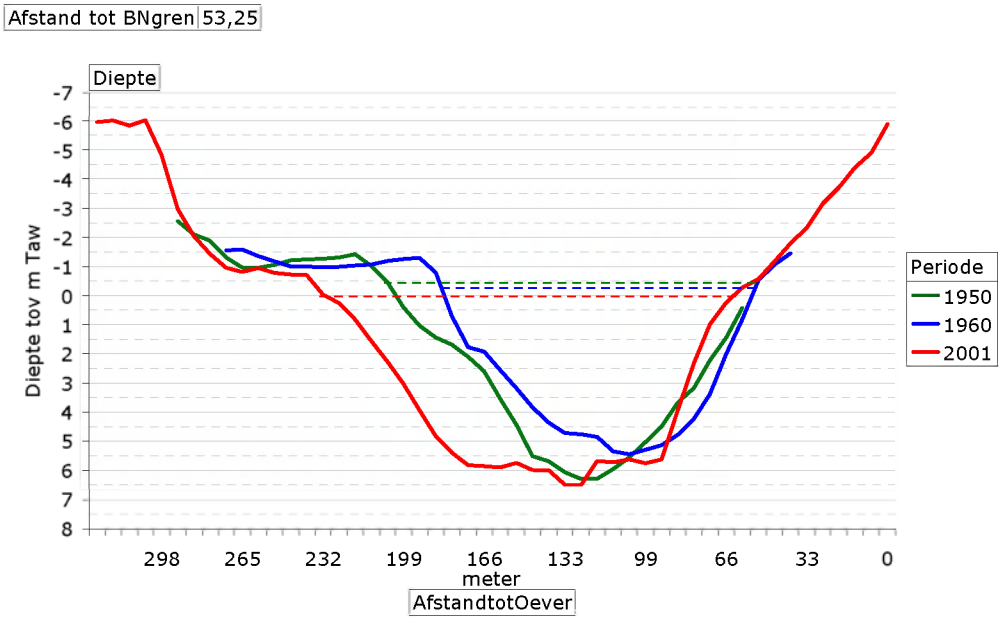
Tussen de Durmemonding en Dendermonde, alsook langs de Durme waren in 1880 uitgestrekte delen van het winterbed in cultuur hetzij als schor met zomerdijkjes hetzij als

vloeisysteem. In de winter werden ze door bevloeiingen aangerijkt met nutriënten uit de Schelde. 100 jaar later is dit gebruik verdwenen, mede door de industriële vervuiling.

Tabel 2.5 – Habitatevolutie in de zoetwaterzone met lange verblijftijd van de Schelde en de Durme

habitat		*ZL-Schelde*					*Durme*			
		1880*	1930	1960	2001	2010	1930	1960	2001	2010
subtidaal	Diep		52	54	83	94	3	1		
	matig diep	265	141	134	139	139	18	4	27	1
	Ondiep		63	69	49	42	54	33		11
slik		84	89	86	82	74	48	60	42	55
schor		194	227	232	189	199	132	87	83	86
Vloeisysteem		632	632	262			736	409		
GOG/Buitenpolder				13	38	38		100	94	94

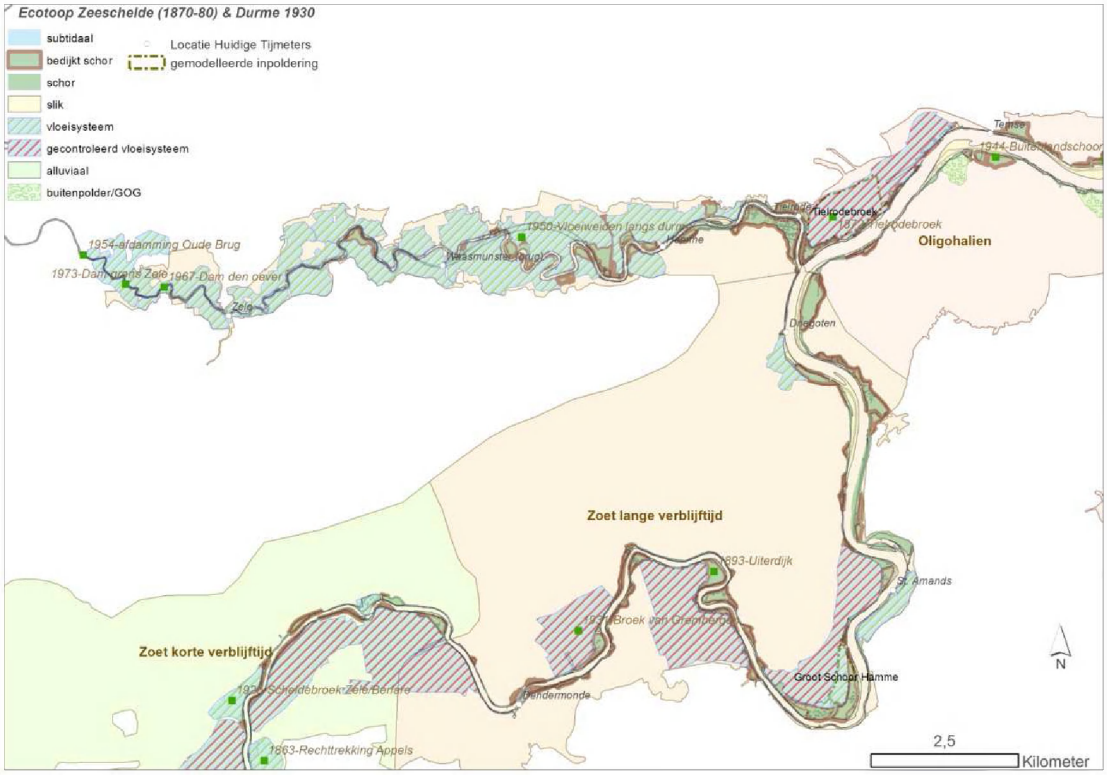
Het subtidaal gebied van dit Scheldetraject besloeg 256 ha tot in 1960 , tegen 2001 is dit toegenomen tot 265 ha. Tot 1960 bestond gemiddeld 65 ha hiervan uit ecologisch interessant ondiep subtidaal. Tegen 2001 (na 1970) was die oppervlakte met een kwart gedaald. Het matig diep subtidaal daalde geleidelijker van 141 ha in 1930 naar 134 ha in 1960 en 2001. Het diep subtidaal nam toe van 54 ha in 1960 van tot 83 ha in 2001.
De grootste veranderingen in de ondiepe subtidale platen zijn stroomafwaarts waar te nemen tussen de Durmemonding en Baasrode (OMES 15 in Piesschaert et al., 2008). Vooral de Plaat van Driegoten (Figuur 2.12; Van Braeckel et al., 2009) en de voormalige plaat ter hoogte van het Groot Schoor (Piesschaert et al., 2008) vertoonden grote verliezen aan ondiep subtidaal (en slik)gebied.
Ook de omschakeling van de vaargeul van eb- naar vloedgeul aan de bocht van Mariekerke (ook gekend als het Ebdiep) zorgde voor een verlies aan ondiep subtidaal. Die ontwikkeling zorgde echter ook voor een toename van slik en schor (Van Braeckel 2006, 2009). De ebgeul met bebost eiland is tot halfweg de 20e eeuw nog duidelijk zichtbaar. In de jaren vijftig verzandt hij snel en vandaag blijft er enkel nog een smalle kreek over. De grootste toename van het diep subtidaal is meer stroomopwaarts tussen Baasrode en Dendermonde (OMES 16 in Piesschaert et al., 2008).



Figuur 2.12- Evolutie van profieldoorsneden ter hoogte van de Plaat van Driegoten

Het slikoppervlak in de zoete zone met lange verblijftijd daalde geleidelijk van 89 ha naar 82 ha in de periode 1930 tot 2001. Tussen 2001 en 2010 daalde het slikoppervlak sneller met een verlies van 8 ha. De Plaat van Driegoten bestond in 1955 voor de helft uit slibrijk en voor de helft uit zandig slik. Rond 1970 nam het aandeel hoogdynamisch slik met megaribbels toe, waarna het totale slikoppervlak sterk verminderde. In 2004 was de zandtong grotendeels verdwenen en bleef er een zandig slik over met slibrijke hogere zones.

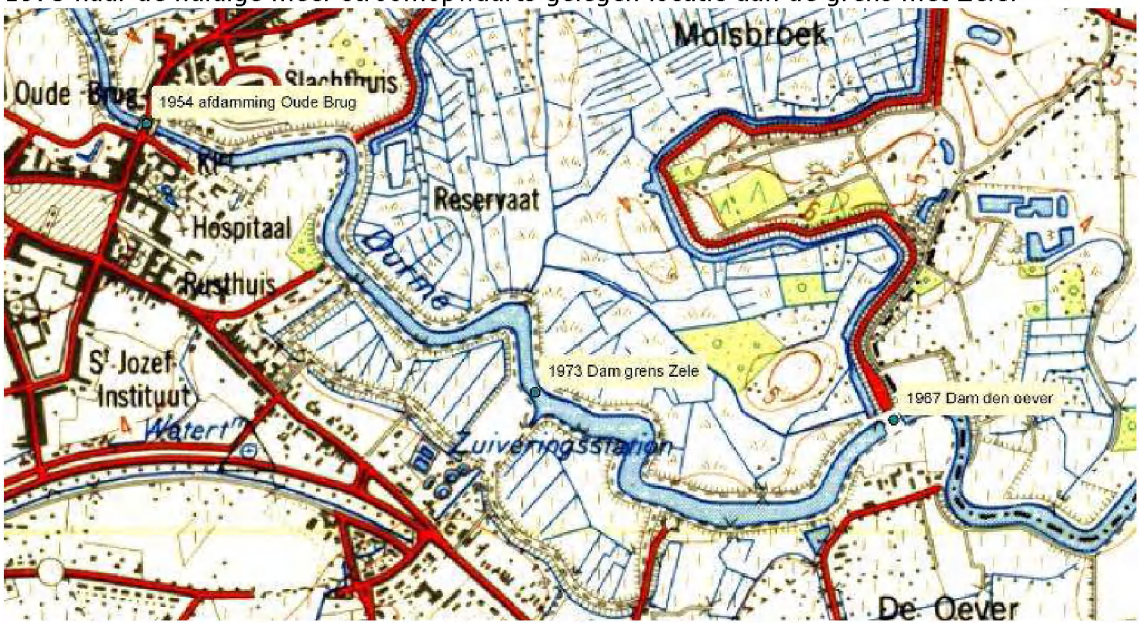
Het schorareaal bedroeg in 1870-1880 194 ha en was tegen 1960 tot 232 ha toegenomen. Anno 2001 daalde opnieuw het schorareaal naar 189 ha. Dit is veruit het laagste relatieve verlies aan schor van alle saliniteitszones. Tegen 2010 steeg het schorareaal naar 199 ha.
In de 19e eeuw waren uitgestrekte delen van het winterbed in cultuur gebracht functionerend als vloeisystemen of als schorren met of zonder zomerdijkjes. Rond 1870-1880 tot rond 1930 was 632 ha ingericht als vloeisystemen, waarvan de helft (262 ha) functioneel bleven tot de jaren '60. Naast de klassieke vloeisystemen, die bij hoge afvoeren over de zomerdijken overstroomden, bestonden er ook gecontroleerde vloeisystemen met een winterdijk en sluis, die regelmatig bewust overstroomd werden maar toch bescherming boden tegen de stijgende hoogwaters (vb. Vlassenbroek, interviews in Vanallemeersch et al. 2005. In deze zone rond 1880 vormden klassieke vloeisystemen het hoofdaandeel. In 1930 was dit al gedaald tot 38% terwijl in 1960 enkel nog gecontroleerde vloeisystemen overbleven.



Figuur 2.13 – Ecotopen van de zoete zone met lange verblijftijd van de Zeeschelde (1870-1880) en Durme (1930) voor de Durme; met aanduidingen van de historische inpolderingen en het gemodelleerd inpolderingsgebied Tielrodebroek en Groot Schoor van Hamme.

De *Durme* werd door het graven van de Sassevaart in 1547 en het Kanaal Gent-Terneuzen tussen 1823 en 1827, afgesneden van haar bovenloop. In 1954 werd ter hoogte van Lokeren-Oude brug een hoge dam in de bedding opgeworpen die het afwaartse tijgedeelte van de Durme volledig afsloot van het opwaarts gekanaliseerde Durme-restant (Figuur 2.14).

Als gevolg van ernstige overstromingen te Lokeren werd vanaf 1955 de Durme bedijkt (Taverniers, 1979). In 1967 werd de dam stroomafwaarts verplaatst naar De Oever en in 1973 naar de huidige meer stroomopwaarts gelegen locatie aan de grens met Zele.



Figuur 2.14 - Afdamming van de Durme in drie stappen: 1954, 1967 en 1973

In 1850 was bijna 90% van het buitendijkse landgebruik begeleidende vloeisystemen. De vloeimeersen met een totale oppervlakte van 835 ha waren onbedijkt tot de monding van de Lokerenbeek en verder stroomafwaarts hadden ze een zomerdijk. Het beperkte schorareaal was in cultuur gebracht (Van Braeckel et al., 2006). Rond 1930 werd de Durme rechtgetrokken en gekalibreerd, waardoor het intertidale gebied sterk aangetast werd. Tot in 1950 is de stroombergende breedte ongeveer gelijk gebleven en was bijna de volledige riviervallei beïnvloed door het getij. Vandaag is de stroombergende breedte slechts een fractie van toen.

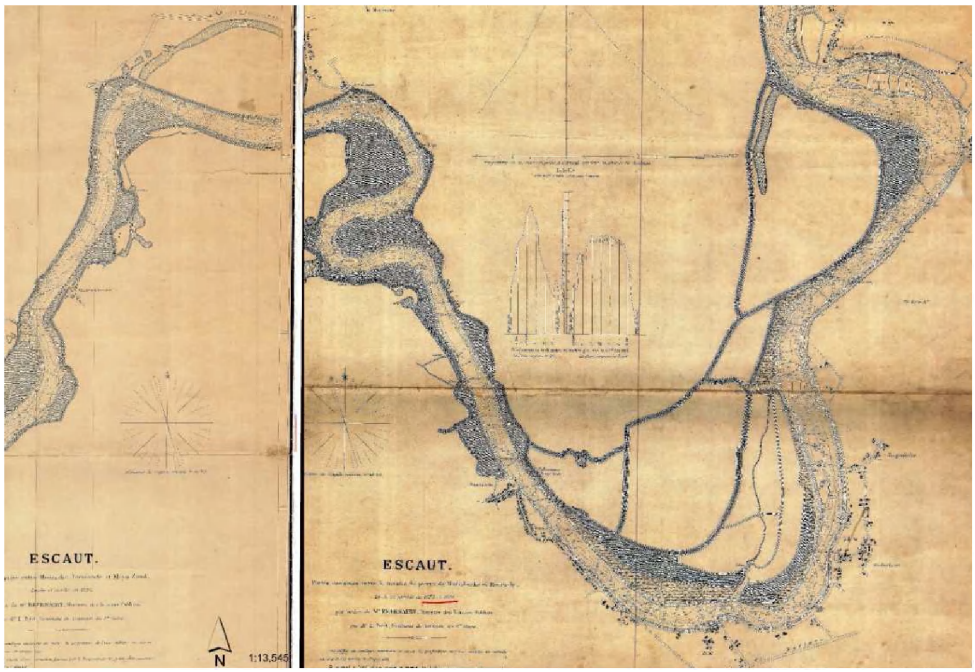
Langsheen de Durme was er een sterke traditie in het gebruik van vloeisystemen. In 1930 bestond nog 736 ha klassiek vloeisysteem. Tot begin jaren 1960 functioneerden nog 409 ha vloeisystemen, voornamelijk in het stroomafwaartse gebied (Taverniers 1979, Vanallemeersch et al., 2005[bron1], Werbrouck 2006[bron2],). Bekende vloeisystemen waren Groot broek van Elversele (tot ca. 1990 [b2]), Meulenbroek (tot begin jaren '60 [b2]), naast de potpolders van Sombeke (tot ca. 1990 [b2]), Polderbroek (tot ca. 1970[b1]), Hof ter Rijen (IV, tot ca. 1970 [b1]), Weymeerbrouck (tot begin jaren '60 [b1]), Wareslage (I, tot ca. 1991 [b1]) en Donkerput (tot 1970 [b1]). De verslechterde waterkwaliteit zorgden eind de jaren '70 voor het nagenoeg volledig wegvallen van het vloeiweidesysteem.

Het schoroppervlak daalde van 132 ha in 1930 naar amper 83 ha schor in 2001 of een tiende van het oorspronkelijk supratidaal gebied (Van Braeckel et al., 2011). Dit verklaart dan ook de dramatische daling van de laterale connectiviteit.

De potpolders werden in de jaren 1950 en '60 ingericht door aanleg van een ringdijk met een sluissysteem en functioneerden als bestendige zijdelingse overstromingsgebieden. Het idee was dat door de potpolders niet enkel bij zeer hoge waterstanden te laten werken, de (te) grote verschillen tussen de vloed- en ebsnelheden zoveel mogelijk te verminderen en het verzandingsproces te vertragen. Zowel vulling en lediging door sluisjes als vulling over overlaten en lediging via de sluisjes werden gebruikt. Hoofddoel was om bij elk hoogwater water in de potpolder te vergaren, dat dan gedurende de eb op te sparen en bij laagwater plots in de Durme te lozen, zodat een grote ebstroming de bedding zou uitschuren wat de sedimentdeeltjes flink naar afwaarts zou doen stromen.

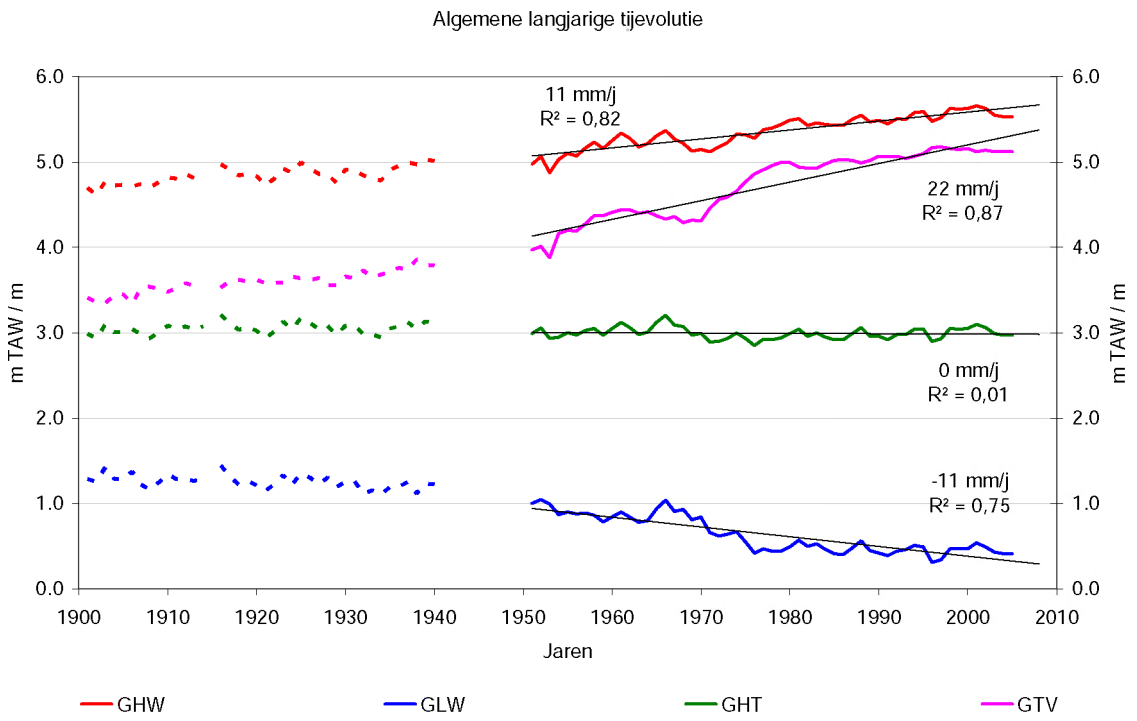
De aanleg en het gebruik van potpolders als zijdelingse vergaarbekkens zou een gunstig effect hebben op de verhouding vloed- en ebsnelheden evenals op de hoogteligging van de bedding. De verzanding in voornamelijk het opwaartse deel zou kunnen gekeerd worden.

De potpolders hebben nooit als dusdanig gefunctioneerd enkel als gecontroleerd vloeisysteem waarbij vooral in de winter bij hoogwater de sluizen werden opgezet. In 2001 resten alleen nog potpolder I (Sombeekse meersen) als GOG en potpolder VIII (Molsbroek) als natuurgebied. Potpolders IV en V zijn in wezen nog steeds een GOG (doch met relatief hoge overloopdijk) doch zonder of met een doorbroken ringdijk (Peeters & Mostaert, 2007).

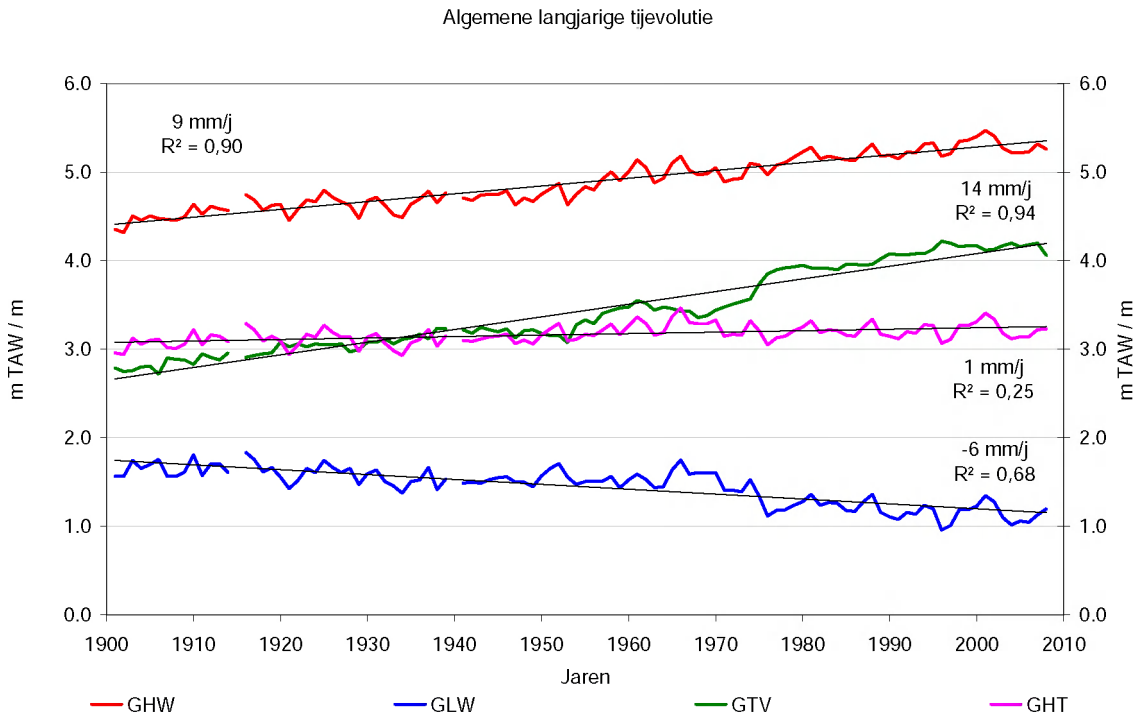


Figuur 2.15 – Hydrografische kaarten van de zoete zone met lange verblijftijd uit 1875 door Petit

In zoete zone met lange verblijftijd zijn de tijposten van Sint-Amands en Dendermonde gelegen. Ook in Sint-Amands en Dendermonde kent het gemiddeld hoogwater een stijgende trend en het gemiddeld laagwater een dalende trend. Dit leidt tot een toename in het gemiddelde getijverschil. De jaargemiddelde hoogwaters te Dendermonde lijken versneld toe te nemen in de periode 1901-1920 en de periode 1940-1960. In de periode 1940-1960 kent het jaargemiddelde laagwater in Dendermonde een versnelde afname, met een forse toename van het getijverschil tot gevolg. Aangezien voor Sint-Amands slechts gegevens beschikbaar zijn vanaf 1951, kan deze trend hier niet bevestigd worden (Peeters et al., 2011).

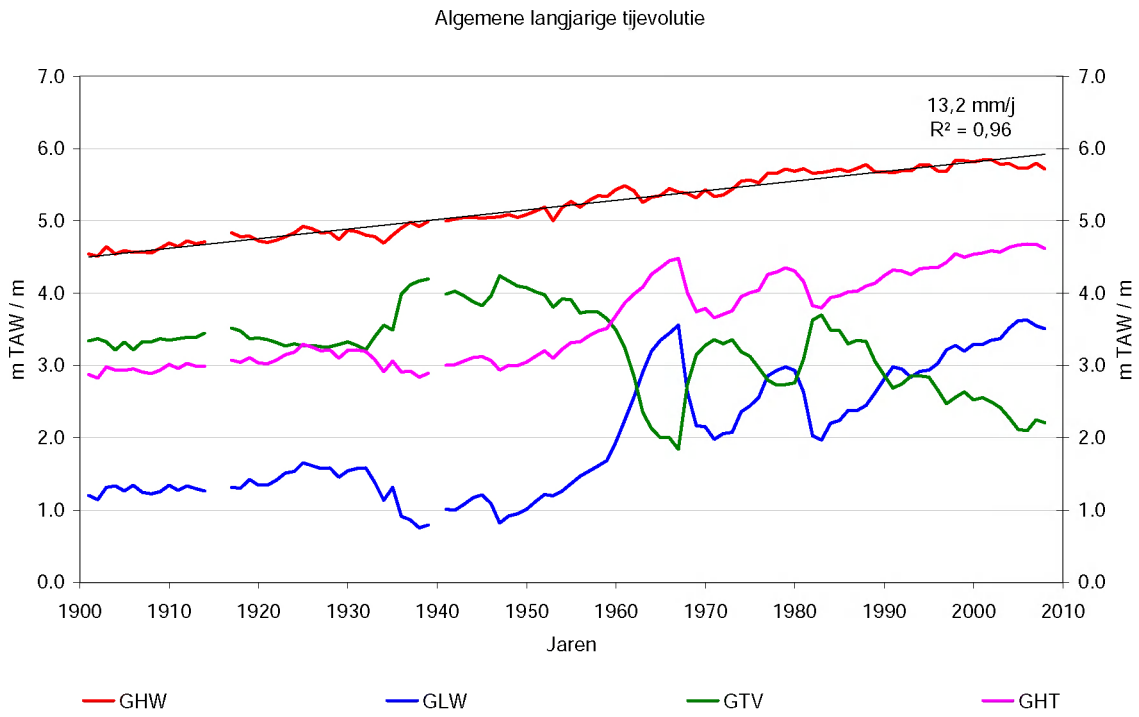


Figuur 2.16 - Zeeschelde te Sint-Amands (Buggenhout in stippenlijn): Langjarige tijevolutie (1951-2005)



Figuur 2.17 - Zeeschelde te Dendermonde: Langjarige tijevolutie (1901-2008)

Voor de Durme ter hoogte van de tijpost van Waasmunsterbrug kan enkel voor het verloop van de hoogwaterstanden een duidelijk stijgende trend worden geïdentificeerd. Abrupte sprongen in de jaargemiddelde laagwaterstanden en dus ook in de halftijstanden en de getijverschillen, laten het niet toe over één of andere langjarige trend te kunnen spreken.



Figuur 2.18 - Durme te Waasmunsterbrug: Langjarige tijevolutie (1901-2008)

2.3.4 De zoete zone met korte verblijftijd

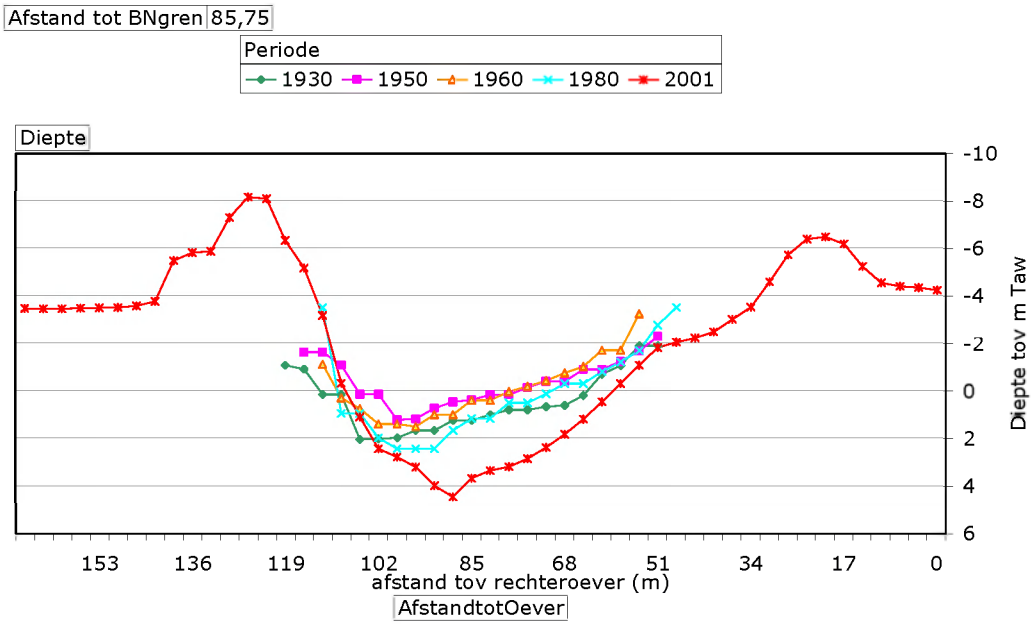
De Schelde tussen Dendermonde en Gentbrugge vormt een voormalige meanderende rivier waar een sterkere getijindringing is ontstaan in de loop van de 19e eeuw. In de periode tussen 1878 en 1903 werd een groot aantal rechttrekkingen uitgevoerd. Hierdoor werd de lengte van dit riviertraject met 22% ingekort van 47,5 tot 37 km. De belangrijkste rechttrekkingen zijn de ter hoogte van Appels (1,2 km), Schellebelle (3,3 km), Overschelde Wetteren (1,6 km) en Gentbrugse Meersen (3,2 km) uitgevoerd.

Tabel 2.6 – Habitatevolutie in de zoetwaterzone met korte verblijftijd van de Schelde

habitat		*1880**	*1930*	*1960*	*2001*	*2010*
subtidaal	**diep**		9	8	11	11
	matig diep	305	130	119	127	125
	ondiep		72	72	54	46
slik		2	27	58	56	62
schor		49	55	36	73	90
Vloeisysteem		1256	1285	350		
GOG/Buitenpolder				452	161	161
Alluvium		901				11

Eveneens kenmerkend voor deze zone is de verdieping van het dwarsprofiel na 1980 (Figuur 2.19). Rond 1930-1960 was er in de zoete zone met korte verblijftijd nog 72 ha ondiep subtidaal. Na 1980 is deze oppervlakte met een kwart gedaald tot 54 ha. De meeste veranderingen in de ondiepe subtidale zone deden zich voor in het stroomopwaartse traject tussen Gent en Wetteren (OMES 19 in Piesschaert et al., 2008). Het traject tussen Gentbrugge en Melle is het enige gebied in de Zeeschelde waar na 1960 een sterke verondieping is opgetreden. Dit volgde na de normalisaties of rechttrekkingen in

stroomafwaartse zone en het wegvallen van het bovenstrooms debiet aan de sluis in Gentbrugge na de aanleg van de ringvaart in 1969.



Figuur 2.19 - Evolutie van profieldoorsneden ter hoogte van Uitbergen

Slikken konden vooral ontstaan aan de binnenbochten van de rivier. Door de talrijke rechttrekkingen, normalisaties en oeververstevigingen is het slikoppervlak tussen Dendermonde en Melle bijna volledig beperkt gebleven tot smalle randen. Nagenoeg de enige grote aaneengesloten slikoppervlakte bevindt zich nu tussen Melle en Gentbrugge waar een groot slikgebied is ontstaan nadat daar de onderhoudsbaggerwerken zijn opgegeven (Piesschaert et al., 2009, Van Braeckel et al., 2009). Zo steeg het slik in deze saliniteitszone van 27 ha in 1930 naar 62 ha in 2010.

De evoluties in het winterbed illustreren nog beter de veranderingen in dit gebied. In 19e eeuw kon dit traject op basis van het landgebruik en de getijkarakterisitieken ingedeeld worden in drie zones. Stroomafwaarts was een zone met voornamelijk schorren in cultuur en gecontroleerde vloeisystemen. In de omgeving van Schoonaarde werden vooral vloeisystemen aangelegd. Stroomopwaarts de Kalkense Meersen bestonden beide oevers uit onbedijkt winterbed met grasland, bos en sporadisch akker.

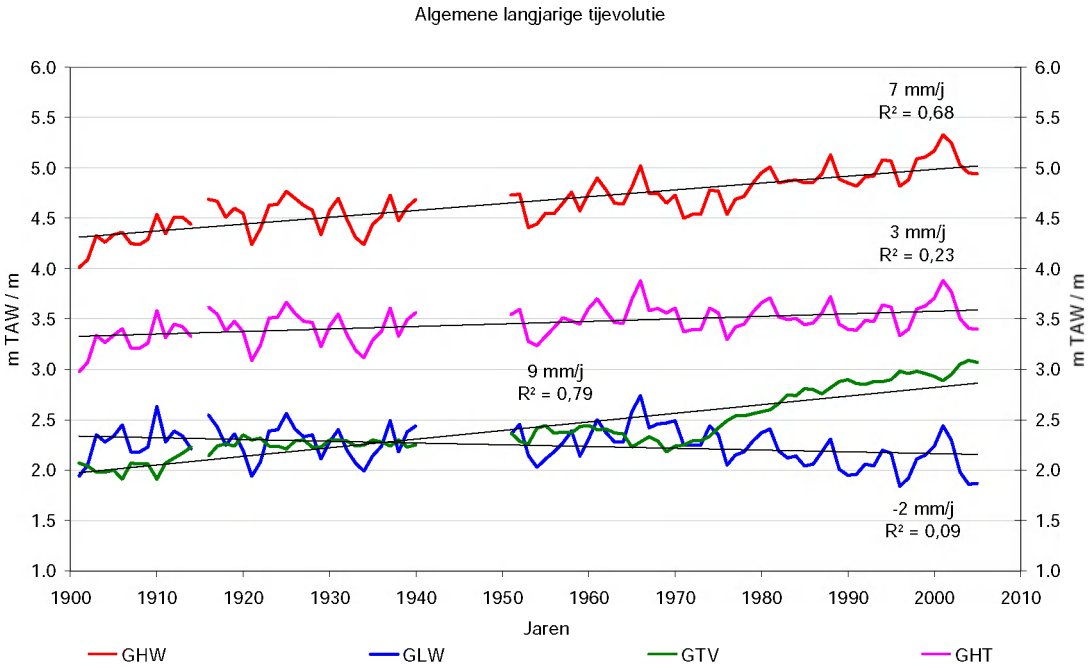
Rond 1870-80 bevond zich binnen dit riviertraject nog 900 ha natuurlijk winterbed (inclusief Damslootvallei met 455 ha). De grens van de horizontale getij-indringing bevond zich toen nabij Wetteren, meer stroomopwaarts was er enkel verticaal getij (Meyvis, 1977, Van Braeckel et al., 2006). Na inpolderingen en rechttrekkingen zijn al deze alluviale gebieden ingedijkt en onttrokken aan de rivier.

Eind 19e eeuw functioneerde 453 ha in deze zone als gecontroleerde vloeimeersen met de St. Onolfpolder (250 ha[4]) en de Aubroeckpolder (189 ha) als grootste. Deze gebieden lagen achter een winterdijk en werden met behulp van sluizen in de winter af en toe ondiep bevloeid met beperkte sedimentatie als gevolg. Naast de gecontroleerde vloeisystemen bleven ook 803 ha gewone vloeisystemen achter een lagere zomerdijk en met sluis actief.
Schorren, zowel bedijkt als onbedijkt bleven in deze zone steeds beperkt. Van de 55 ha die er in 1930 waren bleven er in 1960 nog 36 ha over. Later ontstond 73 ha schor doordat

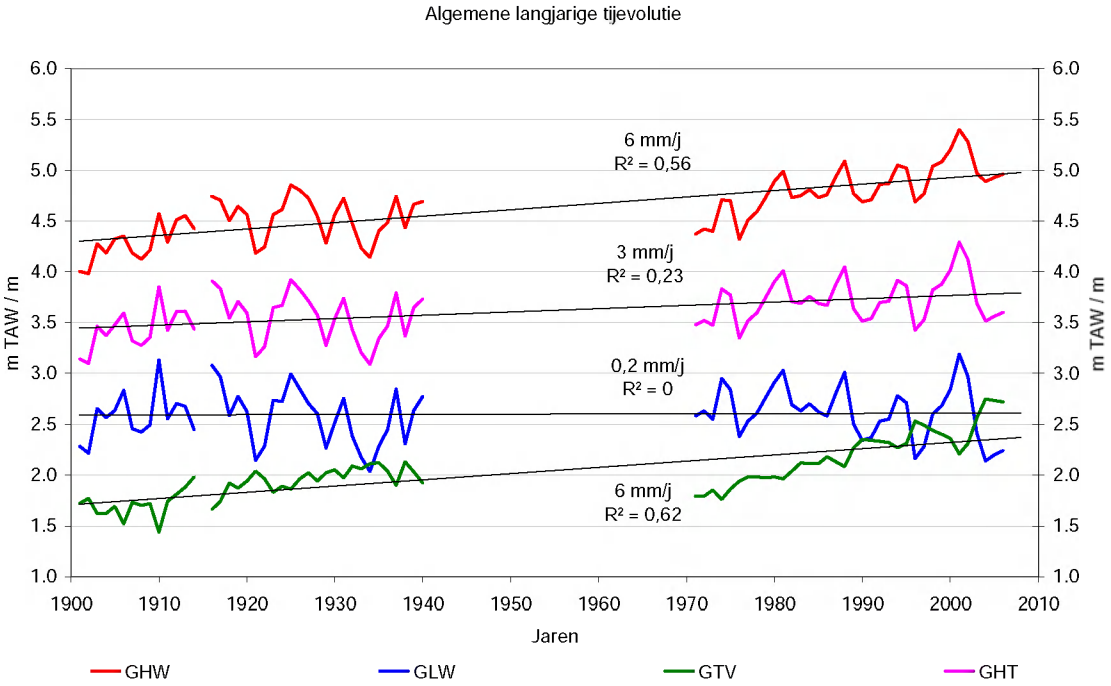
[4] *84 ha van de St Onolfpolder ligt in de zoete zone met lange verblijftijd*

vloeisystemen in onbruik geraakten. Door ontpolderingen en dijkverleggingen is het schoroppervlak gestegen tot 90 ha in 2010.

De tijposten van Uitbergen en Melle liggen in de zoete zone met korte verblijftijd. De jaargemiddelde hoogwaters kennen weerom een stijgende trend. De jaargemiddelde laagwaters te Uitbergen kennen een licht dalende trend, ten opzichte van een status quo te Melle. De stijging van de hoogwaters in combinatie met dalende laagwaters te Uitbergen, zorgen voor een stijging van het getijverschil, die extra versterkt wordt rond 1970. Ook te Melle kent het getijverschil een grotere stijging na 1970, dan in de periode van 1940 (tussenin ontbreken metingen) (Peeters et al., 2011).



Figuur 2.20 - Zeeschelde te Uitbergen: Langjarige tijevolutie (1901-2005)



Figuur 2.21 - Zeeschelde te Melle: Langjarige tijevolutie (1901-2006)

3 Ingreep-effectrelaties

In onderstaande paragrafen worden de ingrepen per onderzoeksthema besproken. Per ingreep wordt een korte beschrijving gegeven, waarbij ook historische ingrepen aangehaald worden. Vervolgens wordt het effect van de ingreep besproken. Als basis hiervoor wordt de ondersteunende 1D- en 2D-modellering gebruikt, die uitgevoerd is in het kader van deze studie (Coen et al., 2010; Maximova et al., 2010a). Aanvullend worden ook resultaten uit voorgaande studies weergegeven.
Tenslotte wordt de invloed van de ingreep op de Scheldehabitats besproken. Hiervoor wordt onderscheid gemaakt tussen het effect op het areaal en op de kwaliteit van de slikken en schorren. Wat betreft het areaal wordt zowel gekeken naar directe als indirecte effecten, ten gevolge van veranderingen van hoog- en laagwater en getijverschil. De kwaliteit van de slikken en schorren wordt besproken aan de hand van twee parameters: de overspoelingsduur uitgedrukt in% en de stroomsnelheid.

Een overzicht van de verschillende scenario's doorgerekend met het 1D- en 2D-model in het kader van deze studie wordt weergegeven in Bijlage 1. Om het effect te kunnen inschatten van bepaalde ingrepen op de getij-indringing, werd de huidige toestand vergeleken met een scenario waarbij de ingreep ongedaan gemaakt werd ("omgekeerd"), zonder evenwel de werkelijke historische situatie voor te stellen. Naar analogie met het begrip 'forecast', zijnde een scenarioberekening (voorspelling) vertrekkende vanuit de huidige situatie, kan een omgekeerd scenario beschouwd worden als een 'hindcast'. In onderstaande bespreking worden de effecten van de ingrepen in de 'juiste' richting weergegeven, bijvoorbeeld rechttrekking is het effect van het afsnijden van een rivierbocht. Met het 1D-model werd er geopteerd voor het telkens uitvoeren van middellange-termijn simulaties, in het bijzonder periode 1998-1999. Uit de simulatieresultaten werden vervolgens jaargemiddelde getijkarakteristieken gedestilleerd. Met het 2D-model werd de periode 19/06/2002 12:30 tot 17/07/2002 7:30 als simulatieperiode genomen. Vervolgens werden gemiddelde getijkarakteristieken voor deze periode berekend.

Het overspoelingsduur% en de verdeling van de stroomsnelheid in functie van de tijd werden berekend op basis van de 1D-simulatieresultaten voor het jaar 1998, voor de tijposten te Melle, Uitbergen, Schoonaarde, Dendermonde, Sint-Amands, Tielrode, Temse, Schelle, Antwerpen en Liefkenshoek. De grafieken worden weergegeven in de bijlage van het achtergrondrapport betreffende de ondersteunende 1D-modellering (Coen et al., 2010).

3.1 Rechttrekking

3.1.1 Beschrijving van de ingreep rechttrekking

In Tabel 3.1 wordt een overzicht gegeven van de uitgevoerde rechttrekkingen langs de Zeeschelde en Durme, na 1850. In deze tabel worden geulverleggingen en natuurlijke afsnijdingen van rivierarmen niet weergegeven.

3.1.1.1 Uitgevoerde rechttrekkingen langs de Zeeschelde

De bochtafsnijdingen en regularisatiewerken tussen Gent en Dendermonde werden gepland en deels uitgevoerd op het einde van de 19^{e} eeuw - begin 20^{e} eeuw, na een onderzoek om de afvloeiing van grote debieten in de Schelde en bijrivieren te vergemakkelijken. Dit om overstromingen in het Gentse bij grote wassen op de Schelde te vermijden en om de bevaarbaarheid op te voeren. Uiteindelijk werden slechts normalisatiewerken tussen Gent en Appels en regulariseringswerken in de monding van de Rupel uitgevoerd. Deze behelsden het rechttrekken van een aantal zeer scherpe en onregelmatige bochten en de normalisatie van het profiel opwaarts Dendermonde. Tussen Gent en Schoonaarde werden onoverstroombare dijken aangelegd en verbredingen en baggerwerken uitgevoerd. In de mate van het mogelijke werden eveneens enkele verkortingswerken in het Gentse doorgevoerd. De

voorgestelde bochtafsnijdingen zouden de rivier tussen Gent en Baasrode met ± 12 km inkorten. De uitgevoerde bochtafsnijdingen zijn weergegeven in Tabel 3.1. De voorziene bochtafsnijdingen tussen Zele en Grembergen, te Dendermonde, te Baasrode ('de Kramp') en te Moerzeke werden niet uitgevoerd. Hierdoor werd de rivier slechts 10,3 km korter in plaats van 12 km (Meyvis, 1977a).
Tot in 1878 stroomde de Schelde voor de Rede te Antwerpen in een zeer onregelmatige bedding, vergeleken met haar bedding afwaarts Oosterweel en opwaarts de gemeente Burcht. De bouw van een kaaimuur langs rechteroever liet toe de bedding van de rivier te verbeteren, en aan de eisen van het toenemende scheepvaartverkeer te voldoen (Meyvis, 1977a).

3.1.1.2 Uitgevoerde rechttrekkingen langs de Durme

Door verzanding van de rivierbedding en door het bochtige tracé van de rivier was de bevaarbaarheid van de Durme in het begin van de 20e eeuw slecht. De Staat poogde toen werken in de Durme uit te voeren die het hydraulisch vermogen van de rivier zouden vergroten, en dus de voortplanting van het getij bevorderen. Het lag voor de hand de vele bochten tussen Hamme en Waasmunster recht te trekken. Volgende rechttrekkingen werden uitgevoerd (Taverniers, 1979):

- Rechttrekking te Waasmunster, uitgevoerd van februari 1931 tot februari 1934;
- Rechttrekking tussen Hamme en Waasmunster, uitgevoerd van april 1935 tot mei 1937;
- Opheffing van een eiland in het rivierbed te Tielrode en rechttrekking, uitgevoerd van februari 1935 tot september 1935.

Deze werken gingen gepaard met bijkomende baggerwerken op andere plaatsen.

Tabel 3.1 – Rechttrekkingen langs de Schelde en Durme (Meyvis 1977a, Taverniers 1979, Van Braeckel et al., 2006)

Begin-datum	Eind-datum	Locatie	Inkorting *	Beschrijving Meyvis (1977a)	1D
1878	1907	Antwerpen, rede		In de eerste fase (1878-1881) werd ±3,5 km kaaimuur gebouwd. In 1895 werd de kaaimuur met 2 km verlengd in zuidelijke richting. In 1887 had de thalweg zich langs de kaaimuur gevormd. In 1907, wanneer de verlenging van de kaaimuur naar het zuiden voltooid was, legde de nieuwe geul zich verder langs deze kaaimuur.	
Voor 1930		Durme Den Oever (grens Waasmunster-Lokeren)	129,9m		
1931	1934	Durme te Waasmunster	2183 m		X
1935	1937	Durme tussen Waasmunster en Hamme (Oude Durme)			X
1935	1935	Durme tussen Hamme en Tielrode (opheffing eiland)			
1902	1904	Driegoten ('t Stort bij Weert)	< 10 m	Normalisatie van de rivier nabij de monding van de Durme. De rivier stroomde door een zeer onregelmatige bedding. Tussen de Durmemonding en Driegoten werd een kleine rechttrekking uitgevoerd met de bedoeling de stroming in een regelmatiger bed te leiden, waardoor de stroomversnellingen zouden verminderen en de scheepvaart gemakkelijker	

Begin-datum	Eind-datum	Locatie	Inkorting *	Beschrijving Meyvis (1977a)	1D
				zou worden.	
1936		Dendermonde	48,5 m		
1882	1883	Appels	1181 m	Een grillige en onregelmatige rivierbedding met een lengte van 1785 m werd vervangen door een rechttrekking met een lengte van 559 m.	
1889	1892	Paardeweide Wichelen	359 m	Een scherpe bocht met een lengte van 838 m werd afgesneden. Het nieuwe tracé heeft een lengte van 424 m.	X
1883	1885	Schellebelle	3270,2 m	Een aantal zeer onregelmatige en achtereenvolgende bochten met een totale lengte van 4343 m werden vervangen door een concaaf naar link gerichte bocht met een totale lengte van 1033 m.	X
1883	1883	Kastermeersen (afwaarts Wetteren)	125,5 m	Tijdens regularisatiewerken in Wetteren en de herstelling van de oude brug, werd afwaarts een bocht met een lengte van 490 m rechtgetrokken. Het nieuwe tracé heeft een lengte van 390 m.	X
1882	1883	Overschelde Wetteren (opwaarts Wetteren)	1616,7 m	Het oude grillige rivierbed met een lengte van 1918 m werd vervangen door een enkele bocht met een lengte van 343 m.	X
1882	1884	Zwaanhoek (ten zuiden van gemeentekom van Heusden)	346,1 m	Een grillige rivierbedding met een lengte van 725 m wordt vervangen door een rechttrekking met een lengte van 366 m.	
1884	1886	Kleinbosch tussen Heusden en Melle	252,4 m	Een scherpe bocht met een lengte van 718 m werd afgesneden en vervangen door een concaaf naar links en een concaaf naar rechtse bocht met een lengte van 455 m.	
1878	1881	Gentbrugse Meersen (Klaverken nabij Heusden)	3218,3 m	De zeer grillige vorm van de rivier werd vervangen door een enkele bocht concaaf naar de linkeroever. Het oude rivierbed had een lengte van 4422 m, het nieuwe 1250 m.	

*inkorting = verschil tussen het traject in 1850 en het huidige traject, volgens Van Braeckel et al., 2006.

De weergegeven afstanden volgens (Van Braeckel et al., 2006) en (Meyvis, 1977a) kunnen verschillen. Oorzaak hiervan is een meer nauwkeurige wijze van opmetingen met GIS-applicaties.

3.1.2 Effectanalyse rechttrekking

3.1.2.1 Huidige studie

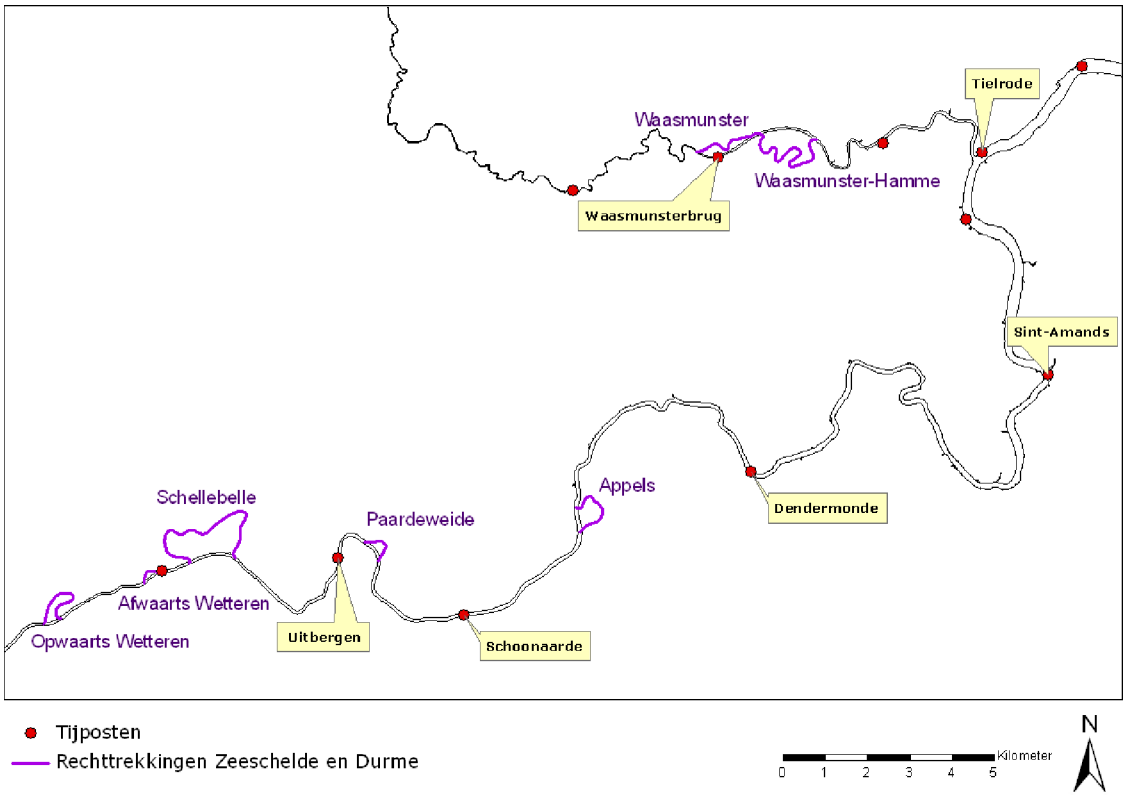
Met het 1D-model werd een scenario doorgerekend waarbij de rechttrekkingen uit het verleden ongedaan werden gemaakt. Hierbij werd niet getracht de werkelijke toestand voor 1850 te herstellen. De bedoeling is na te gaan in welke mate inkortingen hebben bijgedragen tot het meer opwaarts indringen van het getij. Morfologische veranderingen die optreden na een rechttrekking zoals erosie van de sectie opwaarts, een potentiële toename in afzetting in de meest stroomopwaartse zones en afzetting ter hoogte van de ingreep worden niet bestudeerd.

Volgende bochten worden in het 1D-model ingevoerd op de Zeeschelde tussen Melle en Dendermonde (de weergegeven lengte is de lengte van de ingevoerde bocht, in totaal circa 10 km) (Figuur 3.1):

- 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, omwille van het beperkte lengteverschil.

Op de Durme worden bochten ingevoerd te Waasmunster en tussen Hamme en Waasmunster (circa 5,2 km) (Figuur 3.1). De rechttrekkingen van Den Oever en tussen Hamme en Tielrode worden hier niet meegenomen omwille van hun beperkte lengte.



Figuur 3.1 - Rechttrekkingen langs de Zeeschelde en Durme opgenomen in het 1D-model

Uit de modelberekeningen worden volgende bevindingen en ingeschatte effectgroottes afgeleid (Tabel 3.2, Coen et al., 2010):

Inkortingen op de rivier zorgen ervoor dat locaties opwaarts van de ingrepen dichter bij de monding komen te liggen. Het getij ondervindt minder obstakels om het estuarium binnen te dringen. Dit resulteert in een stijging van de hoogwaters en een daling van de laagwaters, en zorgt zo voor een groter getijverschil, en dit vooral opwaarts van de ingreep.

Naast effecten van inkortingen kan bij de rechttrekking van een rivier verondersteld worden dat de ruwheid van de rivier verlaagt. Hierdoor kan de getijgolf ter hoogte van de rechttrekking nog gemakkelijker doordringen. De afname van de ruwheid zorgt bijkomend

voor een daling van de hoogwaters en een stijging van de laagwaters afwaarts van de ingreep. Ter hoogte van de ingreep is de stijging van het hoogwater beperkt, en de daling van het laagwater versterkt. Opwaarts van de ingreep wordt het grootste effect ondervonden van de verlaagde ruwheid. De hoogwaters stijgen sterker en de laagwaters dalen sterker. Hierdoor treedt eveneens een grotere stijging van het getijverschil op (zie Tabel 3.2). Omwille van een afname van de ebduur opwaarts en ter hoogte van de rechttrekkingen treedt een daling van de getijasymmetrie op. Vloed- en bijgevolg ook ebvolumes nemen toe. De grotere procentuele wijzigingen langs de Durme in vergelijking tot de Boven-Zeeschelde geven het relatieve belang van de uitgevoerde ingrepen in beide rivieren aan.

Tabel 3.2 - Overzicht voorspeld direct effect hoog- en laagwater voor scenario met rechttrekkingen t.o.v. scenario met bochten (Coen et al., 2010)

Locatie	***Hoogwater***	***Laagwater***	***Getijverschil***
St-Amands	Geen effect (<1cm)	Geringe toename (1-5cm)	Geringe afname
Dendermonde	Geringe afname	Geringe toename	Kleine afname (5-10cm)
Uitbergen	Kleine toename (5-10cm)	Grote afname (>25cm)	Grote toename (>25cm)
Melle	Grote toename	Grote afname	Grote toename

Voor de beschouwde locaties langsheen de Zeeschelde alsook langs de Durme kan worden besloten dat inkortingen haast geen invloed hebben op de duur van stijging en daling.

3.1.2.2 Voorgaande studies

Werken uitgevoerd in de Scheldebedding en haar bijrivieren sinds 1850 (Meyvis, 1977a)

"Ten slotte dient opgemerkt te worden dat door de bochtafsnijdingen en het aanleggen van onoverstroombare dijken de komberging van de Schelde verminderde, waardoor het hydraulisch vermogen afwaarts de rechttrekking eveneens verminderde. Dit heeft dan uiteindelijk ook zijn invloed op het opwaartse gebied dat verbeterd werd, zodat men in dit op eerste zicht gesaneerde vak uiteindelijk meer afzettingen vaststelde. Toch mag men niet besluiten dat deze werken helemaal geen goede resultaten hebben opgeleverd. Het weggraven van hindernissen en de bochtafsnijdingen, hebben het doordringen van de getijgolf naar opwaarts ontegensprekelijk vergemakkelijkt, zodat het hydraulisch vermogen opwaarts toenam en dit niettegenstaande de vermindering waarvan hoger sprake.
Dit blijkt uit de toename van het gemiddelde getijverschil te Gentbrugge, Melle, Wetteren, Uitbergen en Schoonaarde in de periode der werken (tot 1930). Het is echter moeilijk te zeggen of dit enkel te wijten is aan de betere voortplanting van de tijgolf of aan de indijking van de rivier."

De afsluiting van de Durme (Taverniers, 1979)

"De grote rechttrekkingen van de Durme tussen Hamme en Waasmunster, die de rivier met zowat 2,3 km hebben ingekort, zijn niet gepaard gegaan met de verruiming der dwarssecties opwaarts ervan, alhoewel dit volgens de natuurlijke evenwichtstoestand van elke tijrivier zou moeten, aangezien de rechttrekkingen de opwaarts gelegen secties dus dichter bij de monding brengen. De rivier heeft zelf getracht om –vooreerst- dit evenwicht te herstellen door de dwarssecties juist opwaarts de rechttrekking te verruimen, hetgeen in 1950 nog duidelijk waarneembaar is als men de dwarssecties vergelijkt met deze van 1927. De rivier slaagde echter niet in dit opzet, met als rechtstreeks gevolg een verdere en vluggere verzanding van de Durme opwaarts de rechttrekking, maar erna ook in de rechttrekking en zelfs afwaarts ervan."

3.1.2.3 Synthese

De effecten op de waterstanden bij het rechttrekken van bochten langs de Schelde op basis van de 1D-modellering en waargenomen door Meyvis (1977a) volgen dezelfde trend. In beide studies wordt een toename van het getijverschil opwaarts van de rechttrekkingen vastgesteld. Zowel Meyvis (1977a) als Taverniers (1979) halen aan dat een rechttrekking leidt tot meer afzettingen ter hoogte van de rechttrekking. Langs de Durme is toename van het hydraulisch vermogen opwaarts van de ingreep in elk geval niet duurzaam doordat afwaarts van de ingreep het hydraulisch vermogen afneemt. De grotere procentuele volumewijzigingen in de Durme in vergelijking tot de Zeeschelde die volgen uit de modellering verklaren mogelijks waarom de Durme wel en de Boven-Zeeschelde minder te kampen heeft met de sedimentatieproblematiek.

Of de afzettingen in de Durme het gevolg zijn van de rechttrekking alleen, is nog de vraag. Na het verlies aan bovenafvoer trad voor 1930 in de bovenlopen reeds aanzanding op, voornamelijk rond en stroomopwaarts Lokeren (Taverniers 1979). Hiernaast stellen Meyvis (1977a) en Tison & Tison (1970) dat de vloedstroom richting Durme is afgenomen door de veranderingen aan de Durmemonding (ihkv. rechttrekking Driegoten). Tison & Tison (1970) besluiten bovendien dat het binnenstromen van 'des matériaux solides' richting Durme hierdoor werd vergemakkelijkt. De (verdere) afname van de bovenafvoer en de veranderingen aan de Durmemonding hebben vermoedelijk dus mee bijgedragen tot de aanzanding van de Durme. Het rechtgetrokken Scheldetraject tussen Gentbrugge en Melle is een ander voorbeeld waar het belang van het bovendebiet wordt gedemonstreerd. Rechttrekkingen veroorzaakte dus niet alleen de aanzanding maar versnelden vooral stroomafwaarts Lokeren dit proces.

3.1.3 Invloed van rechttrekkingen op Scheldehabitats

3.1.3.1 Areaal slikken en schorren

Effect op slikareaal

Een rechttrekking zorgt door de verkorting van de rivier voor afname aan de arealen van subtidaal en slik ter hoogte van de ingreep. Het oppervlak aan slik in een bochtig traject met convexe en concave oevers is per definitie groter dan een even lang recht traject met een concaaf oeverprofiel. Een bochtig traject heeft door de differentiatie in het stroompatroon bij voldoende sedimentbeschikbaarheid een hogere potentie om grotere oppervlaktes slik te herbergen dan een recht traject. Grote slikplaten in de Zeeschelde liggen grotendeels aan binnenbochten of aan een bochtig vaargeultraject (Van Braeckel et al., 2009).

Stroomopwaarts kan het slikoppervlak toenemen indien het getijverschil toeneemt. Het verlies aan areaal van slikken en schorren ter hoogte van de ingreep zou dan gecompenseerd worden door de verhoging van het getijverschil in het stroomopwaartse gebied. Een belangrijke voorwaarde hierbij is de aanwezigheid van voldoende ruimte voor het estuarium om lateraal uit te breiden. Door de trechtervormige structuur van de vallei is de potentiële stroomopwaartse areaalwinst vaak kleiner dan het lokaal en stroomafwaartse habitatareaalverlies (zie INTERMEZZO 1).

Effect op schorareaal

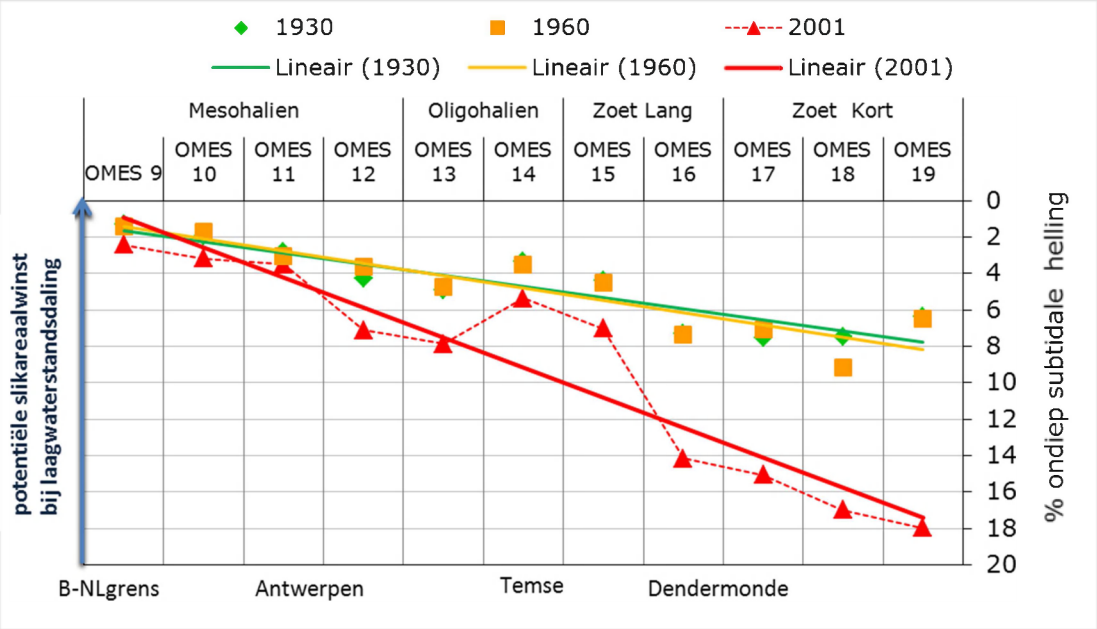
Naast het schorareaalverlies ter hoogte van de ingreep is bij een rechttrekking door de toename van het hoogwater een schorareaalwinst mogelijk. Een eerste voorwaarde is hierbij dat er laterale uitbreiding van het schor in het achterland mogelijk is. Een tweede voorwaarde is dat er voldoende sediment aanwezig is voor het schor om verticaal mee te groeien (Temmerman et al., 2004). Indien niet aan deze voorwaarden voldaan is, gaan schorren verloren door verdrinking of verkleinen ze tot de hoogste delen van het voormalige schor, een fenomeen dat beschreven wordt als 'coastal squeeze' (Doody, 2004).

INTERMEZZO 1 Potentiële invloed van wijzigingen in de laagwaterlijn op slikareaal in de Zeeschelde

Theoretisch gezien kan in een ruimtelijk onbegrensd estuarium een stijging van het hoogwater voor een uitbreiding van het schorareaal zorgen. Zoals in veel Europese estuaria ligt de Zeeschelde in een dichtbevolkt gebied waardoor de rivier meer en meer ingesnoerd wordt binnen een winterdijk en stuwen aan de stroomopwaartse uiteinden van het estuarium. Een stijging van hoogwaterstanden zorgt hierdoor veelal niet voor een significante schorareaalwinst. Een daling van het laagwater kan theoretisch een uitbreiding van het slikareaal veroorzaken, zei het ten nadele van eventueel aanwezige ondiepe subtidale platen (Figuur 1.).

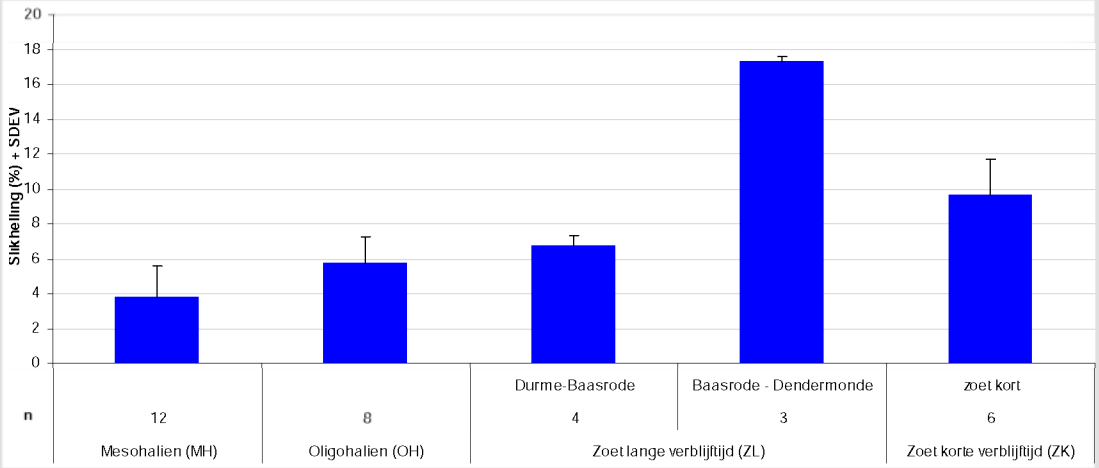
De invloed van een laagwaterstandsdaling of -stijging op slikoppervlak zou bij een eenvormige helling en constant getijverschil eenvoudig kunnen berekend worden. Deze eenvormigheid is van nature niet aanwezig in langgerekte estuaria met een trechtervormige opbouw. In stroomopwaarts richting vermindert hierbij vaak de potentiële ruimte voor slik en schor. Daarenboven kan deze ruimte veranderen doorheen de tijd.

Figuur 3.2. illustreert dit voor de Zeeschelde aan de hand van het verloop langsheen de Zeeschelde van de potentiële slikareaalwinst bij een gemiddelde laagwaterdaling. Uitgaande van een behoud van de morfologie, is een slikwinst omgekeerd evenredig met de ondiep subtidale helling (gemiddeld per OMEScompartiment, 2e as). In de periode 1930 en 1960 is bij een laagwaterdaling een potentiële slikareaalwinst het hoogst en daalt slechts geleidelijke in stroomopwaartse richting. Tot 1960 bleef de ondiep subtidale helling van de Belgisch-Nederlandse grens tot Baasrode gemiddeld relatief zwak (<4,5% tot OMES15). In de periode tussen 1960 en 2001 nam de gemiddelde helling sterk toe. De grootste versteiling situeert zich stroomopwaarts Antwerpen (OMES12&13) en vooral stroomopwaarts Baasrode (OMES 16 en hoger). In die zones resulteert elke daling van de laagwatergrens in geen tot een verwaarloosbare slikoppervlakte. Voor 1960 zouden de grootste habitatverschuivingen optreden stroomafwaarts Baasrode. Recent enkel in de mesohaliene zone (OMES9-11) en in beperktere mate tussen Rupelmonde en Temse (OMES 14).



Figuur 3.2 - Historische evolutie van de ondiep subtidale helling (%) langsheen de lengteas van de Zeeschelde (per OMES segment en saliniteitszone).

Op basis van recent ingemeten slikhellingen (Piesschaert et al. 2008) kan zowel de potentiële invloed van een laagwaterstijging als een laagwaterdaling ingeschat worden. De gemiddelde helling van het slik per saliniteitszone is weergegeven in Figuur 3.3. De zoete zone met lange verblijftijd is opgesplitst in 2 delen met Baasrode als grens.



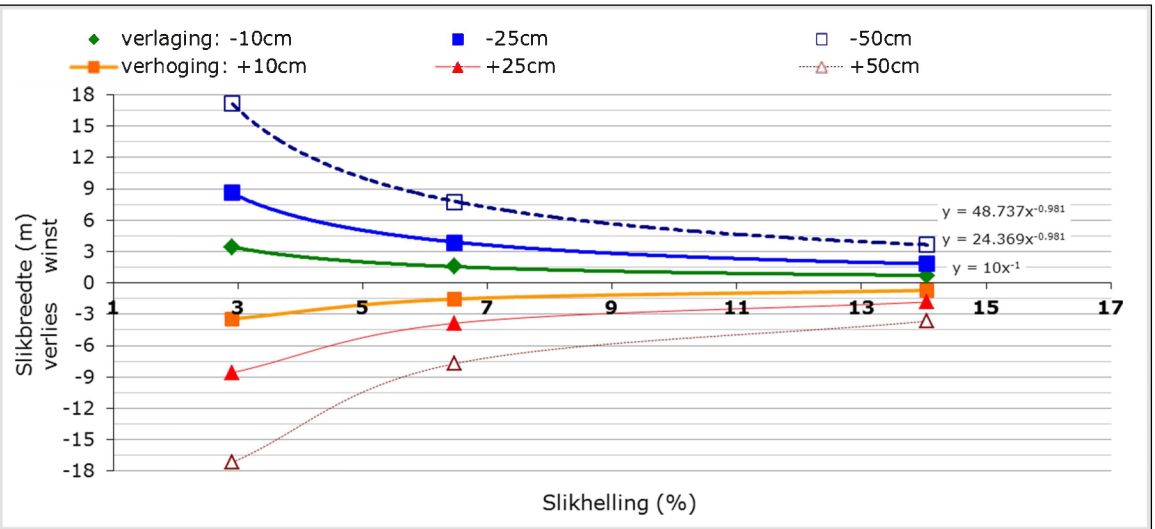
Figuur 3.3 - Gemiddeld gemeten hellingspercentage van de voornaamste slikken per saliniteitszone (2007-2008, n=33)

Op basis van de slikhelling van de ingemeten dwarsraaien zijn 3 clusters afgeleid op basis waarvan de slikhellingen in 3 categorieën konden worden onderverdeeld, namelijk een zwak, matige en steil hellende slikcategorie. Voor elk van deze categorie zijn voor een stijging of daling van het GLWS met 10 cm, 25 cm of 50 cm het verlies of winst aan slikbreedte bereken (Figuur 3.4).

1) Bij de *zwak hellende slikken* (gemiddeld hellingspercentage 2,9% ± 1,25 stdev), die voornamelijk gelegen zijn in de mesohaliene zone (maar ook Ballooi en Temse) zal een stijging of daling van het GLWS met 10 cm, 25 cm of 50 cm een gemiddelde verandering van de slikbreedte veroorzaken van respectievelijk 3,4 m; 8,6 m en 17 m. Omgerekend naar oppervlaktes voor brede slikoevers in de mesohaliene zone (voldoende, matig tot zeer goede oeverkwaliteit, lengte: 38km) zou dit een areaalwinst/verlies van 10, 30 tot zelfs 65 ha betekenen. Dit kan bv. de slikwinst van 60 ha in het mesohalien tussen 1970 en '80 voor de helft verklaren.

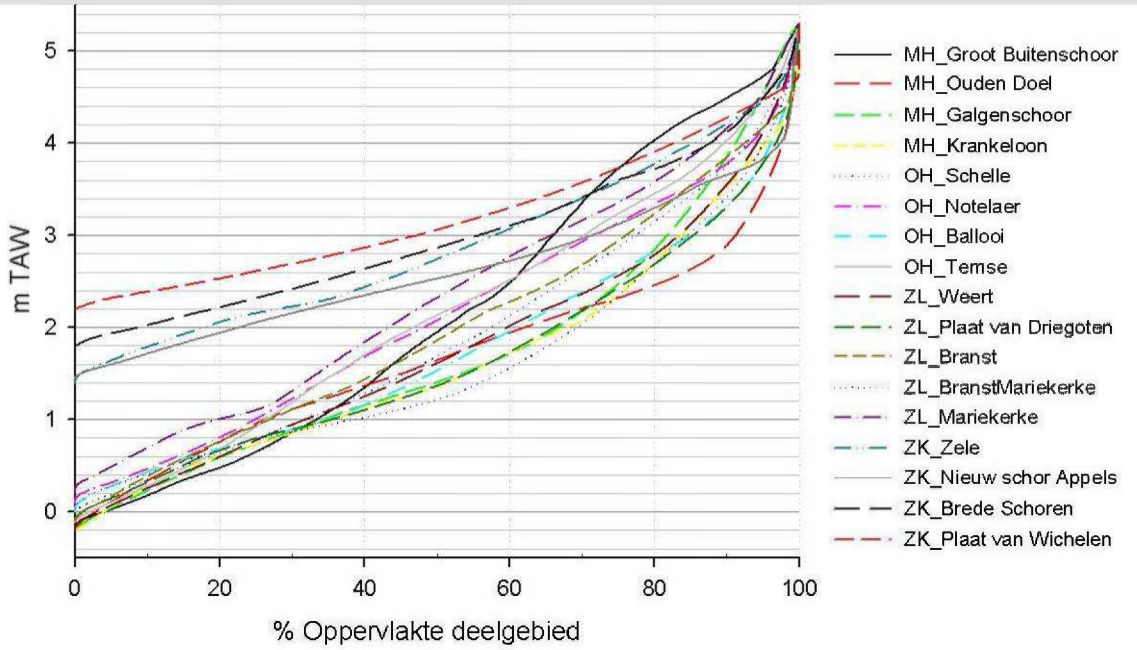
2) Bij *matig hellende slikken* (gemiddeld hellingspercentage 6,5 ± 0,9 stdev%), courant in de oligohaliene zone en de zoete zone met lange verblijftijd (Mariekerke – Durmemonding), zorgen dezelfde laagwaterstandverandering voor een slikgrensverschuiving van 1,5 m, 4 m en 7,7 m. Voor de oligohaliene zone met matig tot goede oevers over 20 km kan dit een areaalverandering van 3 tot 8 ha betekenen

3) Bij *steil hellende slikken* (14% ± stdev:3,2%) vaak voorkomend in de zoete zone tussen Melle en Dendermonde, hebben diezelfde laagwaterstandveranderingen een slik-watergrensverschuiving van 0,7 m, 1,8 m en 3,7 m als gevolg. Dit geeft over een kort, matig tot goed ecologisch oevertraject in de zoete zone met korte verblijftijd van slechts 6,5 km een areaalverandering van 0,5 tot 1,2 ha.



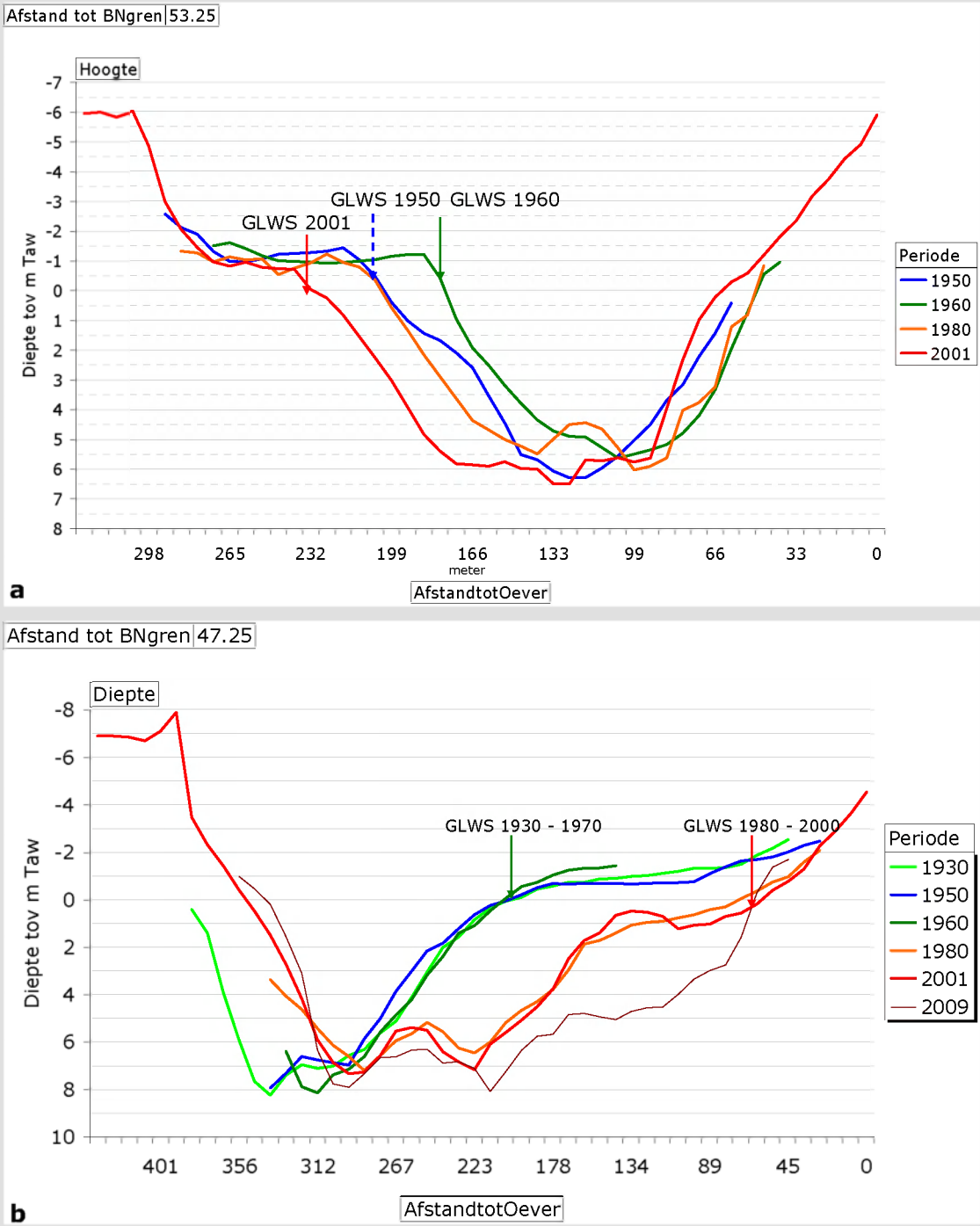
Figuur 3.4 - Relatie slikhelling en slikbreedteverlies of –toename bij verschillende waterstandsveranderingen ter hoogte van de slik-subtidaalgrens.

Op de hypsometrische curves van enkele slikplaten binnen elke saliniteitszone is te zien dat de relatieve bijdrage van veranderingen in de slikondergrens toeneemt in stroomopwaartse richting (Figuur 3.5). Bij een hypothetische 50 cm stijging van de slikwatergrens zou dit voor een verlies van gemiddeld 9, 14, 19 en 25% van het slikoppervlak in de opeenvolgende saliniteitszones zorgen (MH, OH, ZL, ZK).



Figuur 3.5 - Relatie tussen procentueel oppervlak van verschillende slikgebieden per saliniteitszone en de absolute hoogte (mTAW)

Hoewel er zich sinds de metingen een daling van de slikwatergrens voordoet, is in het verleden de slikoppervlakte zelden toegenomen. Samen met de slikondergrens daalde meestal ook de breedte van het slik, zoals te zien op het dwarsprofiel van de Plaat van Driegoten en de slikplaat van Temse gelegen in een zone met een historische daling van het GLWS van 50 cm. Bij een sterk terugschrijden van het slik nabij Driegoten op de linkeroever is na aanpassing van de sectie slechts een lichte toename van het slik aan de rechteroever zichtbaar.



Figuur 3.6 - Historische evolutie van het dwarsprofiel ter hoogte van a) de Plaat van Driegoten, b) de Plaat van de Onbekende – Temse met indicatie van de hoogte en slikondergrens

3.1.3.2 Kwaliteit van slikken en schorren

Effect op slikkwaliteit
Ter hoogte van de ingreep boeten de slikken in aan morfologische diversiteit. 'In het verleden werden grillige riviertrajecten met zowel convexe als concave oeverdelen vervangen door een concave geul '(Meyvis, 1977a). Niet alleen daalt het potentieel voor laagdynamisch slik door het verdwijnen van de convexe oevers, ook de habitatdiversiteit gaat verloren en daarmee de kansen voor diverse levensgemeenschappen. Verlies aan bodemreliëf zowel dwars op de oevers als longitudinaal (pool-riffle patroon, vloedgeultjes op slikgebieden) vernietigt de aspecten die belangrijk zijn voor gunstige leef- en paaigebieden van vissen van de verschillende ecologische gilden die in de Zeeschelde essentieel habitat vinden om één of meerdere stadia van hun levenscyclus door te brengen (Stevens et al., 2009; Breine, 2009).

Stroomopwaarts van de ingreep zou de toename van het getijverschil een relatieve groei van het middelhoog slikecotoop kunnen veroorzaken: door de kleine toename van het hoogwater verhoogt de bovengrens van middelhoog slik (i.e. 25%-overspoelingsduur). De benedengrens (i.e. 75%-overspoelingsduur) van dit ecotoop verschuift des te meer door de grote laagwaterdaling. Indien deze slikzone onverhard is zou dit het ecologisch potentieel kunnen ten goede komen. Door de steile oevers in het stroomopwaartse deel is dit effect echter relatief beperkt. Voor de rechttrekkingen tussen Dendermonde en Melle (ZK) geven de 1D-modelresultaten een verschuiving van ongeveer 7 cm voor de bovengrens en 10 à 15 cm voor de benedengrens van het middelhoog slik aan. Dit effect is het grootst in Schoonaarde, Uitbergen en Melle. De ecologische meerwaarde hiervan voor slikecotopen is echter beperkt door de steile helling en de breuksteen verharding in dit genormaliseerd riviertraject.

De vermindering van de ruwheid van de rivier zorgt niet alleen ter hoogte van de ingreep maar ook stroomopwaarts voor een grotere hydrodynamiek waardoor potenties voor laagdynamische ondiep waterhabitat, slik- en pionierschorzones verminderen. Het vloedvolume stijgt verhoudingsgewijs sterker dan het ebvolume. In een eengeulenstelsel treden de grootste stroomsnelheden op de slikzone op bij vloed (Maximova et al. 2010b). Bij een relatief sterkere stijging van het vloedvolume tov ebvolume samen met de vloedsnelheden, wordt vooral een toename van de hydrodynamische druk op de slikecotopen en pionierschorzones verwacht.

Effect op kwaliteit van schor en overstromingsgebieden
Kwaliteitsvolle diverse en heterogene schorren kunnen stand houden daar waar zich een volledige slik-schorre cyclus kan voltrekken. Vooral de overgangszone van slik naar schor moet daartoe over voldoende ruimte en hydromorfologische variatie beschikken (Allen 2000, Van der Wal et al., 2008, Kirwan et al., 2010). Verlies van convexe oevers en toename van het vloedvolume brengen verlies aan diversiteit in deze pionierszone met zich mee en zetten deze ook onder verhoogde hydrodynamische druk.
Gezien de grote sedimentvracht in de Zeeschelde groeien de hogere schorzones mee met het hoogwater en hogen ze geleidelijk op. Het dwarsprofiel van de slik-schorzone wordt steiler door deze ophoging, enerzijds omdat het laagwater niet mee verhoogt en het gemiddeld getijverschil toeneemt, anderzijds doordat de dijklichamen zijdelingse schoraangroei verhinderen. Deze versteiling van het dwarsprofiel betekent een verlies aan schorkwaliteit omdat de verschillende zones in elkaar gedrukt worden, de hydrodynamische druk toeneemt en omdat de hogere schorren dieper draineren waardoor natte schorvegetaties minder kansen krijgen (Van Braeckel et al., 2009). Indien schorophoging kan gepaard gaan met laterale groei schuiven de verschillende zones op, is er ruimte om hydromorfologische diversiteit op te bouwen en is het ecologisch kwaliteitsverlies relatief kleiner.

Foto 4 Voormalige vloeimeersen langs de Schelde in Berlare in de zoete zone met korte verblijftijd; former flooding area along the Schelde in the most upstream freshwater reach (Vildaphoto-Yves Adams)

3.2 Bovenafvoer

3.2.1 Beschrijving van wijzigingen in bovenafvoer

3.2.1.1 Inleiding

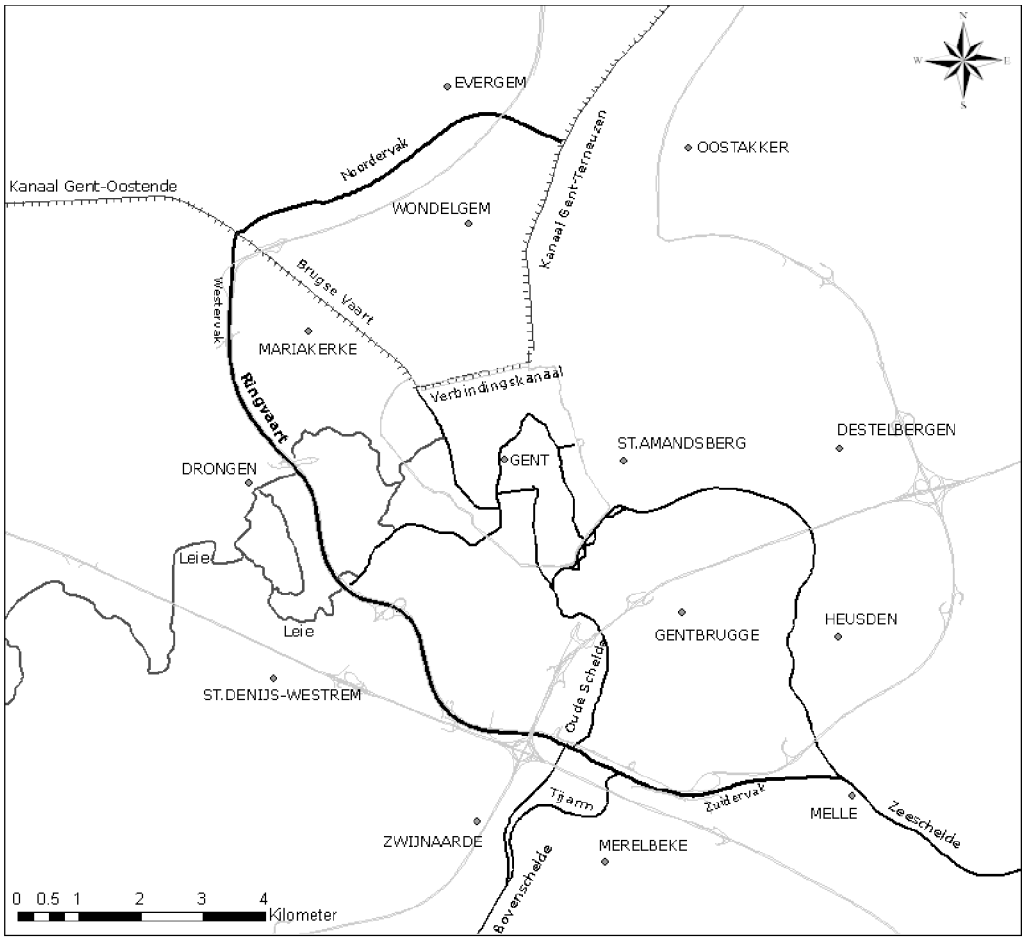
Verschillende ingrepen op de Bovenschelde en langs de Leie hebben gezorgd voor wijzigingen in de bovenafvoer naar de Zeeschelde. Het doel van deze ingrepen had meestal betrekking op de scheepvaart opwaarts Gent, maar echter ook op het verminderen van de piekafvoer richting Gent.

3.2.1.2 Uitgevoerde werken met invloed op bovenafvoer

Volgende antropogene ingrepen vanaf de 19e eeuw hadden een grote invloed op de bovenafvoer van de Zeeschelde en haar zijrivieren (Van Braeckel et al., 2006 en Meyvis, 1977a):

- 1825-1827: Uitgraven van het kanaal Gent-Terneuzen. Dit kanaal wordt deels gevoed door het bovenstrooms gebied van de Durme via de Moervaart. Door deze aftapping daalde het bovendebiet van de Durme zeer sterk, wat mee aan de basis ligt van de sterke verzanding vanaf het begin van de 20e eeuw.
- 1847-1862: Aanleg van het afleidingskanaal van de Leie (Schipdonkkanaal) tussen Deinze en Heist. Dit kanaal onttrekt een belangrijk deel van het bovendebiet aan de Zeeschelde. In de zomer voert dit kanaal de (vroeger sterk gepollueerde) Leiewaters af en in de winter een deel van de normale wassen van deze rivier. Volgens Meyvis (1977a) had dit tot gevolg dat het getij plots tot in Gent voelbaar werd, terwijl dit voorheen slechts sporadisch gebeurde. Zeker is dat het getijverschil vergrootte. Er treedt eveneens een verlaging op van de hoogwaterstanden. Dit zou te verklaren zijn door de opgetreden debietsvermindering. Wanneer in de zomer de Leiewaters afgevoerd werden naar het afleidingskanaal, bleef een deel van het Scheldewater en de Bovenschelde noodzakelijk om het kanaal Gent-Terneuzen en Gent-Oostende op peil te houden, zodanig dat in deze periode van het jaar te Gentbrugge nagenoeg geen oppervlaktewater geloosd werd. In de winter werd men verplicht de wassen voornamelijk langs deze kanalen af te voeren, teneinde de stad Gent tegen overstroming te beschermen.
- 1969: Afwerking van de Ringvaart rond Gent en sluiten van de schutsluis aan Gentbrugge. Hierdoor werd het bovendebiet tussen Gentbrugge en Melle verwaarloosbaar en verzandde dit riviertraject. Teneinde de scheepvaart op de Bovenschelde te vergemakkelijken werden reeds voor de Tweede Wereldoorlog vele rechttrekkingen uitgevoerd op dit riviertraject. Het gevolg hiervan was dat de wassen van de rivier sneller werden afgevoerd wegens de grotere bodemhelling. Door het ontbreken van een verbetering van de afvoermogelijkheden in het Gentse werden hier overstromingen veroorzaakt. Na de oorlog was de toestand zo kritiek geworden, dat men diende te beslissen ofwel alle verdere verbeteringswerken aan Schelde en Leie stop te zetten ofwel een middel te zoeken om Gent van overstromingen te vrijwaren. De aanleg van een afleidingsvaart rond Gent, waarlangs de wassen van Schelde en Leie rechtstreeks naar de Zeeschelde konden vloeien, drong zich op. De aanleg van zo een afleidingsvaart voldeed eveneens aan een economische noodzaak. Immers, de doortocht van Gent veroorzaakte voor het toenemend scheepvaartverkeer veel vertragingen en vrachtbeperkingen. De Ringvaart (zie Figuur 3.7), die de vijf bevaarbare waterwegen (Zeeschelde, Bovenschelde, Leie, kanaal Gent-Oostende en Zeekanaal Gent-Terneuzen) in het Gentse verbindt, voldoet volledig aan deze eisen. Het gedeelte van de Ringvaart tussen de sluizen te Merelbeke en de monding in Melle is aan getij onderhevig. De gezamenlijke lengte van de tijarm en het zuidervak (verbinding tussen Boven- en Zeeschelde) van de vaart is nagenoeg dezelfde als de lengte van de Zeeschelde tussen Gentbrugge en Melle. De aansluiting van het zuidervak met de Zeeschelde werd door een ruime

bocht verwezenlijkt. In dit vak heeft het nieuwe kanaal dezelfde natte sectie als de Zeeschelde te Melle. Deze zuiderverbinding werd in 1969 in gebruik genomen.



Figuur 3.7 – Situering Ringvaart rond Gent

3.2.2 Effectanalyse van wijzigingen in bovenafvoer

3.2.2.1 Huidige studie

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 (en zo naar de Zeeschelde) 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 zoutintrusie in het kanaal Gent-Terneuzen. Het overblijvende debiet werd steeds naar de Zeeschelde gestuurd om sedimentatie in de Boven-Zeeschelde te beperken[5]. Vermoed wordt dat het toegenomen waterverbruik de laatste jaren

[5] *Uit een verslag van Glaudot en Blockmans uit 1931 (Meyvis, 1977) blijkt dat de resultaten van de werken tussen Gent en Dendermonde niet helemaal aan de verwachtingen voldeden. Peilingen in de Boven-Zeeschelde gaven aan dat sedimentatie optrad en dat sommige secties zelfs kleiner waren dan voor de werken. Hetzelfde rapport vermeldt dat in de zomer 'te Gentbrugge nagenoeg geen opperwater geloosd werd'. Meyvis (1977) voegt hieraantoe dat ook de afname van het hydraulisch vermogen afwaarts de rechttrekkingen heeft bijgedragen tot de toename in afzettingen.*

gezorgd heeft voor een vermindering van de toevoer naar de Zeeschelde in droge(re) perioden.

Op basis van bovenstaande gegevens werden hypothetische debietreeksen voor Melle aangemaakt voor de periode 1970 – 2000 in een scenario waarbij de Ringvaart en vooral de stuw van Evergem niet operationeel zouden zijn en de afvoermogelijkheden via het Afleidingskanaal en het Kanaal Gent-Oostende blijven behouden. Deze debietreeksen, met afvoer vermindering van 75-85% en onderscheid tussen was-, normale en droge perioden, werden doorgerekend om na te gaan in welke mate de debietswijzigingen bijdroegen tot de meer opwaartse getij-indringing (Coen et al., 2010).

Het opleggen van een lager bovendebiet aan de opwaartse rand van het model in Merelbeke zorgt voor een daling van zowel de hoog- als laagwaters. Hierbij is de daling van de laagwaters dubbel zo groot als deze van de hoogwaters, er is dus een stijging van het getijverschil. In Dendermonde verdwijnen deze effecten haast volledig.
De getijasymmetrie wordt kleiner. Aan de opwaartse rand, waar de afname van het bovendebiet opgelegd wordt, treedt een toename op van de duur van stijging (5 à 10 minuten), en een afname van de duur van daling van het water. In Uitbergen bedraagt de verandering van de duur van stijging en daling minder dan 5 minuten. De toenames en afnames zijn in beide gevallen dus eerder gering.

Tabel 3.3 - Overzicht voorspeld direct effect hoog- en laagwater voor huidige situatie t.o.v. situatie met hoger bovendebiet (Coen et al., 2010)

Locatie	***Hoogwater***	***Laagwater***	***Getijverschil***
Dendermonde	Geringe afname (1-5cm)	Kleine afname (5-10cm)	Geringe toename (1-5cm)
Uitbergen	Kleine afname (5-10cm)	Matige afname (10 – 25cm)	Kleine toename (5-10cm)
Melle	Matige afname (10 – 25cm)	Matige afname (10 – 25cm)	Matige toename (10 – 25cm)

3.2.2.2 Voorgaande studie

Werken uitgevoerd in de Scheldebedding en haar bijrivieren sinds 1850 (Meyvis, 1977a)

Volgens Meyvis (1977a) had de aanleg van het afleidingskanaal van de Leie tussen 1847 en 1862 tot gevolg dat het getij plots tot in Gent voelbaar werd, terwijl dit voorheen slechts sporadisch gebeurde. Er treedt eveneens een verlaging op van de hoogwaterstanden. Dit zou te verklaren zijn door de opgetreden debietsvermindering.

3.2.2.3 Synthese

Door verlaging van de bovenafvoer kunnen zich twee effecten voordoen. Enerzijds kan de debietsvermindering van opwaarts zorgen voor lagere waterstanden, anderzijds kan een verlaging van de bovenafvoer het getij verder laten doordringen wat zich uit in een stijging van het getijverschil.
In de simulatieresultaten van de huidige studie wordt een daling van de hoogwaterstanden waargenomen. Deze is kleiner dan de daling van de laagwaters. Ook zorgt het verhogen van de bovenafvoer voor een geringe terugdringing van het getij.
De resultaten van de huidige studie en de waarnemingen van Meyvis (1977) wijzen dus in dezelfde richting.

INTERMEZZO 2 Verschuiving van de saliniteitsgradiënt bij hoge en lage afvoer

Een systematische verhoging of verlaging van de bovenafvoer beïnvloedt niet enkel de opwaartse waterstanden, maar ook een de ligging van de saliniteitsgradiënt. Het effect hiervan kan geanalyseerd worden aan de hand van meetgegevens: een droge en een natte periode met gelijkaardige getijcondities ter hoogte van de monding worden met elkaar vergeleken.

Methodologie

De conductiviteit is een maat voor de saliniteit en kan eenvoudig gemeten worden. Aangezien voor de Zeeschelde echter naast NaCl en $MgCl_2$ zijnde de voornaamste elementen van zeezout, ook andere zouten een bijdrage leveren aan het zoutgehalte, is de relatie tussen de conductiviteit en de saliniteit niet eenvoudig te leggen. Voor zoute milieus kan gebruik gemaakt worden van de UNESCO-formules doch deze kan niet toegepast worden voor brakke milieus. Daarom wordt het beeld geschetst aan de hand van de conductiviteit (omgerekend naar een constante temperatuur).

Maandelijks worden er door het Waterbouwkundig Laboratorium kenteringvaarten uitgevoerd waarbij onder andere de conductiviteit en de temperatuur wordt gemeten op 17 punten tussen boei 79 (thv Bath) en Rupelmonde. De gemeten conductiviteit wordt omgerekend naar een conductiviteit bij 20°C. Deze vaarten worden zowel bij kentering hoogwater als bij kentering laagwater uitgevoerd. Op basis van deze gegevens wordt een beeld verkregen van de gradiënt van de conductiviteit in de Beneden-Zeeschelde.

Om de representatieve vaarten te kunnen selecteren werd op basis van de pentadegemiddelde debieten te Schelle (methode ir. E. Taverniers) de vaart geselecteerd die overeenkomt met een natte (winter) situatie en een droge (zomer) situatie. Dit werd uitgevoerd voor zowel 2008 als 2009.

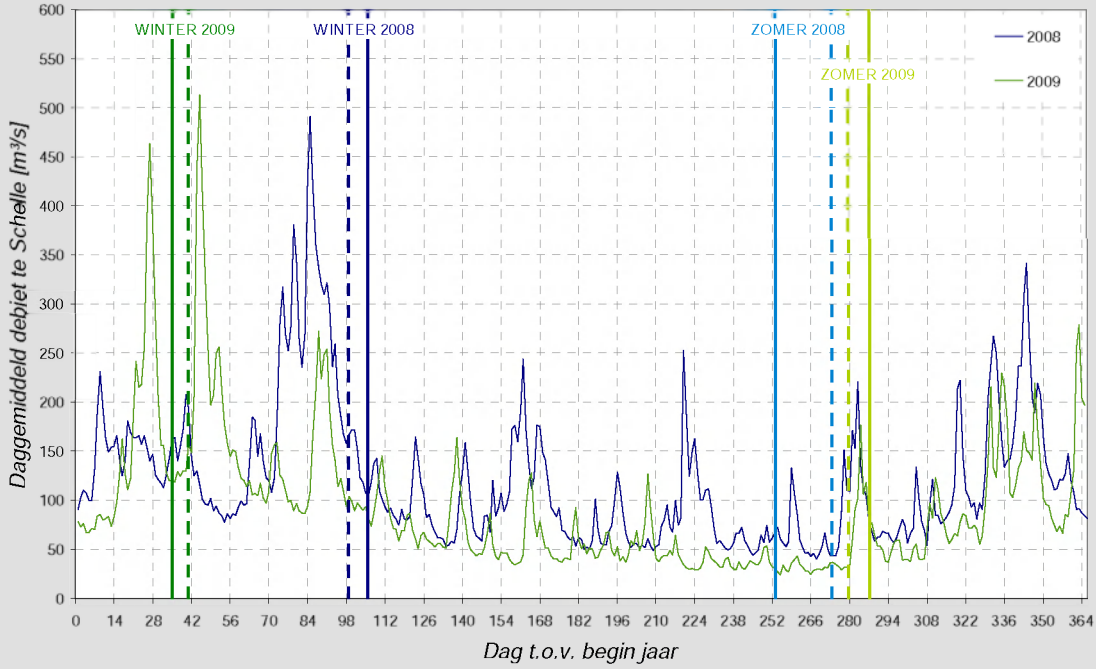
Resultaten

Onderstaande Figuur 3.8 geeft het verloop van de daggemiddelde debieten te Schelle voor de jaren 2008 en 2009. Op basis hiervan werden volgende vaarten representatief bevonden:

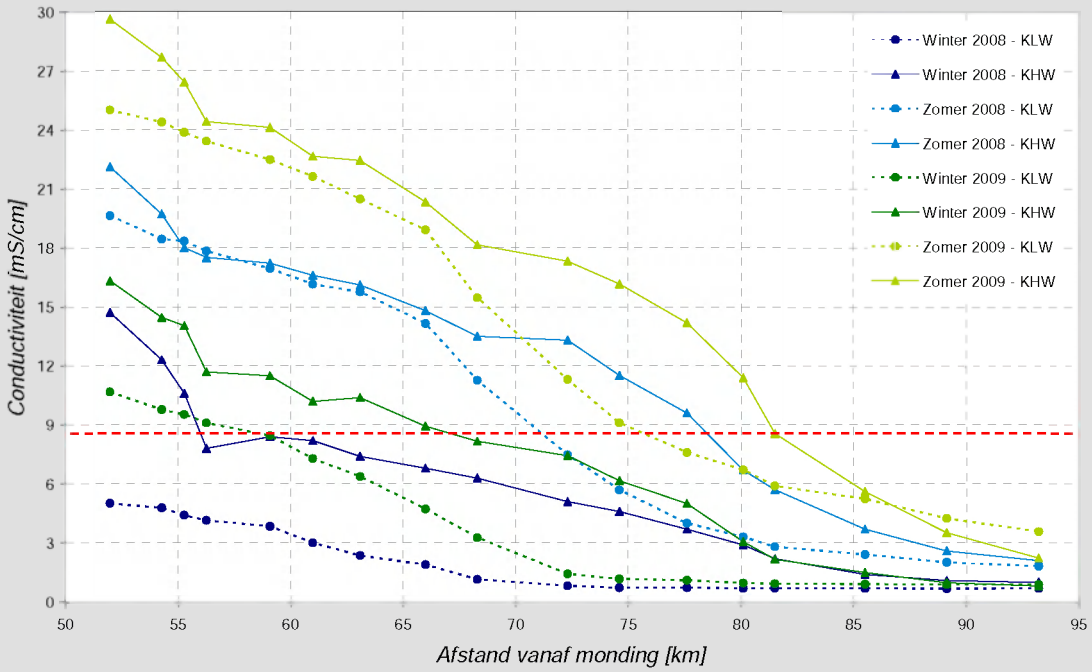
Maand vaart	Type	Beschrijving
April 2008	Nat	Na was van circa 4 weken met Q > 250 m³/s en piek Q ~ 450 m³/s
September 2008	Droog	Na droge zomerperiode met enkele kleinere wassen (Q ~ 250 m³/s)
Februari 2009	Nat	Na korte was met piek Q ~350 m³/s
Oktober 2009	Droog	Na zeer droge zomer, met periode van 10 weken met Q < 50 m³/s

Op volgende Figuur 3.9 is af te leiden dat de variatie van de conductiviteit op één punt groot kan zijn. Voor een natte (winter) situatie zal bij kentering laagwater de conductiviteit kleiner zijn dan 1 mS/cm tot net afwaarts Oosterweel (KM 72). Ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens (KM 56) bedraagt de conductiviteit circa 5 mS/cm (2008). Mogelijk wordt deze waarde ook in 2009 bereikt na de 2^{e} was van maart 2009. Bij kentering hoogwater ligt de grens van 1 mS/cm ter hoogte van Kruibeke (KM 85). Ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens bedraagt de conductiviteit circa 11 mS/cm (2008).

Voor een droge (zomer) situatie zal bij kentering laagwater de conductiviteit groter blijven dan 3 mS/cm tot Kennedytunnel (KM 80). Ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens bedraagt de conductiviteit circa 18 mS/cm (2008). In het geval van een zeer droge zomer (cfr. 2009) zullen de conductiviteitswaarden aanzienlijk hoger liggen: zo blijft de conductiviteit ter hoogte van Rupelmonde (KM 93) hoger dan 3 mS/cm, terwijl ter hoogte van de grens de conductiviteit 24 mS/cm bedraagt. Bij kentering hoogwater ligt de grens van 3 mS/cm net opwaarts Kruibeke (KM 87). Ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens bedraagt de conductiviteit circa 18 mS/cm (2008).



Figuur 3.8 - Verloop daggemiddelde debieten te Schelle voor 2008 en 2009 (verticale lijnen geven moment van kenteringvaart aan)



Figuur 3.9 - Verloop langsgradiënt conductiviteit Beneden-Zeeschelde 2008 en 2009 voor natte (winter) en droge (zomer) periode[6],

[6] *In zoute milieus komt een conductiviteitgrens mesohalien-oligohalien: 8,95 mS/cm of 5 PSU.*

3.2.3 Invloed van wijzigingen in bovenafvoer op Scheldehabitats

3.2.3.1 Areaal slikken en schorren

De daling van het hoogwater vermindert het laterale bereik van de estuariene invloed. Binnen één gegeven sectie wordt de totale oppervlakte subtidaal, slik en schor dus kleiner bij onveranderde oeverstructuur. Doordat het laagwater meer daalt en het getijverschil dus toeneemt neemt is er echter in diezelfde sectie theoretisch gezien toename van het slikpotentieel ten koste van het subtidaal. De schorgordel schuift in de oeverzone naar beneden door de verlaging van het hoogwater. De bovenste slikzone kan pionierzone worden op voorwaarde dat er luwe zones zijn die niet met breuksteen verdedigd zijn. De hoogste schorzones vallen door de daling van het hoogwater buiten de estuariene invloed en gaan verloren.
De verdere getij-indringing verhoogt het potentieel areaal voor slikken en schorren.

In de zoete zone met korte verblijftijd bleef de invloed van zowel getij-indringing als waterstanden op het areaal van slik en schor eerder beperkt omdat er op zich zeer weinig ruimte is voor slikken en schorren. Het estuarien gebied is hier immers smal en recht en de oevers zijn verdedigd met breuksteen. In de Durme en het traject Melle-Gentbrugge echter is het aandeel slik en schor zeer groot geworden ten opzichte van het areaal subtidaal na het recht trekken van grote delen en het verdwijnen van de bovenafvoer.

3.2.3.2 Kwaliteit slikken en schorren

Effect op slikkwaliteit
Verlaging van het bovendebiet zorgt voor een grote daling van de laagwaters waarbij zowel de 25%- als de 75%-overspoelingsduur grens zakken (Coen et al., 2010). Middelhoog slikecotoop breidt uit met een verlies aan het dynamischer laag slik. Hoog slik breidt uit ten koste van middelhoog slik. Hierbij blijft de ecologisch kwaliteit vergelijkbaar. Hierdoor kan bij aanwezigheid van onverharde slikzones potentieel ecologisch kwaliteitswinst optreden.
Bijkomend zorgt daling van de bovenafvoer voor verminderde stroomsnelheid bij eb. In de Zeeschelde kan hierdoor de globale hydrodynamiek potentieel afnemen waardoor kansen toenemen voor laagdynamische slikecotopen. In de Durme en het traject Melle-Gentbrugge zijn de slikken niet alleen toegenomen in relatieve oppervlakte, ze zijn ook laagdynamisch en herbergen hoge dichtheden aan bodemdieren (Speybroeck, 2011).

Naast het effect op overspoelingsregime beïnvloedt vermindering van de bovenafvoer ook de saliniteitgradiënt. Een vergelijking tussen droge en natte perioden (Figuur 3.9) toont een verschuiving van de oligohaliene zone met 15 km stroomopwaarts. Hierdoor wordt de zone met grote saliniteitsschommelingen langer (Van Damme et al., 2000). Weinig bodemdiersoorten zijn bestand tegen dit variabel saliniteitsregime waardoor sterke shiften en/of uitbreiding van deze zone een diversiteitsverlies zou kunnen betekenen.

Verlaging van de basisbovenafvoer verhoogt ook het risico in sterkere debietschommelingen bij piekafvoeren. Hierdoor krijgen bodemgemeenschappen in de lichtbrakke en brakke zones plots zoet water over zich heen en worden de zoetwater planktongemeenschappen naar de zoutere zones gespoeld (Van den Bergh et al., 2005). Lionard et al. (2005) en Muylaert & Vijverman (2006) wijzen ondermeer op de sterke negatieve invloed van hoge piekafvoeren op de planktongemeenschappen in de Zeeschelde. Het verminderen van hoge piekdebieten tegenover lage basisafvoer wordt in de Ontwikkelingsschets 2010 voor het Schelde-estuarium dan ook als belangrijke doelstelling vooropgesteld voor het functioneel ecologisch herstel van het estuarium (Van den Bergh et al, 2003; ProSes, 2005). Het hoog- en laagwaterbeheer aan de getijdegrens, bvb. rond Gent, drukt een belangerijke stempel op de normale afvoeromstandigheden, deze bij hoge bovenafvoeren en de onderlinge verschillen.

Mogelijks zal dit nog aan belang winnen tgv. de verwachte klimaatveranderingen. Binnen het ganse Zeescheldebekken mogen de bijdragen van Dender- en Rupelbekken ook niet vergeten worden.

Effect op kwaliteit van schor

Indien ten gevolge van een daling van het hoogwater schoruitbreiding in een luwe pionierzone mogelijk is, draagt dit bij tot de verjonging van schorren. Dit betekent een verbetering van de schorkwaliteit. Een knelpunt blijft natuurlijk de aanwezigheid van potentiële pionierzones. Daarnaast kan stroomopwaartse verschuiving van de zoutinvloed een verschuiving van de vegetatie zones veroorzaken: wilgenvloedstruwelen en –bossen zullen in deze zone wijken voor rietvegetaties en andere plantengemeenschappen die beter bestand zijn tegen zoutinvloed.

Foto 5 Verdedigd slik met breuksteen en wiepen op steile Scheldeoevers in het zoetwater gebied; riprap and wood protection on steep tidal mudflats in the fresh water zone (Vildaphoto-Yves Adams)

3.3 Inpoldering

3.3.1 Beschrijving van de ingreep inpoldering

In de afgelopen eeuwen zijn er vele inpolderingen gebeurd langs het Schelde-estuarium. Polders werden gecreëerd door het bouwen van dijken en uitwateringen om de laaggelegen gebieden te beschermen tegen overstromingen. In Bijlage 2 wordt een overzicht gegeven van de ingepolderde gebieden langs de Zeeschelde en langs de Westerschelde na 1850.
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 dit schor gestockeerd werd. De eerste tekenen van drooglegging zijn teruggevonden in de Middeleeuwen. Omwille van de opeenvolgende inpolderingen tijdens de voorbije eeuwen, is het ruimtelijk bergingsvolume van het estuarium afgenomen.
Een polder kan na ontpoldering als een bergingsvolume werken wanneer het waterpeil in het estuarium hoger is dan het niveau van het ontpolderde gebied. Echter een polder dichtbij de Noordzee zal naar verwachting minder effect hebben dan een polder meer stroomopwaarts.

3.3.2 Effectanalyse van inpolderingen

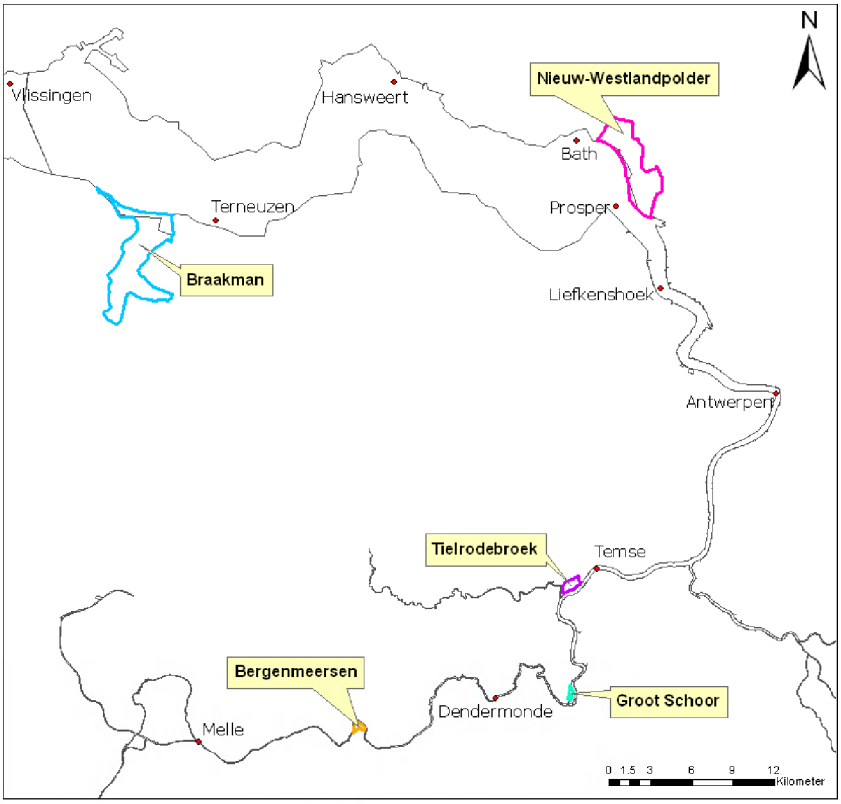
3.3.2.1 Huidige studie

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 (ingepolderde oppervlakte) (zie Figuur 3.10):

- Westerschelde: Braakman (1872 ha)
- Mesohaliene zone: Nieuw-Westlandpolder (1351 ha)
- Oligohaliene zone: Tielrodebroek (87,5 ha)
- Zoete zone met lange verblijftijd: Groot Schoor (Hamme) (23 ha)
- Zoete zone met korte verblijftijd: Bergenmeersen (35 ha)

Voor deze gebieden werd telkens in een aparte scenarioberekening het effect van inpoldering nagegaan, zowel met het 1D- als met het 2D-model (uitgezonderd Bergenmeersen enkel in 1D). In een bijkomend scenario werd het gecombineerd effect van vier polders, met name Braakman, Nieuw-Westlandpolder, Tielrodebroek en Groot Schoor, eveneens bestudeerd.
Voor de polders Braakman en Nieuw-Westlandpolder bedraagt het intertidaal volume in de polder of de komberging circa 5% van het lokale vloedvolume. Om een betere vergelijking mogelijk te maken tussen de polders in de verschillende saliniteitszones werd voor de polders Tielrodebroek, Groot Schoor en Bergenmeersen het hoogtegrid zodanig aangepast dat ook hier het intertidaal volume gelijk is aan circa 5% van het lokale vloedvolume. Met het 1D-model zijn voor Tielrodebroek en Groot Schoor bijkomende scenarioberekeningen uitgevoerd met de originele grids van deze gebieden.
Voor een overzicht van de verschillende doorgerekende scenario's: zie tabel in Bijlage 1.

Door de inpoldering van slik-schorgebied langs een rivier wordt 'ruimte' aan de rivier onttrokken. Deze ruimte werd voornamelijk door de rivier ingenomen bij hoogwater. Zoals verwacht hebben de inpolderingen van deze schorgebieden voornamelijk gezorgd voor een invloed op de hoogwaters. De invloed op de laagwaters is eerder verwaarloosbaar. De zone waarover het effect van de inpoldering zich laat voelen is afhankelijk van de ligging in het estuarium en van de grootte van de polder.

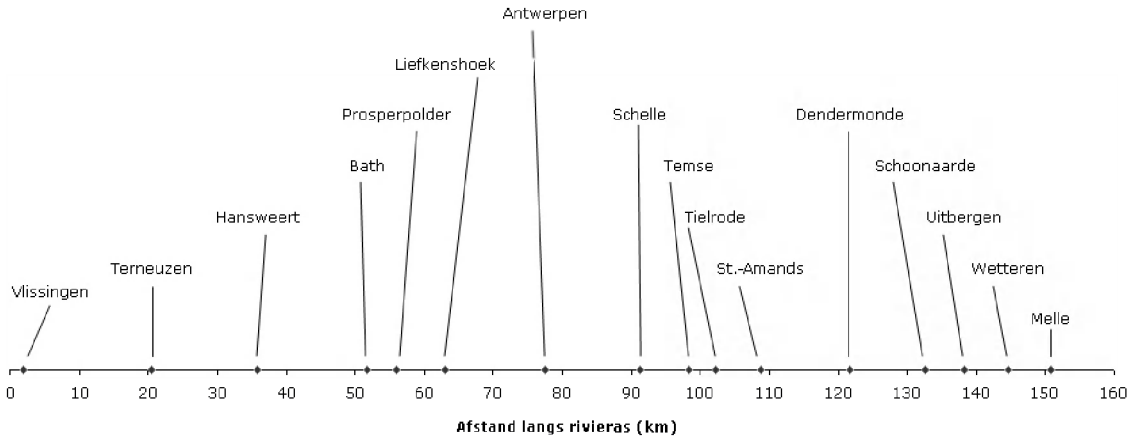


Figuur 3.10 - Overzicht gesimuleerde inpolderingen

Op basis van de modelberekeningen (Maximova et al., 2010a) toont Tabel 3.4 het effect van de polders op het waterpeil op verschillende afstanden tot de polders. Braakman en Nieuw-Westlandpolder, gelegen respectievelijk langs de Westerschelde en in de mesohaliene hebben de grootste invloedgebieden. Afwaarts reikt het effect van de inpoldering van Braakman tot in Vlissingen. De hoogwaters stijgen met 3 tot 4 cm in de Westerschelde, de Beneden-Zeeschelde en de Rupel. Het effect van de polder op de hoogwaterstanden wordt verwaarloosbaar meer opwaarts. De veranderingen van het laagwater zijn niet significant. De inpoldering van Nieuw-Westlandpolder zorgt voor een stijging van het gemiddelde hoogwater over ongeveer dezelfde reikwijdte. Het gemiddelde laagwater kent hierbij een geringe daling. Het effect van de inpolderingen van Tielrodebroek, Groot Schoor en Bergenmeersen (laatste enkel 1D-model), gelegen in respectievelijk de oligohaliene zone, de zoete zone met lange verblijftijd en met korte verblijftijd, op het gemiddelde hoog- en laagwater laat zich regionaal doch gering voelen. Enkel de eigen saliniteitszone en de stroomafwaartse saliniteitszone worden beïnvloed. Het effect op de gemiddelde hoogwaters is hierbij groter dan het effect op de gemiddelde laagwaters. Uit de berekeningen met de originele grids blijkt dat het ophogen/verlagen van de grids een geringe invloed heeft op de wijzigingen van de hoog- en laagwaters.
Bij de inpoldering van een gebied wordt dit gebied niet meer gevuld door het vloedvolume. Dit zorgt voor een daling van de tijvolumes afwaarts de polder, en een kleine(re) stijging van de volumes opwaarts de polder.
Het effect van de inpoldering op de eb- en vloedvolumes (en bijhorende waterstanden) is afhankelijk van de ligging van de polder en de grootte van de polder. Min of meer gelijke bergingsvolumes in de polder ten opzichte van het vloedvolume leiden niet noodzakelijk tot gelijkaardige waterstandsdalingen. Wel hebben kleinere gebieden vooral een geringere reikwijdte (zie Tabel 3.4).

Tabel 3.4 – Invloedgebieden van de verschillende polders obv 2D-modelresultaten (Maximova et al., 2010a)

Afstand tot polder (km)		**Effect van de polder op het waterpeil**							
		Hoogwater (cm)				Laagwater (cm)			
		Braakman polder (WS)	Nieuw - Westland polder (MH)	Tielrode-broek (OH)	Groot Schoor (St-Amands) (ZL)	Braakman polder (WS)	Nieuw - Westland polder (MH)	Tielrode -broek (OH)	Groot Schoor (St-Amands) (ZL)
Afstand afwaarts polder	-100			0	0			0	0
	-90			0	0			0	0
	-80			0	0			0	0
	-70			0	0			0	0
	-60			0	0			0	0
	-50		0	0	0		0	0	-1
	-40		0	0	0		0	0	-1
	-30		+1	0	+1		0	0	-1
	-20		+2	+1	+2		0	0	-1
	-10	+3	+5	+5	+2	0	0	-1	-1
Polder	0	+4	+3	+3	+2	0	0	-1	-1
Afstand opwaarts polder	10	+3	+3	+3	+3	0	0	-1	-2
	20	+2	+3	+2	+2	0	0	-1	-1
	30	+4	+2	+1	+2	0	-1	-1	-1
	40	+4	+2	+1	+2	0	-1	-1	-1
	50	+4	+2	-1		0	-1	-1	
	60	+4	+2			0	-1		
	70	+4	+1			0	-1		
	80	+3	+1			0	-1		
	90	+3	0			-1	-1		
	100	+2	-1			-1	-1		
	110	+2				-1			
	120	+1				-2			
	130	-1				-2			

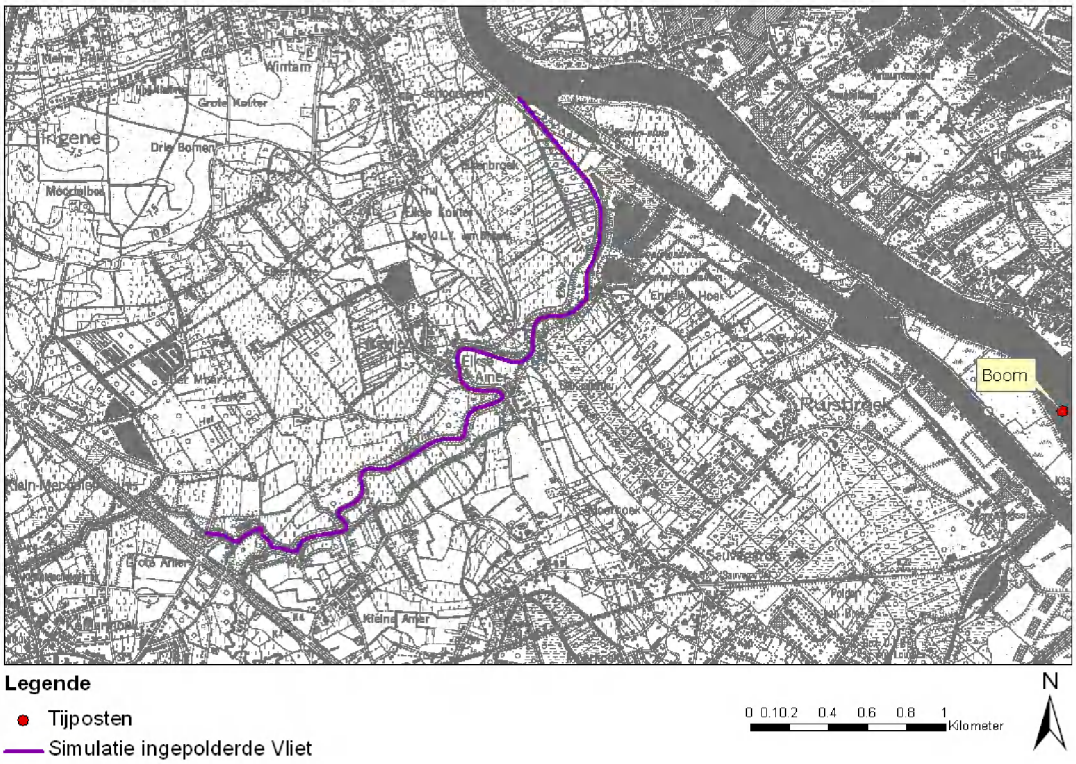


Figuur 3.11 – Tijposten in functie van de afstand langs de rivieras

INTERMEZZO 3 Inpoldering langsheen de Rupel: de Vliet (1D-modellering)

In de evolutie van het laagwater tussen 1961-70 en 1971-80 wordt een opvallende daling 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 (Herziene stelling 7, Van Braeckel et al., 2006).

Enkel het deel van de Vliet (circa 10,5 ha) waarvan uit literatuur met zekerheid geweten is dat het aan getij onderhevig was, werd in het 1D-model opgenomen (Figuur 3.12). 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 (ingeschatte basisafvoer) werd opgelegd als opwaartse randvoorwaarde.



Figuur 3.12 – Inpoldering Vliet (Topografische kaart 1: 10 000, Nationaal Geografisch Instituut, 1978-1993)

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

3.3.2.2 Voorgaande studies

Indijkingen en waterbouwkundige werken langs de Westerschelde en de Zeeschelde (Meyvis, 1977b)

Meyvis (1977b) beschrijft verschillende inpolderingen langs de Westerschelde, waaronder de indijking van Braakman (1952). De inpoldering van de Braakmanpolder is in het begin van de 17e eeuw aangevat en gestadig voortgezet tot in 1918.
"Afwateringsbelangen van Belgische polders en visserijbelangen van de gemeenten Philippine en Boekhoute hebben de gehele inpoldering van dan af tijdelijk tegengehouden. De opslibbing zette zich echter verder. Vanaf 1924 was men verplicht door baggeren de geulen naar beide vissersdorpen vrij te houden. Desondanks steeg het bodempeil. Geleidelijk verminderde ook het belang van beide vissersdorpen zodat in 1948 het baggeren werd stopgezet. Een plan werd opgemaakt voor de gehele indijking van de Braakman, waarbij tevens rekening werd gehouden met de afwatering van het Belgische achterland. De werken werden aangevat in 1951 in september. In 1952 werd de nieuwe zeedijk dwars door de hoofdgeul voltooid.
Het bergingsvermogen (capaciteit) van de Braakman bij een gemiddeld zomertij kon voor de afsluiting op rond 18 Mm^3 becijferd worden. Niettegenstaande dit relatief belangrijk kombergingsverlies is de invloed op de rivier zelf nagenoeg niet waarneembaar geweest.
Het hoofdvaarwater heeft geen merkbare invloed ondergaan."

"In het totaal werden de laatste 125 jaar nagenoeg 109 km^2 schorregrond ingedijkt; hierbij ging bij gemiddeld getij een komberging verloren van ongeveer 65.000.000 m^3. Dit kombergingsverlies zou eveneens door een normale aanslibbing voorgekomen zijn, het proces werd echter door het menselijk ingrijpen versneld, hetgeen voor gevolg heeft dat het slib en het zand dat nog gedurende een aantal jaren in deze schorren had kunnen bezinken (na inklinking meer dan 65.000.000 m^3) zich naar elders in de rivier zal bewegen en op misschien minder gunstige plaatsen zal bezinken.
Verder blijkt uit berekeningen volgens de methode Holsters, dat bij een eventuele inpoldering van een groot gebied als het Land van Saeftinge ($\pm$ 3.100 ha en gelegen nabij de Zeeschelde) een verhoging van de hoogwaterstanden te Antwerpen van de orde 15 à 20 cm mag verwacht worden. Tevens zou dit een verkorting van de vloedduur meebrengen.
Men kan zich dan ook afvragen of al deze inpolderingen uitgevoerd in de laatste 125 jaar, die allen op zichzelf weinig of geen invloed hebben uitgeoefend, gezamenlijk geen invloed op het tijregime hebben uitgeoefend. Dit is echter moeilijk uit te maken.
Wel kan uit de simlulaties mbt. inpolderingen afgeleid worden dat er een verhogend effect is op hoogwaterstanden; de jongere polders, met uitzondering van deze die vroegtijdig werden ingedijkt zoals bijvoorbeeld de Braakman, en de huidige schorren liggen op een hoger niveau dan de polders die in de vorige eeuwen werden ingedijkt."

Getijanalyse Westerschelde (Witteveen en Bos, 1999)

In deze studie werd het effect van een afname van bergingsvolume door de inpolderingen nabij Bath (Ossendrecht) en nabij de Braakman (de Mosselbanken) nagegaan. Beide gebieden zijn ingepolderd in het jaar 1976. Het ingepolderde gebied heeft een oppervlakte van circa 900 ha in totaal (148 ha voor gebied nabij Braakman, 782 ha voor gebied nabij Bath). Er wordt echter geen informatie gegeven over het intertidale bergingsvolume in deze gebieden.
In deze studie werd de situatie van 1968 (voor de inpolderingen) gebruikt als referentiescenario. Om de invloed van de ingepolderde gebieden te bestuderen, werd een scenario waarin de twee ingepolderde gebieden afgesloten zijn, doorgerekend. Volgens hun resultaten bedroeg de verandering van de hoogwaters te Baalhoek en Bath circa 2 tot 4 cm. Tengevolge van de inpoldering, is de bergingscapaciteit afgenomen, wat resulteert in een toename van de hoogwaters in het estuarium. Hierbij wordt over de laagwaters geen uitspraak gedaan.

3D-Modellering ontpoldering (Jeuken et al., 2004)

Bij morfologisch onderzoek voor de studie voor het strategisch MER in het kader van de Ontwikkelingsschets 2010 (SO2010) van de Lange Termijnvisie 2030 (LTV2030) werden door Jeuken et al. (2004) berekeningen uitgevoerd met het ESTMORF model, om de morfologische respons ten gevolge van ontpolderingen te kunnen voorspellen. Hierbij werd onder andere het grootschalig ontpolderen van Braakman (circa 2000 ha) bestudeerd.
Ontpoldering resulteert in een toename van het bergingsvolume van het estuarium en een toename van het tijvolume afwaarts van de polder. Deze toename van tijvolume zorgt voor een grotere stroomsnelheid afwaarts van de polder, wat resulteert in een toename van de bodemwrijving. De toegenomen bodemfrictie leidt tot een afname van het getijverschil afwaarts en opwaarts van de polder. De grootte van deze initiële afname van het getijverschil is afhankelijk van de verhouding tussen het extra tijvolume, ten gevolge van de ontpoldering, en het lokaal tijvolume.
De initiële afname van het getijverschil stroomopwaarts van de ontpoldering gaat gepaard met een afname van het tijvolume en het evenwichtsdoorstroomoppervlak. Het doorstroomoppervlak is groter geworden dan het initiële evenwichtsdoorstroomoppervlak waardoor in dit gebied initieel sedimentatie optreedt.
De initiële afname van het getijverschil stroomafwaarts de polder betekent eveneens een afname van het tijvolume. Deze afname is echter steeds kleiner dan de toename van het tijvolume ten gevolge van de extra komberging in het ontpolderde gebied. Afwaarts van de ontpoldering is dus altijd sprake van een netto initiële toename van het tijvolume. Een groter tijvolume betekent een toename van het evenwichtsdoorstroomoppervlak. Het gebied afwaarts van de polder zal geërodeerd worden.
Het is vooral deze erosie stroomafwaarts van de ontpoldering waardoor de uiteindelijke effecten anders zijn dan de initiële effecten. Immers, de erosie van dit gebied gaat gepaard met een afname van de stroomsnelheden en de bodemwrijving waardoor het getijverschil weer toeneemt en het getij sterker doordringt in het estuarium (in vergelijk tot de initiële situatie). Hierdoor neemt ook stroomopwaarts van de ontpoldering na verloop van tijd het getijverschil weer iets toe.
Het tijvolume en het evenwichtsdoorstroomoppervlak worden groter en het gebied opwaarts van de polder zal na een periode van initiële sedimentatie, weer willen eroderen. De resultaten van het morfologisch model in Jeuken et al. (2004) voor het scenario met de Braakmanpolder tonen aan dat de sedimentatiesnelheid reeds aan het afnemen is, 30 jaar na de ontpoldering, maar erosie is nog niet waargenomen.

3.3.2.3 Synthese

De verschillende uitgevoerde studies geven vergelijkbare resultaten wat betreft de invloed van inpolderingen op het hoogwater.
Meyvis (1977b) kan geen waargenomen effecten voorleggen, maar geeft wel resultaten van berekeningen die aantonen dat door inpoldering een stijging van het hoogwater kan verwacht worden. Ook Witteveen en Bos (1999) geven resultaten die in dezelfde richting wijzen. Jeuken et al. (2004) bestudeerde het effect van ontpoldering van de Braakman-polder. Hierbij wordt een daling van het getijverschil verwacht, wat overeenkomt met de stijging van het getijverschil als resultaat van de inpoldering van dit gebied.

3.3.3 Invloed van inpolderingen op Scheldehabitats

3.3.3.1 Areaal van slikken en schorren

Effect op slikareaal

Bij een inpoldering gaat, afhankelijk van het in te polderen gebied, rechtstreeks een deel slik- en kreekareaal verloren (vb. 10% van de Braakman). Door het niet significante effect op het laag water is er in het overblijvende estuarien gebied geen winst aan slikareaal na de ingreep.

Effect op schorareaal

Inpolderingen zorgen bij de uitvoering van de ingreep rechtstreeks voor een groot verlies aan schorareaal.
Door de toename van het hoogwater is een schorareaalwinst mogelijk in het overblijvende estuarien gebied. Een eerste voorwaarde is hierbij dat er laterale uitbreiding van het schor in het achterland mogelijk is. Een tweede voorwaarde is dat er voldoende sediment aanwezig is om verticaal mee te groeien om zo geen schorverlies te krijgen (Temmerman et al., 2004). Indien niet aan deze voorwaarden voldaan is, gaan schorren door 'coastal squeeze' verloren aan verdrinking, of verkleinen ze tot de hoogste delen van het voormalige schor (Doody, 2004).

3.3.3.2 Kwaliteit van slikken en schorren

Effect op slikkwaliteit

Ter hoogte van de ingreep worden de toegangskreken onthoofd en verdwijnen de verbinding en uitwisselingsmogelijkheden tussen het pelagiaal en slik enerzijds en schor anderzijds. Dit soort verbindingen tussen habitats zijn uitermate belangrijk voor juveniele vissen en Crustaceae en oefenen vaak een kraamkamerfunctie uit (Cattrijsse et al., 1994; Breine, 2009: 109-121). De onthoofde krekenrestanten aan de rivierzijde van de inpoldering gaan zich morfologisch aanpassen aan de gewijzigde hydrodynamiek. Dit gaat veelal gepaard met verlies aan sinuositeit, afname van organische stofgehalte en korrelgrootte in de kreken en verlies van functionaliteit voor benthische en pelagische fauna en flora (Hood, 2002; 2004).

Door de stijging van het hoogwater zou men zich eveneens aan een stijging van de 25% overspoelingsduur hoogte verwachten. De modelresultaten van de inpolderingscenario's met 4 polders (Braakman, Nieuw-Westland, Tielrodebroek en Groot Schoor) wijzen echter op een daling van zowel de hoogte met 25%-, als 75%-overspoelingsduur. Zowel de boven- als de ondergrens van het middelhoog slik dalen dus na inpoldering. Terwijl de bovengrens van het hoog slik stijgt. De grootste effecten worden waargenomen stroomopwaarts de Rupel in de oligohaliene en zoete zone. De 75%-hoogte daalt met maximaal 7 cm en de 25%-overspoelingsduurgrens met 6 cm (Coen et al., 2010). Het aandeel aan hoog slik neemt toe ten koste van middelhoog slik. Volgens de huidige inzichten zou dat met betrekking tot bodemfauna in de brakke en zoete zone niet echt een kwaliteitsverlies betekenen. In de oligohaliene zone lijkt het middelhoog slik de rijkste bodemfauna te huisvesten. Anderzijds is hoog slik schaars in deze zone en zou dit bijdragen aan de volledigheid van habitat overgangen. De omzetting van laag slik naar middelhoog slik door het dalen van de 75% overspoelingsduur hoogte is verhoogt eerder kansen voor bodemdieren, op voorwaarde dat dit in laagdynamisch gebied gebeurt.

Uit de 2D-modellering blijkt echter dat stroomsnelheden en dan vooral de vloedsnelheden eerder stijgen. Door inpoldering neemt dus niet alleen het areaal aan laagdynamisch gebied af (slikken, kreken en schorren verder van de hoofdgeul), maar neemt ook de hydrodynamiek toe met een stijging van de stroomsnelheden. Een stijging van de vloed- ten opzicht van ebsnelheden heeft het grootste effect aangezien op de slikken bij vloed de grootste stroomsnelheden optreden . Dit is dan op zijn beurt bepalend voor de waargenomen omslag tussen netto sedimentatie of erosie. Dit bepaalt in belangrijke mate de potenties voor de slik-schorcyclus en de habitatgeschiktheid voor biota op het slik en schor. Voor de Zeeschelde is een toename van de vloedsnelheden ongewenst omdat er in de huidige situatie al zeer hoge dynamiek wordt vastgesteld (o.a. ter hoogte van Ballooi, Maximova et al., 2010, zie intermezzo 4).

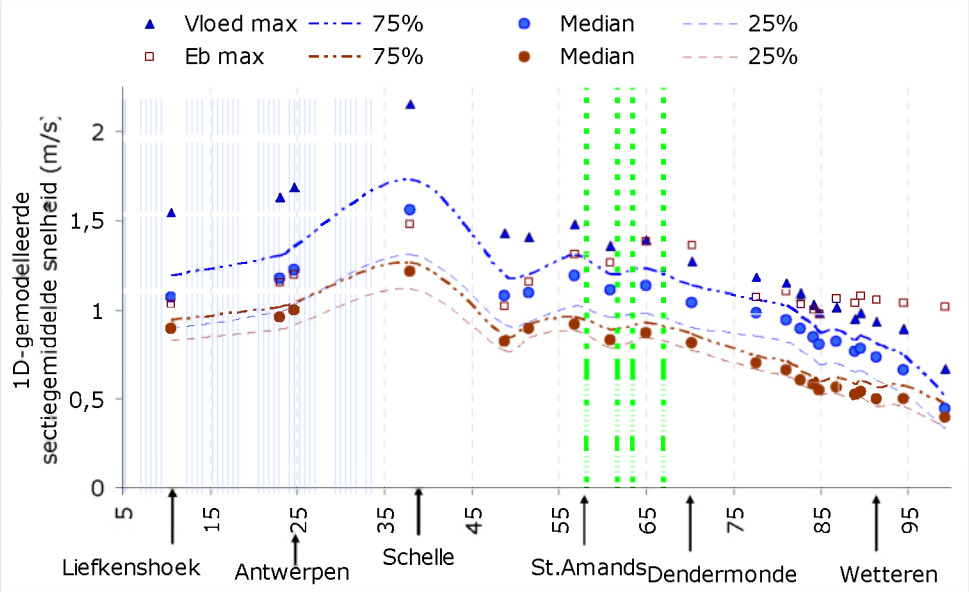
Effect op schorkwaliteit
Ter hoogte van de ingreep zorgt de inpoldering vaak voor een sterke versmalling en versnippering van schorgebieden. Dit beperkt aanzienlijk het kreekpatroon en hiermee de ruimtelijke abiotische variatie en geassocieerde biotische variatie binnen een schorgebied (Hood, 2002;2004).

Verhoogde stroomsnelheden zijn eerder negatief voor de instandhouding van de pionierzone of voor vestiging van pioniersoorten in die zone waar nieuwe potenties voor pionierschor ontstaan door de stijging van GHW.

Verhoging van het hoogwaterstanden creëert theoretisch gezien ruimte voor zijdelingse uitbreiding van het schor indien deze ruimte aanwezig is en voldoende sediment beschikbaar is. Indien enkel het sediment beschikbaar is maar geen zijdelingse uitbreidingsruimte hoogt het schor mee op maar wordt het dwarsprofiel steiler. Samen met de toegenomen vloedvolumes zorgt dit voor verhoogde dynamiek en erosiegevaar. Op het verhoogde schor wordt het drainageniveau, afhankelijk van de opbouw van de schorbodem, mogelijk dieper waardoor de kansen voor verruiging toenemen. (Van Braeckel et al., 2009).

INTERMEZZO 4 Stroomsnelheden in de Zeeschelde

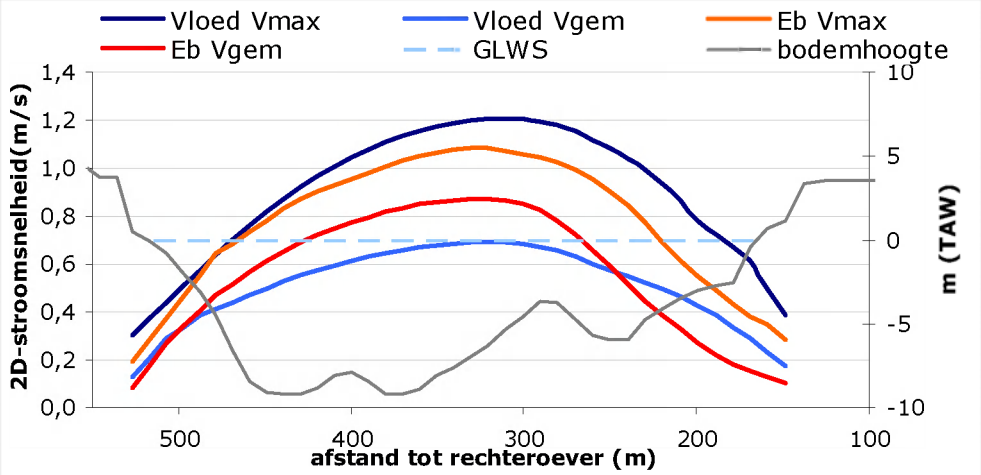
De Zeeschelde is gekenmerkt door een eengeulenstelsel en heeft een beperkte ruimtelijke configuratie om een zeer gevarieerd stroompatroon te ontwikkelen. Naast binnen- en buitenbochtdifferentiatie vertoont de Zeeschelde langsheen de rivieras een grote variatie in stroomsnelheden (Figuur 3.13). In de mesohaliene en oligohaliene zone is tot Schelle een toename te zien van de sectiegemiddelde stroomsnelheden van 1,1 m/sec tot 1,6 m/sec bij vloed. Bij eb zijn deze telkens iets lager. Vanaf Schelle verbreedt de vallei en treedt een daling op tot aan de Durmemonding. In de verder stroomopwaartse zoete zone met lange verblijftijd blijven de waarden schommelen rond 1,1 m/s bij vloed en 0,9 m/s bij eb. Het verschil tussen vloedstroom- en ebstroommaxima wordt kleiner tot in Dendermonde. Vanaf dit punt dalen de sectiegemiddelden (tot mediaan 0.4 m/s in Melle) en worden ebstroommaxima groter dan vloedstroommaxima.



Figuur 3.13 - Maximale en mediane sectiegemiddelde stroomsnelheden voor vloed en eb in 98-99 (1D-modeldata uit Coen et al. 2010) langsheen de Zeescheldegradiënt

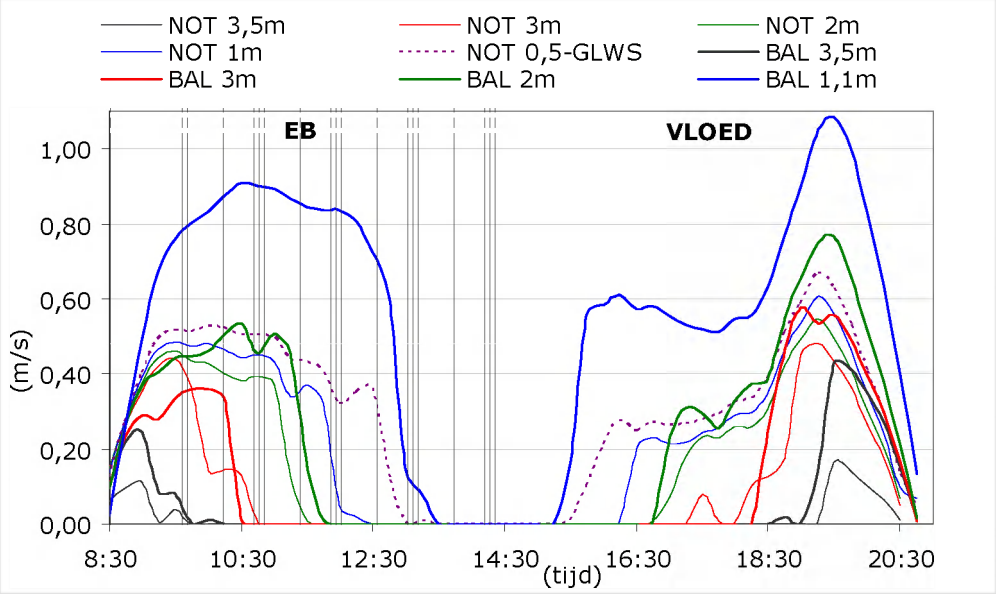
Naast de gemiddelde stroomsnelheden zullen lokaal de breedte van het estuarium en variatie in diepe en ondiepe zones bepalen welke dynamiek de Zeescheldehabitats ondergaan. Tussen Burcht en Schelle zullen hoge stroomsnelheden in combinatie met de beperkte breedte van dit rivierdeel zorgen voor een hoge druk op slik- en schorhabitats. Ter hoogte van brede slikplaten onder andere in de mesohaliene en oligohaliene zones kan de grotere variatie in diepte voor een grotere stroomvariatie zorgen met voldoende laagdynamische zones. Als voorbeeld wordt een gemiddeld stroomdwarsprofiel getoond tijdens een springtij in de maand juli, juist stroomafwaarts de bocht aan Temse (Figuur 3.14, afgeleid uit 2D-modelresultaten, Maximova et al., 2010b). Algemeen neem de stroomsnelheid af naar beide oevers toe, ten gevolge van verminderde diepte en toenemende wrijving. Daarnaast is er vooral bij eb een verschil tussen linker- (buitenbocht) en rechteroever (binnenbocht)

zichtbaar. De binnenbocht vertoont bij eb globaal een lagere stroomsnelheid. Bij vloed is de stroming meer gespreid over de volledige breedte van de rivier inclusief in de ondiep overspoelde zones zoals ondiep subtidale platen en slikken.



Figuur 3.14 - Dwars stroomprofiel van 2D-gemodelleerde maximale en minimale vloed- en ebstroomsnelheden stroomafwaarts de bocht nabij Temse (LO-RO: buitenbocht - binnenbocht)

Lokaal kunnen stroomsnelheden sterk verschillen zowel in tijd als in ruimte. In Figuur 3.15 (data 2D-modelresultaten, Maximova 2010b) is het stroomsnelheidsverloop gedurende één getij gevisualiseerd voor verschillende hoogtelocaties (suffix mTAW) in 2 slikgebieden, de Notelaer (NOT) en de Ballooi (BAL). Algemeen is een steeds lager stroomsnelheidsverloop zichtbaar bij hogere locaties. Bij de vergelijking van locaties met eenzelfde hoogte tussen de Ballooi en de Notelaer is het stroompatroon steeds hoger in de Ballooi dan in de Notelaer. Locatie BAL 1,1 m als enige gelegen op de zandige slikplaat met mesoribbels (Van Braeckel et al., 2010) vertoont het hoogste stroomsnelheidsverloop. De dynamiek op de (slibrijke) slikken is echter nog te weinig gekend en moet verder onderzocht worden.



Figuur 3.15 - Stroomsnelheidsverloop gedurende één getij in 2 slikgebieden, de Notelaer (NOT) en de Ballooi (BAL), voor verschillende hoogtelocaties (mTAW)

3.4 Verruiming

3.4.1 Beschrijving van de ingreep verruiming

3.4.1.1 1e verruiming tot 34′ getij-onafhankelijke vaart (1970-1976)

De eerste verruiming van de vaargeul (Theuns, 1975; Belmans, 1988) voorzag een verruiming van de vaargeul opdat een getij-onafhankelijke vaart tot 104 dm mogelijk werd. Gelet op de kielspeling (15%) werd een verdieping uitgevoerd van circa 106 dm naar 119 dm GLLWS.

Met deze verdiepings- en verbredingswerken gingen aanlegbaggerwerken gepaard, waarbij in de Beneden-Zeeschelde[7] in de periode 1970 – 1973 circa 14 Mm³ en in de Westerschelde in de periode 1970 – 1975 57,5 Mm³ specie gebaggerd werd (Figuur 3.17). Deze aanlegbaggerspecie werd voor de Beneden-Zeeschelde volledig aan land geborgen, terwijl ze voor de Westerschelde deels aan land geborgen en deels in het estuarium teruggestort (voornamelijk in oostelijk deel) werd. Daarnaast vonden er onderhoudsbaggerwerken plaats om de vaargeul op diepte te houden, waarbij de specie in het estuarium werd teruggestort (hoofdzakelijk in nabijgelegen nevengeulen). Voor en na deze 1e verruiming is ook een toename in jaarlijkse onderhoudsbaggerwerken te zien (Figuur 3.16): van gemiddeld 4 Mm³ naar 10Mm³ per jaar in de Westerschelde en van 2 Mm³ naar 3Mm³ in de Beneden Zeeschelde.

3.4.1.2 2e verruiming tot 38′ getij-onafhankelijke vaart (1997-1998)

De tweede verruiming van de vaargeul (RWS, 1998; RIKZ, 2007) voorzag een verruiming van de vaargeul opdat een getij-onafhankelijke vaart tot 116 dm mogelijk werd. Hierbij werden aanlegbaggerwerken uitgevoerd op drempels en in overige gebieden. Dit zijn locaties waar voornamelijk gebaggerd is om de vaargeul te verbreden en slechts beperkt te verdiepen. Gelet op de kielspeling (15%) werd een daadwerkelijke verdieping van de bodempeilen uitgevoerd van 119 dm naar 133 dm GLLWS.

Met deze verdiepings- en verbredingswerken gingen aanlegbaggerwerken gepaard, waarbij in de Westerschelde in de periode juli 1997 – juli 1998 12,2 Mm³ op de drempels en 5,3 Mm³ specie in de overige gebieden gebaggerd werd. Voor de Beneden-Zeeschelde werd de specie van de aanlegbaggerwerken deels in de Schaar van Ouden Doel teruggestort en deels aan land geborgen. Voor de Westerschelde werd de aanlegspecie volledig in het estuarium teruggestort[8]. Daarnaast vonden er onderhoudsbaggerwerken plaats om de vaargeul op diepte te houden, waarbij de specie in het estuarium werd teruggestort volgens de oost-west strategie. Er werd zo veel mogelijk in het middelhoog en westen gestort omdat door de vroegere stortstrategie de dynamiek van de habitats in het oostelijke deel van de Westerschelde verstarde met verlies aan diversiteit van ecotopen als gevolg (van der Weck, 2007). Na deze 2e verruiming evolueren de jaarlijkse onderhoudsbaggerwerken (Figuur 3.16) in de Westerschelde terug naar het niveau van voor de 2e verruiming. In de Beneden Zeeschelde nemen ze ietwat toe: van 3 Mm³ naar 4 Mm³ per jaar.

3.4.1.3 3e verruiming tot 43′ getij-onafhankelijke vaart (2008-2011)

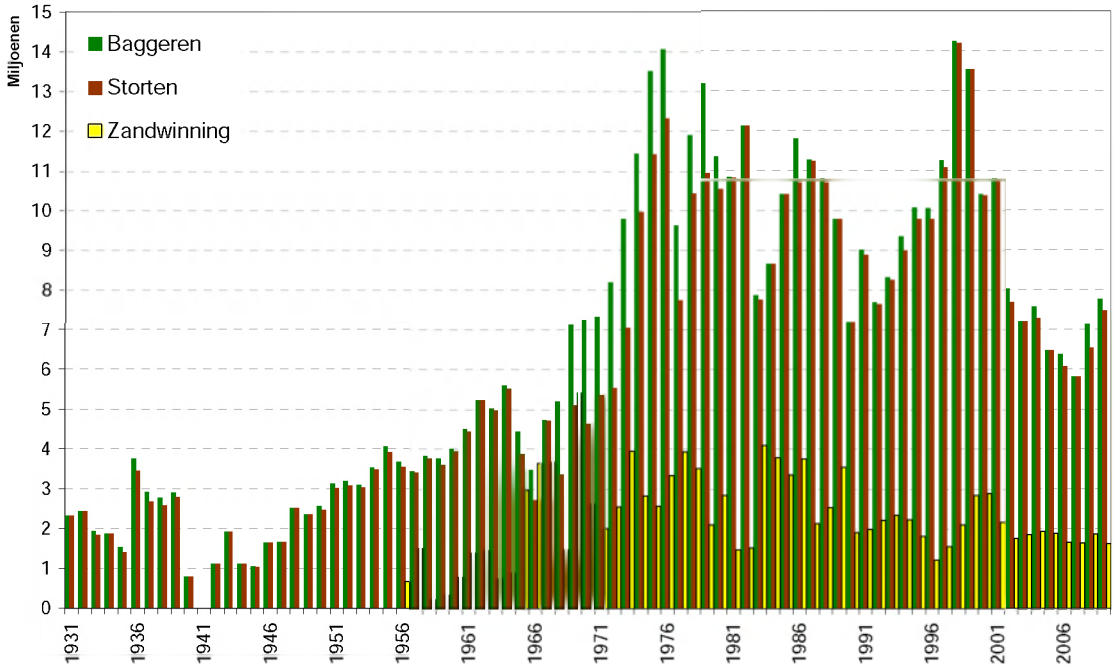
De derde verruiming van de vaargeul (CAT, 2007c) voorziet een verruiming van de vaargeul opdat een getij-onafhankelijke vaart tot 131 dm mogelijk is. Hiermee wordt bedoeld: een verdieping van de vaargeul bij lokale ondiepten in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde tot 500 meter stroomopwaarts van het Deurganckdok én een verbreding van de vaargeul tot 370 meter in de Beneden-Zeeschelde op het traject van de Europaterminal tot

---

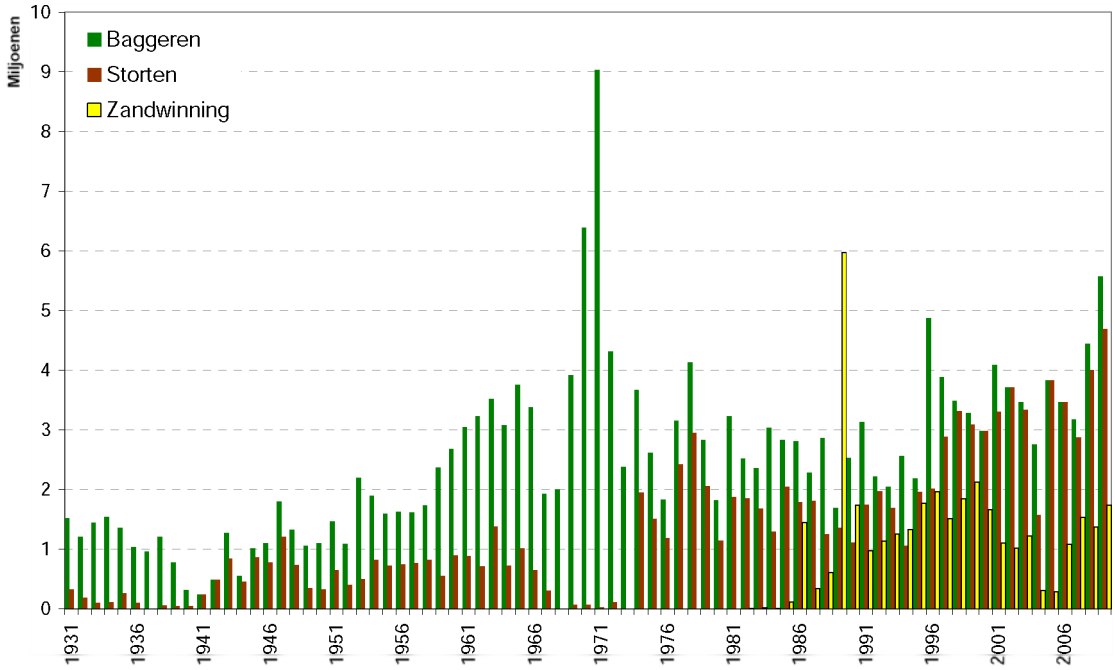
[7] *In de jaren 1970's werden naast de sedimentonttrekking in het kader van de verruiming, tevens aanzienlijke hoeveelheden sediment onttrokken voor de infrastructuurwerken in het kader van de uitbreiding van de Antwerpse haven. Wanneer het effect van de sedimentontrekkingen in de jaren 1970's wordt beschouwd, gaat het hier om een combinatie van ingrepen.*

[8] *Bij de 2e verruiming werd de gehanteerde stortstrategie in de Westerschelde gewijzigd: waar vóór deze verruiming het merendeel van de onderhoudsspecie in het oostelijk deel werd teruggestort, werd na de 2e verruiming het merendeel van de specie in het westelijk deel van het estuarium teruggestort, de zgn. "oost-west" strategie.*

500 meter stroomopwaarts van het Deurganckdok. Gelet op de kielspeling (12,5%) dient een verdieping uitgevoerd worden van 133 dm naar 147 dm GLLWS.
Met deze verdiepings- en verbredingswerken gaan aanlegbaggerwerken gepaard, waarbij in de Beneden-Zeeschelde in de periode december 2007 – maart 2010 circa 6,35 Mm³ en in de Westerschelde in de periode februari 2010 – januari 2011 7,7 Mm³ specie gebaggerd werd. Voor de Beneden-Zeeschelde werd de specie deels in de Schaar van Ouden Doel, deels in de diepe delen van de vaargeul ter hoogte van de toegangsgeul tot de Boudewijn- en Van Cauwelaertsluizen teruggestort en deels aan land geborgen. Voor de Westerschelde werd de aanlegspecie volledig langs 4 plaatranden teruggestort. Na de uitvoering van de verruiming vinden er onderhoudsbaggerwerken plaats om de vaargeul op diepte te houden, waarbij de specie in het estuarium wordt teruggestort (strategie 'binnen macrocel: plaatrand – nevengeul – hoofdgeul').



Figuur 3.16 – Overzicht ingrepen baggeren, storten en zandwinning in de Westerschelde (bron: Afdeling Maritieme Toegang)



Figuur 3.17 – Overzicht ingrepen baggeren, storten en zandwinning in de Beneden-Zeeschelde (bron: Afdeling Maritieme Toegang)

3.4.2 Effectanalyse van verruiming

Naast de numerieke modellering uitgevoerd in het kader van dit project (Maximova et al., 2010a), zijn bijkomende voorspellingen beschikbaar uit milieuaspecten- (2e verruiming) en milieueffecten- (3e verruiming) studies en resultaten uit de opvolging van de eerste en tweede verruiming.

INTERMEZZO 5 Effectenbeoordeling op de middellange termijn

Bij de voorspellingen van de effecten alsook de analyse van de effecten op basis van de meetgegevens, wordt het effect van de ingreep steeds afgewogen ten opzichte van de referentiesituatie. De effecten doen zich niet noodzakelijk initieel voor maar over een termijn van 5 tot 10 jaar. In deze periode is er tevens een effect van zeespiegelstijging en 18,6-jarige cyclus dat meegenomen wordt in de effectenbeoordeling. Wanneer de tabellen 'geen afwijking' bevatten, betekent dit dat er geen afwijking opgetreden is ten opzichte van de aanwezige trends.

3.4.2.1 Huidige studie

In het kader van het huidig project werd aan de hand van numerieke modelsimulaties getracht om het effect van verruimen met en zonder terugstorten van specie in het estuarium in beeld te brengen. Het verruimingsscenario met en zonder terugstorten is gebaseerd op data van de 2e verruiming (1997-1998) in de Westerschelde. Het terugstorten gebeurde hierbij in de nevengeulen en de diepste delen van de hoofdgeul. Het effect van deze verruimde vaargeul met en zonder terugstorten is gerapporteerd in (Maximova et al., 2010a). De resultaten worden samengevat in onderstaande tabellen.

Tabel 3.5 - Overzicht voorspeld direct effect hoog- en laagwater voor scenario zonder terugstorten (ZT) en met terugstorten (MT) (Maximova et al., 2010a)

Locatie	Hoogwater	Laagwater
Terneuzen	ZT - geen afwijking MT – geen afwijking	ZT - geen afwijking MT - geen afwijking
Hansweert	ZT - geen afwijking MT – geen afwijking	ZT - geen afwijking MT - geen afwijking
Bath	ZT - geen afwijking MT – geen afwijking	ZT - geringe afname (< 2 cm) MT - geen afwijking
Antwerpen	ZT - geringe toename (< 2 cm) MT – geen afwijking	ZT - geringe afname (< 2 cm) MT - geen afwijking
Schelle	ZT - geringe toename (< 2 cm) MT – geen afwijking	ZT - geringe afname (< 2 cm) MT - geen afwijking
Dendermonde	ZT - geen afwijking MT – geen afwijking	ZT - geen afwijking MT - geen afwijking
Schoonaarde	ZT - geen afwijking MT – geen afwijking	ZT - geen afwijking MT - geen afwijking
Zijrivieren	ZT - geringe toename (< 2 cm) MT – geen afwijking	ZT - geen afwijking MT - geen afwijking

Tabel 3.6 - Overzicht voorspeld direct effect getijverschil (Maximova et al., 2010a)

Locatie	Getijverschil
Terneuzen	ZT - geen afwijking MT – geen afwijking
Hansweert	ZT - geringe toename (< 2 cm) MT – geen afwijking
Bath	ZT - geringe toename (< 3 cm) MT – geen afwijking
Antwerpen	ZT - geringe toename (< 3 cm) MT – geen afwijking
Schelle	ZT - geringe toename (< 3 cm) MT – geen afwijking
Dendermonde	ZT - geringe toename (< 2 cm) MT – geen afwijking
Schoonaarde	ZT - geen afwijking MT – geen afwijking
Bijrivieren	ZT - geringe toename (< 3 cm) MT – geen afwijking

3.4.2.2 Voorgaande studies

1e verruiming tot 34' getij-onafhankelijke vaart (1969-1976)

Voor de eerste verruiming zijn geen voorspellingen beschikbaar. Wel kan op basis van de analyse van de meetgegevens het effect van de ingreep begroot worden. Op basis van de langjarige getijwaarneming werden karakteristieke grootheden afgeleid. Deze werden geanalyseerd, waarvoor de zeespiegelstijging en de 18,6-jarige cyclus werden bepaald en gefilterd (Peeters et al., 2011). Voor de 1e verruiming werden de trends bepaald voor de periode 1901 – 1970. In onderstaande tabellen wordt een overzicht gegeven van de vastgestelde ontwikkelingen in de periode 1970 -1980 ten opzichte van de trend in de periode 1901 - 1970. Hierbij dient opgemerkt te worden dat naast de verruiming van de vaargeul, ook de effecten op de waterstanden van andere ingrepen hierin opgenomen zijn. Zoals in 3.4.1.1 reeds aangehaald, werden in de beschouwde periode grote hoeveelheden

sediment uit de Beneden Zeeschelde onttrokken, waarbij slechts een deel gerelateerd is aan de verruiming van de vaargeul.

Tabel 3.7 - Overzicht waargenomen ontwikkelingen periode 1970 – 1980 ten opzichte van de trend in de periode 1901 – 1970 hoog- en laagwater in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde

Locatie	Hoogwater	Laagwater
Terneuzen	Geen afwijking	Geen afwijking
Hansweert	Geen afwijking	Geen afwijking
Bath	Geen afwijking	Matige geleidelijke afname (~ 20 cm)
Liefkenshoek	Geen afwijking	Grote geleidelijke afname (~ 25 cm)
Antwerpen	Geen afwijking	Matige geleidelijke afname (~ 15 cm)
Schelde	Geen afwijking	Grote geleidelijke afname (~ 25 cm)

2e verruiming tot 38' getij-onafhankelijke vaart (1997-1998)

Om de effecten van de 2e verruiming te begroten werd een zogenaamde milieuaspectenstudie (RWS, 1998) uitgevoerd. Hierin werd onder andere het effect van de verschillende varianten van de verruimde vaargeul op de getijvoortplanting onderzocht. In onderstaande tabellen worden deze resultaten samengevat.

Tabel 3.8 - Overzicht voorspelde ontwikkelingen hoog- en laagwater in de Westerschelde op 10 jaar (RWS, 1998)

Locatie	Hoogwater	Laagwater
Terneuzen	Geringe toename (< 2 cm)	Geringe toename (< 2 cm)
Hansweert	Geringe toename (< 3 cm)	Geringe toename (~ 5 cm)
Bath	Kleine toename (~ 10 cm)	Geringe afname of toename (< 2 cm)

Tabel 3.9 - Overzicht voorspelde ontwikkelingen getijverschil in de Westerschelde op 10 jaar (RWS, 1998)

Locatie	Getijverschil
Terneuzen	Geringe afname (< 2 cm)
Hansweert	Geringe afname (~ 5 cm)
Bath	Kleine toename (~ 10 cm)

Daarnaast is ook op basis van de analyse van de meetgegevens het effect van de ingreep begroot worden. In MOVE (RIKZ, 2007) werden de getijkarakteristieken voor de Westerschelde geanalyseerd om het effect van de 2e verruiming te begroten. In onderstaande tabellen wordt een overzicht gegevens van de vastgestelde ontwikkelingen.

Tabel 3.10 - Overzicht waargenomen ontwikkelingen periode 1996 – 2006 ten opzichte van de trend in de referentieperiode hoog- en laagwater in de Westerschelde (RIKZ, 2007)

Locatie	Hoogwater t.o.v. Vlissingen	Laagwater t.o.v. Vlissingen
Terneuzen	-	-
Hansweert	Geen afwijking t.o.v. referentie	Geringe geleidelijke afname (~ 4 cm)
Bath	Geen afwijking t.o.v. referentie	Kleine geleidelijke afname (~ 8 cm)

Tabel 3.11 - Overzicht vastgestelde ontwikkelingen periode 1996 – 2006 ten opzichte van de trend in de referentieperiode getijverschil in de Westerschelde (RIKZ, 2007)

Locatie	Getijverschil
Terneuzen	-
Hansweert	Geen afwijking t.o.v. referentie. Variaties vergelijkbaar met Vlissingen.
Bath	Toename (~ 10 cm) gedurende eerste 5 jaar, vervolgens afname (~ 10 cm) over volgende 5 jaar.

In (Peeters et al., 2011) werden deze parameters geanalyseerd voor de Zeeschelde. Hiervoor werden de zeespiegelstijging en de 18,6-jarige cyclus bepaald en gefilterd. Hiervoor werden dezelfde trends gebruikt als voor de eerste verruiming, met bijkomende verschuiving na de eerste verruiming.

Tabel 3.12 - Overzicht waargenomen ontwikkelingen periode 1996 – 2006 ten opzichte van de trend in de periode 1901-1970 (incl. shift omwille van trendbreuk jaren 1970) hoog- en laagwater in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde

Locatie	Hoogwater	Laagwater
Terneuzen	Geen afwijking	Geen afwijking.
Hansweert	Geen afwijking	Geen afwijking.
Bath	Geen afwijking	Geringe geleidelijke afname (~ 5 cm)
Liefkenshoek	Geen afwijking	Geringe geleidelijke afname (~ 5 cm)
Antwerpen	Geen afwijking	In 1996-1997 initieel geringe toename (~ 5 cm), die behouden blijft
Schelle	Geen afwijking	In 1996-1997 initieel geringe toename (~ 5 cm), die behouden blijft

3e verruiming tot 43' getij-onafhankelijke vaart (2008-2011)

Om de effecten van de 3e verruiming te begroten werd een zogenaamde milieueffectenrapportering (CAT, 2007c) uitgevoerd. Hierin werd onder andere het effect van de verschillende varianten van de verruimde vaargeul op de getijvoortplanting onderzocht (CAT, 2007a). In onderstaande tabellen worden deze resultaten samengevat.

Tabel 3.13 - Overzicht voorspelde ontwikkelingen (variant P4P) hoog- en laagwater in de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde initieel en korte termijn (5 jaar)

Locatie	Hoogwater	Laagwater
Terneuzen	Geen afwijking	Geen afwijking t.o.v.. nulalternatief
Hansweert	Geen afwijking	Geen afwijking t.o.v.. nulalternatief
Bath	Geen afwijking	Geringe afname (< 2 cm)
Antwerpen	Geen afwijking	Geringe afname (< 2 cm)
Schelle	Geen afwijking	Geringe toename (< 2 cm)

3.4.2.3 Synthese

Het effect van een verruiming, i.e. verdieping en verbreding, van de vaargeul kan worden ingeschat op basis van waarnemingen en modelvoorspellingen. Bij deze beoordeling zijn 3 aspecten van cruciaal belang:

- Wordt de gebaggerde specie teruggestort in het estuarium of wordt ze permanent verwijderd?
- Onderscheid tussen het directe effect van de ingreep en de middellange ontwikkelingen;
- Wat is het volume gebaggerde specie in verhouding tot het eb- en vloedvolume?

Op basis van de hierboven geformuleerde vaststellingen kunnen volgende conclusies getrokken worden met betrekking tot de getijvoortplanting:

Bij een verruiming van de vaargeul waarbij de gebaggerde specie niet teruggestort wordt (cfr. verruiming 34' uit 1970's voor de Beneden-Zeeschelde) is:

- Het effect op de hoogwaterstanden over het volledig estuarium verwaarloosbaar, zowel initieel als op de middellange termijn. Waar de modellering initieel een beperkte toename voorspelt, wordt dit niet bevestigd in de waarnemingen.
- Het effect op de laagwaterstanden is een aanzienlijke geleidelijke daling in het estuarium opwaarts Bath. De modellering geeft een initieel effect van enkele centimeter, terwijl de waarnemingen op de middellange termijn een daling geven die maximaal oploopt tot circa 25 cm. Hierbij dient opgemerkt te worden dat naast de verruiming van de vaargeul, ook de effecten op de waterstanden van andere ingrepen hierin opgenomen zijn. In de beschouwde periode werden ook grote hoeveelheden sediment uit de Beneden-Zeeschelde onttrokken, gerelateerd aan andere infrastructuurwerken dan de verruiming van de vaargeul (o.a. sedimentonttrekking ten behoeve van infrastructuurwerken in de Antwerpse haven).

Bij een verruiming van de vaargeul waarbij de gebaggerde specie wel teruggestort wordt (cfr. verruiming 38' uit 1990's) is:

- Het effect op de hoogwaterstanden over het volledig estuarium verwaarloosbaar, zowel initieel als op de middellange termijn.
- Het initiële effect op de laagwaterstanden beperkt tot een zeer geringe afname (grootteorde 1 cm).
- Het effect op de middellange termijn op de laagwaterstanden een daling van grootteorde 5 cm opwaarts van Bath.

Belangrijk is op te merken dat het op de middellange termijn quasi onmogelijk is een onderscheid te maken tussen de natuurlijke morfologische ontwikkelingen (cfr. migratie van geulen via bochterosie), de morfologische ontwikkelingen ten gevolge van de ingreep verruiming en de morfologische ontwikkelingen ten gevolge van andere ingrepen

3.4.3 Invloed van verruiming op Schelde habitats

3.4.3.1 Areaal van slikken en schorren

Verruiming van de vaargeul in de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde waarbij de gebaggerde specie niet teruggestort wordt in het estuarium, leidt tot een aanzienlijke toename van het getijverschil in het estuarium vanaf Bath, door daling van de laagwaterstanden. Dit kan potentieel leiden tot areaaltoename van het slik ten koste van ondiep subtidale gebieden, terwijl het areaal schor en de totale oppervlakte van estuariene habitats onveranderd blijft. Hierbij is het cruciaal op te merken dat dit louter een theoretische vaststelling is, aangezien in de realiteit de gewijzigde getijkarakteristieken aanleiding geven tot verandering in de waterbeweging en de morfologie. Verruiming zorgt immers ook voor versteiling van het voorliggende subtidaal profiel waardoor indirect een areaalafname van slik kan ontstaan (zie Intermezzo 1 en 5).

3.4.3.2 Kwaliteit van slikken en schorren

Met betrekking tot de kwaliteit van slikken en schorren, is het enkel mogelijk een indicatie te geven van de rol van de door veranderende stroomsnelheden beïnvloede dynamiek.
Op basis van de modellering, als voorspeller (met de topo-bathymetrie bepaald via morfologische modellering; RWS, 1997; CAT, 2007c) en als validator (met de topo-bathymetrie uit de metingen; RIKZ, 2007; Maximova et al., 2010a), blijkt dat door het verruimen van de vaargeul in de Westerschelde met terugstorten de stroomsnelheid quasi niet wordt gewijzigd. Initieel kunnen er wijzigingen zijn ter hoogte van bagger- en stortlocaties, doch bij het terugstorten blijft op systeemniveau in een meergeulenstelsel gemiddeld gezien alles vergelijkbaar.

Belangrijke aanvulling is dat bij de derde verruiming de stortstrategie in de Westerschelde (zogenaamde Plaatrandstortingen; Plancke et al., 2008) gericht is op de ontwikkeling van stroomluwe gebieden langs de plaatranden. In de Nota Plaatrandstortingen (Plancke *et al.*, 2008) wordt op de middellange termijn (5 jaar) modelmatig een afname van stroomsnelheden voorspeld. Hierdoor zou een toename van het laagdynamisch intergetijden- en onderwater gebied in de Westerschelde kunnen optreden van 114 ha. Samen met meer ruimte voor de rivier/estuarium kunnen deze plaatrandstortingen en andere mogelijke nieuwe stortstrategieën er voor zorgen dat verruiming met terugstorten op een duurzame en ecologisch meer positieve manier kan gebeuren door laagdynamische gebieden te creëren.

3.5 Zandwinning

3.5.1 Beschrijving van de ingreep zandwinning

In de Westerschelde en de Zeeschelde wordt zowel door de overheid als voor de handel zand onttrokken aan het systeem. In de Westerschelde werd sinds 1956 gemiddeld 2 Mm³ zand per jaar uit het systeem gehaald door zandwinning, terwijl in de Zeeschelde sedert 1981 systematisch zand onttrokken wordt uit het systeem, waarbij de hoeveelheden sterk variëren over de jaren heen (gemiddeld circa 1,5 Mm³).
In de Zeeschelde werden, voor de start van de commerciële zandwinning in 1981, in de periode 1965 – 1980 grote hoeveelheden zand onttrokken (zie Figuur 3.17). In deze periode vonden zowel de eerste verdieping van de vaargeul (zie §3.4.1.1) plaats, als belangrijke infrastructuurwerken in de Antwerpse haven. De toewijzing van juiste hoeveelheden aan het precieze project is niet mogelijk.
Ook voor andere infrastructuurwerken (o.a. bouwen of verstevigen van dijken) vonden zandonttrekkingen plaats die minder goed gedocumenteerd zijn, dit voornamelijk in het zoete en oligohaliene deel. Zo werden er bij de uitvoering van het Sigmaplan belangrijke hoeveelheden sediment uit de Zeeschelde onttrokken. Exacte hoeveelheden waren bij de uitvoering van deze studie niet beschikbaar[9].

3.5.2 Effectanalyse van zandwinning

3.5.2.1 Huidige studie

Het effect van zandwinning in de Westerschelde is gerapporteerd in (Maximova et al., 2010a) en de resultaten worden samengevat in onderstaande tabellen. Algemeen geven de 2D-modelberekeningen geen significante invloed van zandwinning op de hoog- en laagwaters aan.

Tabel 3.14 - Overzicht voorspeld direct effect hoog- en laagwater voor scenario zandwinning t.o.v. referentie (Maximova et al., 2010a)

Locatie	Hoogwater	Laagwater	Getijverschil
Terneuzen	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)
Hansweert	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)
Bath	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)
Antwerpen	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)
Schelle	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)
Dendermonde	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)
Schoonaarde	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)
Bijrivieren	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)

[9] *Een indicatie van de onttrokken sedimenthoeveelheden zou kunnen gereconstrueerd worden aan de hand van de meetstaten van de dijkwerken en de expertise aanwezig bij de betrokken projectingenieurs.*

INTERMEZZO 6 Zandwinning vs. verruiming zonder terugstorten

Binnen deze studie werden zowel het onttrekken van zand, als het verruimen van de vaargeul zonder terugstorten aan de hand van numerieke 2D-modelsimulaties onderzocht. Deze ingrepen zijn sterk vergelijkbaar aangezien uiteindelijk een hoeveelheid sediment uit het systeem verwijderd worden. Opgemerkt zou kunnen worden dat de zandwinning geen aanleiding geeft tot afwijkingen in de waterstanden, terwijl bij de verruiming zonder terugstorten wel beperkte afwijkingen voorspeld worden. De verklaring hiervoor kan gevonden worden in het verschil in locaties van beide ingrepen: hoewel de hoeveelheden onttrokken sediment vergelijkbaar zijn (20 Mm³ vs. 15,6 Mm³), is voor het scenario "zandwinning" louter in de Westerschelde zand onttrokken, terwijl dit voor het scenario "verruiming zonder terugstorten" ook voor een deel (3,3 Mm³) in de Beneden Zeeschelde heeft plaatsgevonden. Het relatieve belang van de zandonttrekking ten opzichte van de lokale geometrie blijkt van belang te zijn in relatie tot de effecten op de getijbeweging.

3.5.2.2 Voorgaande studies

In het kader van de milieueffectrapportage van de verruiming van de vaargeul tot 43', werd binnen het morfologisch onderzoek de invloed van de zandwinning onderzocht. De aanleiding was het beleidsvoornemen van de Nederlandse overheid om de zandwinning stop te zetten na 2012. CAT (2007b) stelt het volgende: "Zandwinning heeft een onomkeerbaar effect op de ontwikkelingen van het gebied, die het gevolg zijn van het definitief verwijderen van materiaal uit het gebied. … Naar verwachting is de impact van de voortgaande zandwinning, waarbij er structureel sediment uit het estuarium wordt verwijderd (2 Mm³ per jaar), mogelijk van meer belang dan de verruiming zelf."

Op basis van de vergelijking van tijevolutie en dwarsprofielveranderingen stelde Van Braeckel et al. (2006) dat de verruiming 34' van 1970-1976 t.o.v. verruiming 38' (1997-1998) een groter negatief effect had op het slikareaal ten gevolge van de grote hoeveelheid sediment dat onttrokken werd. In werkelijkheid werd niet alleen voor de verruiming sediment onttrokken maar onder andere ook voor zandwinning ten behoeve van opspuitingen binnen het Antwerps Havengebied.
Van Rijn (2010) geeft aan dat zandonttrekking op lange termijn de getijvoortplanting beïnvloedt door het uitruimen van de geulen.

3.5.2.3 Synthese

Gelet op het in tijd uitgespreide karakter van de ingreep zandwinning en de grote hoeveelheid van ingrepen die hier parallel aan gebeuren, is het quasi onmogelijk om het effect van zandwinning uit de waarnemingen af te leiden. In de langjarige trends van de getijkarakterisitieken kan geen significante trendverandering worden vastgesteld in de perioden voor en na de aanvang van de zandwinning, mede omdat dit aanvangsjaar niet hard is (reeds voor de commerciële zandwinning of zandwinning voor de overheid, werd ad hoc zand uit het systeem onttrokken). Ook de modelberekeningen geven geen significante korte termijn invloed van zandwinning aan, hoewel de algemene indruk (op basis van expertise) wel is dat zandonttrekking op lange termijn de getijvoortplanting beïnvloedt door het uitruimen van de geulen (Van Rijn, 2010).

Op basis van de hierboven geformuleerde vaststellingen kunnen volgende conclusies getrokken worden met betrekking tot de getijvoortplanting:

- Effect van zandwinning op de korte termijn is beperkt, afhankelijk van het relatieve belang t.o.v. de lokale geometrie;
- Effect van zandwinning op de lange termijn kan leiden tot een uitruimen van het systeem, waarbij de getijvoortplanting versterkt wordt (HW neemt toe, LW neemt af);

3.5.3 Invloed van zandwinning op Scheldehabitats

Op de korte termijn tonen de modelresultaten een beperkte invloed op systeemniveau van zandwinning op de habitats. Door de vereenvoudigde getij-indringing kunnen er op middellange termijn lokaal echter belangrijke effecten zijn. Deze zijn afhankelijk van de grootte van de ingreep t.o.v. het lokaal tijvolume. De locatie waar sediment onttrokken wordt, heeft echter wel een belangrijke invloed: het onttrekken van sediment nabij platen kan leidt tot een lokale versteiling en uiteindelijk tot mogelijke afschuivingen. Daarenboven worden bij het versteilen van het dwarsprofiel de ondiepe zones, slikplaten en achterliggende schorren meer vatbaar voor erosie. Dit kan dan op zijn beurt de beschikbare ruimte voor deze habitats aantasten.

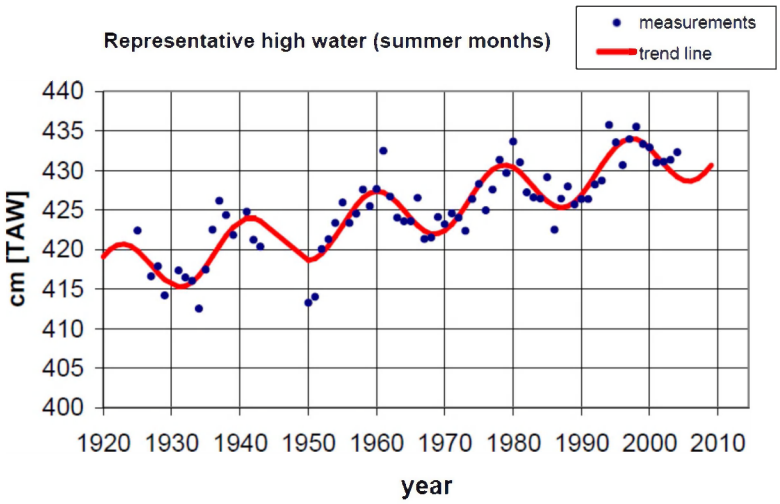
De effecten van sediment onttrekkingen op de lange termijn zijn moeilijker in te schatten, gelet op de onzekerheden rond de effecten op de waterbeweging. Dit vertaalt zich verder door in grote onzekerheden op de morfologische verandering en alsook de ontwikkelingen van slikken en schorren.

Foto 6 Overspoeling van een rietschor bij vloed; high water at the reed marsh (Vildaphoto-Yves Adams)

3.6 Zeespiegelstijging

3.6.1 Beschrijving zeespiegelstijging

Zeespiegelstijging is één van de natuurlijke of autonome impactfactoren die duurzaam behoud van schorren en slikken in het Schelde-estuarium potentieel beïnvloeden. Kustgebieden worden bedreigd met een significant risico op watersnood, overstroming en erosie als gevolg van de zeespiegelstijging, met of zonder meer frequente en ernstige stormvloeden (VLIZ, 2004).
In de Noordzee wordt langs de Nederlandse kust uitgegaan van een ruimtelijke variatie in de lokale zeespiegeltrend langs de Nederlandse kust van 0,07 cm/jaar tot 0,3 cm/jaar over de afgelopen 50 jaar (Vellinga et al., 2008). Homogene, weinig vervormde metingen uit de Duitse Waddenzee (Norderney Riffgatt) geven een trend aan van 26 cm (1891-nu) van het gemiddeld hoogwater en 13 cm voor het gemiddeld laagwater.
Aan onze Belgische kust is voor Oostende de langste tijdsreeks beschikbaar. De hoogwaters vertonen hier een gemiddelde stijging van ongeveer 15 cm over de voorbije 85 jaar (Figuur 3.18, Verwaest et al., 2005). Ook hier verschillen de stijging tussen de hoog- en laagwaters zichtbaar met 0,20 cm/jaar voor de hoogwaters en 0,10 cm per jaar voor de laagwaters (Van Cauwenberghe, 2000).



Figuur 3.18 - Stijging van gemiddeld hoogwater in de zomer in Oostende van 1925 tot 2004 (Verwaest et al., 2005) De punten geven de gefilterde metingen weer. De vloeiende lijn is de trendlijn doorheen die punten. Deze trendlijn wordt bepaald door de combinatie van een gemiddelde lineaire stijging van 18 cm per eeuw, met een sinusoïdale schommeling van 3,5 cm ten gevolge van het nodaal getij.

INTERMEZZO 7 Zeespiegelstijging in de toekomst

Door de algemene zeespiegelstijging, die het gevolg zou zijn van de recente klimaatswijzigingen (IPCC, 2001), komen estuariene gebieden wereldwijd onder druk te staan (Jones, 1994; Kennish, 2002).
Het 'Intergovernmental Panel on Climat Change' (IPCC) berekent met behulp van klimaatmodellen het toekomstig zeeniveau. Volgens hen zal de zeespiegel gedurende de 21^{e} eeuw wereldwijd met 18 tot 59 cm stijgen ten opzichte van het niveau van 1990. Dit is het gevolg van de uitzetting van het zeewater, het smelten van gletsjers en kleine ijskappen, en het gestage slinken van de grote ijskappen op Groenland en Antarctica.
Op sommige plaatsen is de afkalving aan de randen van de Groenlandse en de West-Antarctische ijskap de laatste jaren sterk toegenomen. Als deze versnelde afkalving doorzet in de 21e eeuw, stijgt de zeespiegel met nog 10 tot 20 cm extra. Op dit moment is niet in te schatten hoe groot de kans is dat de trend inderdaad doorzet, stelt het IPCC.

Volgens de scenario's van het KNMI, wordt tegen 2100 een zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust in grootteorde van 35 à 85 cm ten opzichte van het niveau van 1990 verwacht (Van den Hurk et al., 2006). De afwijkingen tussen KNMI'06 en het IPCC zijn te wijten aan (a) het meenemen van regionale effecten van de uitzetting van het zeewater (0-15 cm meer in het noordoosten van de Atlantische Oceaan dan het wereldgemiddelde) en (b) de versnelde afkalving van de Groenlandse en West-Antarctische ijskap. Het KNMI acht het van belang om de bijdrage van versnelde afkalving mee te nemen in de scenario's. Bij een gematigde stijging van de gemiddelde wereldtemperatuur met +2°C is een zeespiegelstijging van 35-60 cm te verwachten tegen 2010, bij een warm scenario (+4°C), voorspelt het KNMI een zeespiegelstijging van 40-85 cm.
Volgens onderzoek aan de Gentse Universiteit ligt de verwachte regionale zeespiegelstijging voor de Noordzee in de orde van 40 tot 70 cm in het jaar 2100 (Lebbe & Van Meir, 2000).
Voor berekeningen betreffende het Sigmaplan wordt een zeespiegelstijging van 60 cm verwacht tegen 2100, met een stijging van de laagwaters met 55 cm en van de hoogwaters met 90 cm (TV. IMDC et al., 2005).
De Deltacommissie in Nederland gebruikt uit veiligheidsoverwegingen voor het laaggelegen deltagebied een nog extremer 'kleine kans –grote gevolgen' scenario van 120 cm in 2100. Dit baseren ze op een wereldwijde opwarming tot 6°C in 2100 en extremere interpolaties van de bijdragen van de ijskappen, wat zorgt voor een 'plausibele bovengrens' van de mogelijkheden.
Voor het *gemiddeld hoogwater* en *laagwater* met respectievelijk een voorspelling tot 2100 van 65 cm en 55 cm (min: HW+25 cm & LW+15 cm; max: HW+115 cm & LW+105 cm) kan uitgegaan worden van een gelijkaardige toename van het hoogwater en laagwater tegen 2050 van respectievelijk 33 cm en 20 cm (THV. IMDC-RA, 2003).
Voor de bijkomende interpretatie wordt verwezen naar www.knmi.nl en www.ipcc.ch.

3.6.2 Effectanalyse van zeespiegelstijging

3.6.2.1 Huidige studie

Met de *1D-modellering* is een verhoging van de afwaartse waterstand met 60 cm gesimuleerd (HW en LW gelijk) (Coen et al., 2010). Met het *2D-modellering* zijn 4 hypothetische scenarioberekeningen uitgevoerd (Maximova et al., 2010a):

- Een historische evolutie van de hoogwaters van de laatste honderd jaar door een verlaging met 25 cm van de huidige waterstandsreeks nabij de Noordzee;
- Twee scenario's met een gelijkwaardige verhoging van het hoog- en laagwater met 25 cm en 60 cm;
- Een scenario rekening houdend met de amplificatie van het getijverschil die gekoppeld is aan deze zeespiegelstijging: +60 cm voor de hoogwaters en +41 cm voor de laagwaters.

Bijkomende relevante modelsimulaties uit de kalibratieslag van het 2D-model (Ides et al., 2008) vormen de verhoging en verlaging van de topo-bathymetrie van de slikken en de schorren met 20 cm, aangezien morfologische processen niet meegenomen worden in bovenstaande simulaties. Alle simulaties hadden tot doel na te gaan hoe een verhoging van de afwaartse waterstand zich doorvertaalt in het Schelde-estuarium zonder evenwel rekening te houden met geplande maatregelen, zoals het Geactualiseerd Sigmaplan, waarvan stabiliserende effecten verwacht worden.

Een opgelegde zeespiegelstijging van 60 cm wordt bijna zonder wijziging voortgezet over de ganse Westerschelde. Vanaf Baalhoek tot Temse neemt de stijging van de hoogwaters geleidelijk af. Opwaarts Temse wordt het effect van de zeespiegelstijging kleiner met een minimale stijging in de zone van Sint–Amands – Dendermonde - Schoonaarde. Stroomopwaarts Schoonaarde stijgt het hoogwater opnieuw zelfs tot een hoger niveau dan de opgelegde zeespiegelstijging indien ook het getijverschil toeneemt. Deze trend wordt zowel waargenomen voor de opgelegde zeespiegelstijging van 60 cm, als van 25 cm.

Het (te) beperkt stijgen van de hoogwaters in de Schelde is mogelijks te wijten aan het gebruik van één vaste recente bathymetrie met een stijgende komberging tot gevolg. De slik- en schorverhoging en -verlaging van de huidige topo-bathymetrie met 20 cm (Ides et al., 2007) hebben stroomafwaarts van Dendermonde een zeer beperkte af/toename, enkel stroomopwaarts Dendermonde veroorzaakt dit een matig effect op de hoogwaters.
De stijging van de laagwaters is een stuk kleiner dan de afwaarts opgelegde stijging. Vooral in de zone stroomopwaarts van Temse is een matig tot sterk verminderde stijging. Hierdoor stijgt wel het getijverschil in de zone stroomopwaarts van Temse.
Wanneer de historische evolutie van de vorige 100 jaar bekeken wordt, door een theoretische zeespiegeldaling van -25 cm op te leggen, is een gelijkaardige trend als de +25 cm zichtbaar in omgekeerde richting wat mogelijks de modelresultaten versterkt.
Zeespiegelstijging heeft een daling van de getijasymmetrie tot gevolg, omwille van een toename van de duur van stijgend water. Bij zeespiegelstijging stijgen eveneens de tijvolumes. Dit effect is mogelijks gerelateerd aan de vorm van de dwarsdoorsneden in het estuarium: hoe hoger het waterpeil, hoe groter de natte sectie zal zijn.

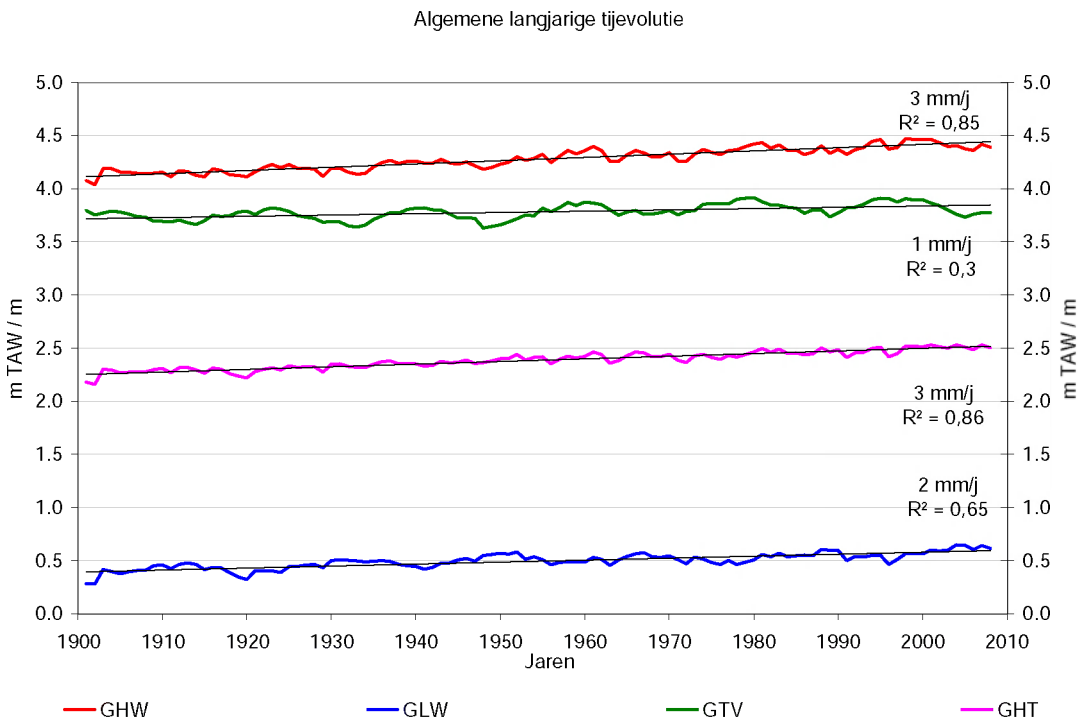
Tabel 3.15 - Overzicht voorspeld direct effect voor scenario zeespiegelstijging (stijging van 60 cm van hoog- en laagwater) t.o.v. referentiescenario, met 1D- en 2D-modelinstrumentarium (Coen et al., 2010; Maximova et al., 2010a)

Locatie	**Hoogwater**	**Laagwater**
	Effect t.o.v. stijging hoog-/laagwater met 60 cm	
Terneuzen-Baalhoek	Geen afwijking (< 1 cm)	Geen afwijking (< 1 cm)
Baalhoek – Liefkenshoek	Geringe afname (< 2 cm)	Geringe afname (< 2 cm)
Liefkenshoek-Temse	Geringe afname (< 3 cm)	Geringe afname (< 3 cm)
Temse - Dendermonde	Kleine afname (5-10 cm)	Kleine tot beduidende afname (5-20 cm)
Dendermonde-Wetteren	Kleine afname (5-10 cm)	Grote afname (> 25 cm)
Wetteren-Gentbrugge	Geringe afname (< 5 cm)	Grote afname (25 cm)

3.6.2.2 Voorgaande studies

Voor Vlissingen kan de toename van de jaargemiddelde hoogwaters (30 cm/100 jaar, Figuur 3.19) maar voor een deel verklaard worden door de stijging van de zeespiegel (nl. 15 à 20 cm/100 jaar).
De toename van de laagwaters ligt wel in lijn met de zeespiegelstijging van de voorbije 100 jaar (20 cm/100 jaar). Dat zowel de hoog- als laagwaterstanden in stijgende lijn zitten, resulteert voor de ganse periode in een geringere stijging van het getijverschil (10 cm/100 jaar).

Naast de gemiddelde zeespiegel is ook het getijverschil aan het stijgen. Het hoogwater neemt sterker toe dan het laagwater met respectievelijk 33 cm en 20 cm per 100 jaar (Peeters et al., 2011.). Van 1860 tot 2000 is het getijverschil in de Schelde gestegen met ongeveer 25 cm. Dit is ongeveer 18 cm per 100 jaar of een relatieve stijging van ongeveer 5% per eeuw (Jeuken et al., 2007).



Figuur 3.19 – Westerschelde te Vlissingen: Langjarige tijevolutie

Dillingh en Heinen (1994) bestudeerden de wijzigingen van het waterpeil in de Westerschelde in de voorbije eeuw. De conclusie is dat de gemiddelde hoogwaterpeilen in de Westerschelde sneller stijgen dan het gemiddeld zeeniveau. De gemiddelde laagwaterpeilen stijgen trager dan het gemiddeld zeeniveau. Dit resulteert in een stijging van het getijverschil. De hoogwaters stijgen sterker in opwaartse richting. Sinds 1900 zijn de hoogwaters te Bath circa 20 cm meer toegenomen dan het hoogwater te Vlissingen. Volgens de auteurs is dit gerelateerd aan de sterkere stijging van de hoogwaters in het oostelijk deel van de Westerschelde. De hoogwaters stijgen hier met 50 cm per eeuw, wat ongeveer twee keer meer is dan ter hoogte van de Nederlandse kust langs de Noordzee en de Waddenzee (25 cm per eeuw).

Sinds 1960 is de stijging van de laagwaters in het oostelijk deel van de Westerschelde omgekeerd in een daling. In combinatie met een relatief sterke stijging van de hoogwaters, resulteert dit in een sterke toename van het getijverschil in dit deel van de Westerschelde.

Het getij dringt verder door in het estuarium dan in het verleden ten gevolge van het dieper en smaller worden van het estuarium. Volgens Vroon et al. (1997) is de bergingscapaciteit afgenomen, terwijl de geulen waarin de waterstroom getransporteerd wordt toegenomen zijn. De snelheid van de getijgolf in het Schelde-estuarium is toegenomen. In 1985 verplaatste het hoogwater tussen Vlissingen en Hansweert zich gemiddeld 15 minuten sneller dan in 1895, en tussen Vlissingen en Antwerpen 40 minuten sneller dan in 1895. De stijging van de snelheid van de getijgolf betekent dat het estuarium beter 'gevuld' wordt. Op het tijdstip van hoogwater in Antwerpen is het waterpeil in Vlissingen hoger dan in het verleden. In 1895 was het waterpeil in Vlissingen, op het tijdstip van hoogwater te Antwerpen, reeds 2 uur en 24 minuten aan het dalen, terwijl dit nu 1 uur en 44 minuten is. Er is dus meer water in het estuarium.

De conclusies van Dillingh en Heinen (1994) en Vroon et al. (1997) zijn gemaakt op basis van de vergelijking van gemeten waterpeilen in het Schelde-estuarium. Hierdoor houden hun resultaten niet enkel rekening met het effect van zeespiegelstijging, maar ook met de effecten van alle andere natuurlijke en autonome evoluties en antropogene ingrepen in het estuarium.

3.6.3 Invloed zeespiegelstijging op Scheldehabitats

3.6.3.1 Areaal van slikken en schorren

Effect op slikareaal

De stijging van het laagwater Ten gevolge van de zeespiegelstijging is het grootst in de Westerschelde, tot Baalhoek. In de mesohaliene en oligohaliene zone wordt dat geleidelijk minder. Tussen Temse en Gent vermindert de toename van de laagwaterstanden tot slechts 35cm ten opzicht van de 60cm stijging aan de monding. In de Westerschelde, meso- en oligohaliene zone wordt dus relatief meer slik omgezet in ondiep water dan in het zoete deel van de Zeeschelde.
Aangezien de zeespiegelstijging een geleidelijk en gestaag proces is, kunnen de slikken meegroeien met de stijging van het laagwater. Voorwaarden zijn dat de sedimentvracht voldoet is om de verticale groei te voeden en dat de laterale ruimte toereikend is om te voorkomen dat de helling te steil wordt.

Effect op schorareaal

De stijging van het hoogwater in de Zeeschelde is over nagenoeg de hele lengte groter dan de toename van de laagwaterstanden.
Aangezien de zeespiegelstijging een geleidelijk proces is, kunnen de schorren zich enigszins aanpassen aan de stijgende waterstand. Ook hier is voldoende sediment nodig om de verticale groei aan te kunnen. Temmerman et al. (2004) voorspelden dat de schorren in de Zeeschelde onder de huidige sedimentvracht probleemloos kunnen meegroeien met de verhoging van het hoogwater. In de Westerschelde zou dat iets minder evident zijn indien de sedimentbeschikbaarheid zou dalen. Een tweede belangrijke voorwaarde is dat er laterale uitbreiding van het schor in het achterland mogelijk is, anders verkleinen ze tot de hoogste delen van het voormalige schor.

3.6.3.2 Kwaliteit van slikken en schorren

Effect op slikkwaliteit
Door de stijging van laagwater en hoogwater krijgen we een stijging van zowel de 25%- als de 75%-overspoelingsduurgrens. Dit zorgt voor een versmalling van de reeds beperkte hoog slikecotoop en een uitbreiding van het dynamischer laag slikecotoop. De benedengrens (i.e. 75%-overspoelingsduur) stijgt minder in stroomopwaartse richting (o.a. Temse +52cm, Dendermonde +48cm, Melle +42cm) waardoor het middelhoog slikaandeel kan stijgen.

Effect op schorkwaliteit
De stijging van de 25%-overspoelingsduurgrens zorgt voor een versmalling van het hoog slik, alsook de potentiële pionierschorzone.
Op de hogere schorplateaus kan samen met een verhoogde overspoelingsfrequentie een verhoogde sedimentatie optreden. Vermits laterale uitbreidingsmogelijkheden voor het schor niet aanwezig zijn zorgt dit voor versteiling van de intertidale gradiënt, vooral in de zoete zone waar het getijverschil toe neemt.

Foto 7 Laterale uitbreiding van schorren is vaak niet meer mogelijk, enkel door ontpoldering zoals in Lillo (werken in uitvoering); lateral expansion of tidal marsh is often limited, exept by de-embankment such as Lillo (at the bottom) (Vildaphoto-Yves Adams)

4 Ingrepen en effecten op het getij

In onderstaande tabellen wordt een inschatting gemaakt van het aandeel van antropogene ingrepen alsook natuurlijke evoluties in de waargenomen trends in het Zeescheldebekken. De bijhorende grafieken worden weergegeven in Bijlage 3.
Er wordt vertrokken van de trends in hoog- en laagwater per dubbel-decennium, na uitfiltering van het nodaal getij (Figuur 4.1 voor Vlissingen en Bijlage 3 voor de andere meetposten). De gevolgde methodiek wordt toegelicht in Peeters et al. (2011). Uit de lineaire regressie van de hoog- en laagwaters over 20 jaar wordt de evolutie, hetzij totale stijging of daling in centimeters, bepaald. Aan de hand van de scenarioberekeningen en gegevens uit de literatuur werd een (maximalistische) inschatting gemaakt van het effect van in het verleden uitgevoerde ingrepen of voorgedane evolutie. Voor elke ingreep wordt de klasse van grootte van de bijdrage weergegeven (zieTabel 0.1 .A: gering effect, 1-5 cm; B: klein effect, 5-10 cm; C: matig effect, 10-25 cm; D: groot effect, >25 cm). Bij de ingrepen wordt onderscheid gemaakt tussen 'natuurlijke evolutie' en antropogene ingrepen.

Onder '*natuurlijke evolutie'* wordt hier enkel de stijging (of daling) van het hoog-/laagwater ten gevolge van wijzigingen van de zeespiegel verstaan. Het betreft dus een externe evolutie die opgelegd wordt aan het Schelde-estuarium. Hiervoor wordt de evolutie van het hoog- en laagwater per dubbele decade te Vlissingen als basis genomen (zie Figuur 4.1). Uit simulaties omtrent zeespiegelstijging (zie §3.6) is gebleken dat de opgelegde verhoging van de waterstanden te Vlissingen in het model zorgen voor een vergelijkbare stijging van de hoogwaters met een waarde die weinig verschilt van de stroomafwaarts opgelegde stijging. De gemodelleerde stijging van de laagwaters is echter kleiner dan de opgelegde stijging te Vlissingen.

INTERMEZZO 8 Hindcast van de reproduceerbaarheid van ontwikkelingen in de waterbeweging

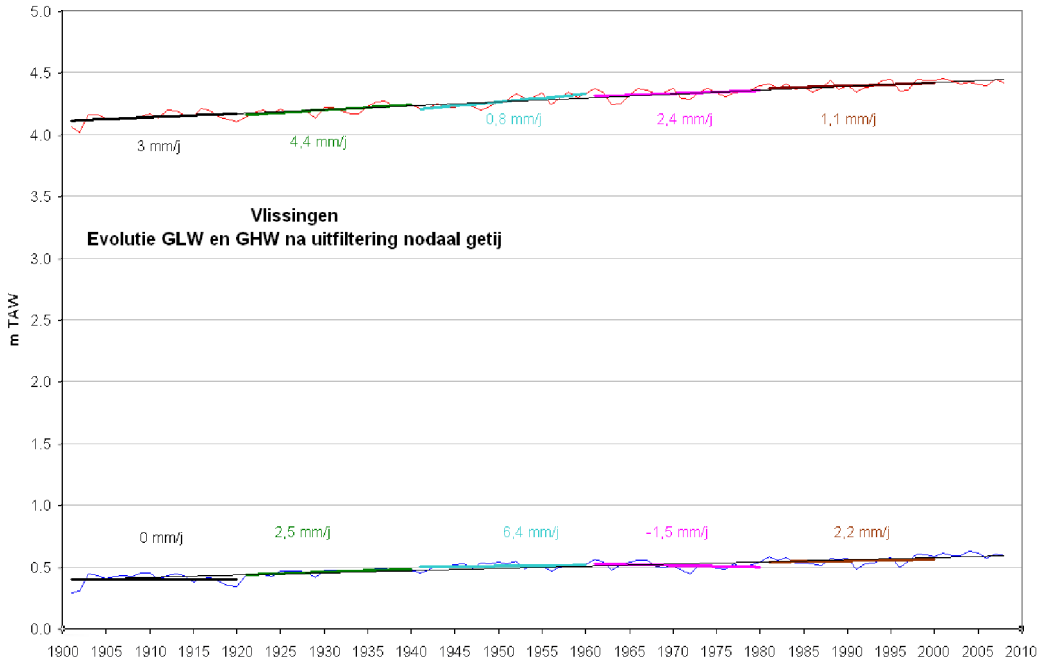
De onderzochte scenario's met de numerieke modellen geven een indicatie van de directe effecten van een ingreep. Dit effect bleek in meerdere scenario's zeer klein te zijn. Waar in de meetgegevens vaak wel een verandering in de waterstanden kon vastgesteld worden, rees de vraag wat hiervoor een mogelijke verklaring zou kunnen zijn: de beperkingen van de gebruikte modellen of het grote belang van na-ijlende effecten en natuurlijke ontwikkelingen ten opzichte van de directe effecten.

Om de mogelijkheden van de numerieke modellen na te gaan werd in Maximova *et al.*, (2010) een hindcast uitgevoerd voor de periode 1995 – 2006. In MOVE (van Eck & Holzhauer, 2007) werd over deze periode een daling van het laagwater te Bath vastgesteld van ca. 6 cm ten opzichte van Vlissingen. Maximova *et al.*, (2010) geeft voor het directe effect van het verruimen van de vaargeul een daling van het laagwater te Bath kleiner dan 1 cm, wanneer de specie wordt teruggestort. De vaststellingen binnen MOVE houden echter ook rekening met de natuurlijke ontwikkelingen, directe effecten van andere ingrepen (cfr. zandwinning), de na-ijlende effecten van de verruiming, alsook van andere historische ingrepen. Daartoe werd een scenario doorgerekend waarbij de al deze ontwikkelingen werden meegenomen door de simulatie uit te voeren met een bodemschematisatie van enerzijds 1995 en anderzijds 2006. Dit scenario gaf een daling van het laagwater te Bath van ca. 10 cm. Dit stemt in richting overeen met de waarnemingen uit MOVE, in grootte is dit iets sterker.

Uit deze hindcast blijkt dat het directe effect van de ingreep (verruiming) beperkt is ten opzichte van de natuurlijke ontwikkelingen, de directe effecten van andere ingrepen (cfr. zandwinning), de na-ijlende effecten van de ingreep (verruiming), alsook van andere historische ingrepen.

Bij de *antropogene ingrepen* wordt gebruik gemaakt van de uitgevoerde simulaties en extra literatuur om een inschatting te maken van het effect op hoog-/laagwater. Hierbij wordt steeds een (maximalistische) inschatting gemaakt. Het opgetelde effect van alle ingrepen en

de natuurlijke evolutie kan hierbij zowel lager of hoger zijn dan de waargenomen veranderingen in de 20-jarige trend van het hoog- en laagwater. Dit kan zowel te wijten zijn aan niet verklaarde effecten van niet of moeilijk te modelleren ingrepen, als ongekende historische antropogene ingrepen.



Figuur 4.1 – Evolutie GLW en GHW te Vlissingen na uitfiltering nodaal getij

Van ingrepen die op het einde van een 20-jarige periode uitgevoerd zijn, zal het effect zich voornamelijk manifesteren in de volgende 20-jarige periode. Deze ingrepen worden nogmaals aangehaald in de volgende periode.

Van de in het verleden uitgevoerde inpolderingen is het intertidaal volume dat geborgen werd in de polder vaak onbekend. Hiervoor wordt voornamelijk gebruik gemaakt van de oppervlakte van de polder om een vergelijking te maken met de uitgevoerde simulaties omtrent inpolderingen (§3.3).

Onduidelijkheid over de toestand voor en na de aanleg van strekdammen, kribben, kaaimuren of de bouw van sluizen maakt het niet eenvoudig om de effecten op de hoog- en laagwater in te schatten. Vermoed wordt dat de effecten eerder gering zijn geweest. Zoals de andere ingrepen met geen of geringe effecten worden zij niet in de tabel vermeld maar wel in de grafieken opgenomen (zie Bijlage 3) (bijvoorbeeld rechttrekking Driegoten).

Tabel 4.1 - Begroting van het aandeel van de ingrepen op de tijevolutie tussen 1901 en 1920 langs de Zeeschelde.

1901-1920	**Hoogwater**									**Laagwater**								
	Bath	Liefkenshoek	Schelle	Tielrode	Dendermonde	Uitbergen	Melle	Walem	Waasmunster	Bath	Liefkenshoek	Schelle	Tielrode	Dendermonde	Uitbergen	Melle	Walem	Waasmunster
Evolutie over 20 jaar (cm)	25	15	26	33	34	56	66	25	34	6	-10	1	-2	-1	20	45	7	31
Natuurlijke evolutie																		
Evolutie Vlissingen	B	B	B	B	B	B	B	B	B									
Antropogene ingrepen																		
1850-1907: Inpolderingen tussen Bath en Antwerpen[1]	A	A	A	A	A						A							
1867-1904: Inpolderingen afwaarts Bath[2]	A																	
1878-1904: verbeteringswerken Schelde (normalisaties en rechttrekkingen; ± 10.5 km inkorting)					-A	B	D						A	A	-D	-D		
1894-1900: Inpolderingen ter hoogte van Antwerpen[3]	A	A	A	A	A	A		A										
1901-1910: Ingrepen Rupelmonding[4]								A										

Legende. geen effect, <1 cm; A: gering effect, 1-5 cm; B: klein effect, 5-10 cm; C: matig effect, 10-25 cm; D: groot effect, >25 cm (zie ook

In hoofdstukken 3 en 5 wordt onderstaande tabel gebruikt om de effecten van de scenarioberekeningen te begroten. De grootteorde van de impact van ingrepen op het hoog- en laagwater wordt hiertoe ingedeeld in klassen. Een '-' teken (negatieve klasse) geeft aan dat het effect een daling van het hoog-/laagwater veroorzaakt. Geen effect betekent in deze context geen aantoonbaar effect.

Tabel 0.1).

[1]1850-1920: Groot Buitenschoor en Ketenissepolder; 1894-1899: Paardenschor; 1904-1907: Hedwigepolder; 1906: potpolder Lillo

[2]1867: Kreekrak; 1895: Damespolder; 1897: Anna Maria polder; 1904: Volckerpolder;

[3]1894-1900: opspuiting Sint-Anna (Borgerweertpolder); 1900: uitbreiding kaaien naar het zuiden

[4]1901-1909: plaatsing stroomgeleider aan de Rupelmonding met vorming van grote zandbank op rechteroever tot gevolg; 1910: afbraak van de stroomgeleider en zandontginning op de Plaat van Rupelmonde

In de periode 1901-1920 zijn voornamelijk inpolderingen uitgevoerd. Hiernaast werden ook verbeteringswerken langs de Schelde uitgevoerd, waaronder normalisaties en

rechttrekkingen. Rekening houdend met de locatie van de inpolderingen, wordt een inschatting van het effect gemaakt op basis van de simulatieresultaten (Tabel 3.4) voor de inpolderingen van Nieuw-Westlandpolder en Groot Schoor van Hamme. De totale oppervlakte van de ingepolderde gebieden stroomafwaarts van Antwerpen bedraagt circa 2200 ha. Dit is meer dan anderhalf maal de oppervlakte van de inpoldering van de Nieuw-Westlandpolder. De oppervlakte van de inpoldering ter hoogte van Antwerpen komt overeen met deze van het Groot Schoor te Hamme.
In 1867 werd Kreekrak, de open verbinding tussen de Westerschelde en Oosterschelde afgedamd. Langs weerszijden van de dam werd de reeds aangeslibde geul op natuurlijke wijze opgevuld. Naargelang de hoogst gelegen gebieden rijp werden voor inpoldering werden ze dan ook ingedijkt, in 1895 de Damespolder, in 1897 de Anna-Mariapolder, in 1904 de Volckerpolder, en in 1923 de Kreekpolder (Meyvis, 1977b). De oppervlakte van deze polders samen bedraagt circa 880 ha, of ongeveer de helft van de Braakmanpolder. Deze inpolderingen zullen voornamelijk effect gehad hebben op het hoogwater te Bath, en weinig of geen effect op de hoog- en laagwaters verder op de Zeeschelde. De inkorting van de Schelde ten gevolge van de rechttrekkingen uitgevoerd in deze periode komt overeen met de inkorting in de uitgevoerde simulaties. Het effect uit de resultaten wordt daarom volledig overgenomen.

Langs de Durme dateert het wegvallen van de bovenafvoer uit de periode van 1825-1827, bij de aanleg van het kanaal Gent-Terneuzen, en valt hiermee buiten het beschouwde tijdsvenster.

Van de ingrepen langs de Rupel wordt verwacht dat deze slechts een gering effect hebben gehad op het gemiddeld hoogwater.

Tabel 4.2 - Begroting van het aandeel van de ingrepen op de tijevolutie langs de Zeeschelde tussen 1921 en 1940

1921-1940 • geen effect, <1 cm; • A: gering effect, 1-5 cm; • B: klein effect, 5-10 cm; • C: matig effect, 10-25 cm; • D: groot effect, >25 cm	**Hoogwater**									**Laagwater**								
	Bath	Liefkenshoek	Schelle	Tielrode	Dendermonde	Uitbergen	Melle	Walem	Waasmunster	Bath	Liefkenshoek	Schelle	Tielrode	Dendermonde	Uitbergen	Melle	Walem	Waasmunster
Evolutie over 20 jaar (cm)	-5	16	18	20	12	6	8	12	21	-10	-4	-13	-18	-14	6	-2	-34	-60
Natuurlijke evolutie																		
Evolutie Vlissingen	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	0
Antropogene ingrepen																		
1923: inpoldering Kreekrakpolder	A																	
1925: Aanleg winterdijk Scheldebroeken Zele/Berlare					A									A				
1925-1928: Normalisatie Schoonaarde-Appels					-B	A	A							A	-A	-A		
1926: Inpoldering Hellegatpolder	A																	
1931-1937: Rechttrekkingen Durme (inkorting ± 2.3 km)				A					C				-A					-C
1933-1939: Baggerwerken Durme													-A					-D
1936: Kleine rechttrekking nabij vroegere Dendermonding					A									A				
1938-1950: Aanleg potpolders Durme									-A									A

In de periode 1921-1940 werden verdere verbeteringswerken zowel langs de Schelde, als langs de Durme uitgevoerd. Langs de Westerschelde en Zeeschelde werden eveneens inpolderingen uitgevoerd. In 1923 werd de Kreekrakpolder (250 ha) ingedijkt (Meyvis, 1977b). De aanleg van de winterdijk ter hoogte van de Scheldebroeken wordt beschouwd als een inpoldering. De oppervlakte van het ingedijkte gebied bedraagt circa 31 ha. Dit is ongeveer anderhalf maal zo groot als het Groot Schoor. Voor de inschatting van het effect van deze inpoldering wordt gebruik gemaakt van de simulatieresultaten van de inpoldering van het Groot Schoor (met origineel grid). In 1926 werd de Hellegatpolder (150 ha, langs de Westerschelde, tussen Terneuzen en Hansweert) ingepolderd. Deze inpoldering zal vermoedelijk een beperkt effect gehad hebben op het hoogwater te Bath. Het effect van de rechttrekkingen ter hoogte van Schoonaarde-Appels en langs de Durme is bepaald op basis van de simulatieresultaten. Van de dijkverhogingen opwaarts Dendermonde is het effect vermoedelijk beperkt tot de hoge hoogwaterniveaus (bijvoorbeeld in een periode met hoge bovenafvoer).

In deze periode werden eveneens (onderhouds)baggerwerken op de Zeeschelde en Westerschelde uitgevoerd, met terugstorten van de baggerspecie. Omwille van het ontbreken van informatie over gebaggerde volumes en bagger- en stortlocaties is het niet mogelijk een correcte inschatting te maken van het effect op hoog- en laagwater.

Tussen 1933 en 1939 werd in de Durme gebaggerd tussen Lokeren en Waasmunster. In combinatie met de rechttrekkingen trachtte men op deze wijze het hydraulisch vermogen van de rivier te vergroten (Taverniers, 1979). Aangezien de aanzanding zorgde voor het verhogen van zowel hoog- als laagwaterstanden in de Durme, wordt aangenomen dat de baggerwerken een omgekeerd effect hadden. De aanleg van de potpolders langs de Durme diende het overstromen bij stormvloed tegen te gaan. Deze zullen dus voornamelijk effect hebben op de hoge hoogwaters. De aangelegde potpolders waren voordien echter vloeimeersen die systematisch bij hoge hoogwaterstanden in de winter overstroomden. De aanleg van de potpolders kan dus vergeleken worden met beperkte inpolderingen.

In deze periode werden eveneens (onderhouds)baggerwerken op de Zeeschelde en Westerschelde uitgevoerd, met terugstorten van de baggerspecie. Omwille van het ontbreken van informatie over gebaggerde volumes en bagger- en stortlocaties is het niet mogelijk een correcte inschatting te maken van het effect op hoog- en laagwater.

Tabel 4.3 - Begroting van het aandeel van de ingrepen op de Meirevolutie langs de Zeeschelde tussen 1941 en 1960

1941-1960 • geen effect, <1 cm; • A: gering effect, 1-5 cm; • B: klein effect, 5-10 cm; • C: matig effect, 10-25 cm; • D: groot effect, >25 cm	**Hoogwater**									**Laagwater**								
	Bath	Liefkenshoek	Schelle	Tielrode	Dendermonde	Uitbergen	Melle	Walem	Waasmunster	Bath	Liefkenshoek	Schelle	Tielrode	Dendermonde	Uitbergen	Melle	Walem	Waasmunster
Evolutie over 20 jaar (cm)	8	22	* 9	22	26	** 1	/	18	40	5	** 2	* -3	-16	0	** -6	/	-8	84
Natuurlijke evolutie																		
Evolutie Vlissingen	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Antropogene ingrepen																		
1938-1950: Aanleg potpolders Durme									-A									A
1942-1960: Inpolderingen Westerschelde opwaarts Bath[5]	A	A	A								-A							
1946-1953 + 1955-1958: Baggerwerken Durme				A					A				-A					-B
1949: Inpoldering Quarlespolder	A																	
1950: Opspuiting Wijtvlietpolder		A	A															
1953: Inpoldering/bedijking Braakman(polder)	A	A	A															
1954: Afdamming Durme stroomafwaarts centrum Lokeren									B									D
1960: Bedijking Kalkense meersen			A	A	A	A		A							-A			
1951-1960: Inpolderingen vloeisystemen Durme																		A

[5]1942: Nieuw-Westlandpolder; 1942: verbinding Ooster- en Westerschelde; 1960: schor van Ossendrecht
/: geen gegevens beschikbaar
*: Evolutie voor de periode 1941-1950. Geen gegevens beschikbaar voor 1951-1960
**: Evolutie voor de periode 1951-1960. Geen gegevens beschikbaar voor 1941-1950

Van de periode 1941-1960 zijn geen gegevens beschikbaar voor de tijpost te Melle. Voor de tijposten te Schelle en Liefkenshoek is de evolutie over 20 jaar berekend op basis van de beschikbare gegevens over 10 jaar.
Op de Westerschelde tussen Bath en de Belgisch-Nederlandse grens zijn enkele inpolderingen uitgevoerd. Van het schor van Ossendrecht (800 ha) is bekend dat het schorpeil reeds hoger lag dan het gemiddeld getij waardoor in de Westerschelde vermoedelijk slechts een beperkt verlies aan kombergend vermogen was. De inpoldering van de Braakmanpolder (1540 ha) werd voltooid in 1953 (Meyvis, 1977b). Ook deze polder bestond voor de inpoldering reeds uit grote delen schor, met grote geulen. Hiernaast werd ook de Wijtvlietpolder, langs de rechteroever tussen Antwerpen en Liefkenshoek opgespoten.

De bedijking van de Kalkense meersen (420 ha) zorgde vooral voor een stopzetting van de winteroverstromingen. In 1949 werd de Quarlespolder (495 ha) afwaarts Bath ingepolderd. Deze polder is ontstaan na het opwerpen van een dam in het Sloe (1871), een voormalig vaarwater tussen Walcheren en Zuid-Beveland. De aangroei van het slik en schor in de afgedamde geul van het Sloe werd bevorderd, om de inpoldering sneller te kunnen doorvoeren (Meyvis, 1977b). Het effect van de inpolderingen langs de Westerschelde is begroot op basis van de simulatieresultaten van Nieuw-Westlandpolder. Het effect van de inpolderingen langs de Zeeschelde is bepaald op basis van de simulatieresultaten van Tielrodebroek en Groot Schoor van Hamme.
Tussen 1946 en 1953, en 1955 en 1958 werden belangrijke baggerwerken uitgevoerd op de Durme, ten behoeve van de scheepvaart tot in Lokeren. Deze baggerwerken hebben vermoedelijk voornamelijk invloed gehad op het laagwater in de Durme. In 1954 werd een lage dam aangelegd in de monding van de rivier. Dit om verdere instroom van zand en alluvium in de Durme vanuit de Schelde te beperken. Vermoed wordt dat deze ingreep weinig tot geen effect had op het gemiddeld hoog- en laagwater. Eveneens in 1954 werd aan het andere uiteinde van de rivier, nl. te Lokeren-Oude Brug, een hoge dam in de bedding opgeworpen die het stroomafwaartse tijgedeelte van de Durme volledig afsloot van de opwaartse gekanaliseerde restant. Het effect van deze afsluiting is bepaald naar analogie met het afsluiten van de tijarm in Gentbrugge op de bovenafvoer van de Zeeschelde.

Tabel 4.4 - Effectbegroting van ingrepen langs de Zeeschelde tussen 1961 en 1980

1961-1980 • geen effect, <1 cm; • A: gering effect, 1-5 cm; • B: klein effect, 5-10 cm; • C: matig effect, 10-25 cm; • D: groot effect, >25 cm	**Hoogwater**									**Laagwater**								
	Bath	Liefkenshoek	Schelle	Tielrode	Dendermonde	Uitbergen	Melle	Walem	Waasmunster	Bath	Liefkenshoek	Schelle	Tielrode	Dendermonde	Uitbergen	Melle	Walem	Waasmunster
Evolutie over 20 jaar (cm)	14	20	12	11	8	-5	*** 37	20	33	-21	-19	-27	-54	-44	-28	*** 3	-51	-26
Natuurlijke evolutie																		
Evolutie Vlissingen	A	A	A	A	A	A	A	A	A	-A	-A	-A	-A	-A	-A	-A	-A	-A
1977: Verlegging hoofdvaargeul naar de vloedgeul Gat van Ossenisse-Overloop Hansweert	A	A	A	A														
Antropogene ingrepen																		
1960: Bedijking Kalkense meersen			A	A	A	A		A							-A			
1961-1962: Inpoldering Zuidsloe en havengebied Sloe	A																	
1961-1970: Inpolderingen vloeisystemen Durme																		A
1964: Afdamming Durme te Lokeren									A									A
1966-1970: Inpolderingen afwaarts Antwerpen[6] + aanleg strekdammen	A	A									-A							
1967: Dam Durme verplaatst naar den Oever									A									A
1967: Inpoldering Schor van Hoboken		A	A									A						
1967-1971: Baggerwerken Durme tussen Waasmunster en Hamme													-A					-D
1968-1975: Ophoging schor Ballooi/Schouselbroek met huishoudelijk afval				A									-A					
1969: Aanleg Ringvaart Gent en sluiten schutsluis Gentbrugge					-A	-A	-B							-A	-B	-C		
1971-1977: 1ste verruiming										-C	-C	-C	-B				-A	
1976: Inpolderingen afwaarts Bath[7]	A																	
1977: Afsluiten van de Vliet			A					A				-A			-A			

[6]1966: Selenapolder/Sieperdaschor; 1970: ophoging Paardenschor
[7]1976: de Mosselbanken (nabij Braakman); schor van Ossendrecht (nabij Bath)
***Evolutie voor periode 1971-1980; geen gegevens beschikbaar voor 1961-1970

Voor de tijpost te Melle is de evolutie over 20 jaar berekend op basis van de 10-jarige gegevens tussen 1971 en 1980.
De bedijking van de Kalkense meersen in 1960 zal in deze periode vermoedelijk nog effect hebben op de hoog- en laagwaters.
Na de afdamming van het Sloe, en de inpoldering van de Quarlespolder, werden tussen 1961 en 1964 ook het Zuidsloe en het havengebied van Sloe ingepolderd. De totale oppervlakte hiervan bedraagt circa 535 ha. Tussen 1966 en 1970 werd de Selenapolder (110 ha) ingepolderd en het Paardenschor (14 ha) opgehoogd. Het Schor van Hoboken (25 ha) werd in 1967 ingepolderd, en tussen 1968 en 1975 werd het schor van Ballooi (12 ha) opgehoogd met huishoudelijk afval.
De inpolderingen nabij Bath (Ossendrecht) en nabij Braakman (de Mosselbanken), in het jaar 1976 hebben een totale oppervlakte van circa 900 ha (148 ha voor gebied nabij Braakman, 782 ha voor gebied nabij Bath). Deze worden beschreven door Witteveen en Bos (1999) (zie §3.3.2.2). Het effect van de inpolderingen en ophogingen van polders langs de Zeeschelde *en* Westerschelde is bepaald op basis van de simulatieresultaten van Nieuw-Westlandpolder, rekening houdend met de ligging en de oppervlakte van de polders.
De simulatieresultaten betreffende de wijziging van de bovenafvoer zijn gebruikt voor inschatting van het effect van de aanleg van de Ringvaart rond Gent en het sluiten van schutsluis te Gentbrugge.
Tussen 1961 en 1980 vindt een belangrijke morfologische ontwikkeling plaats in de Westerschelde. Het Gat van Ossenisse en de Overloop van Hansweert nemen sterk toe in belang (meer debiet), terwijl het Middelgat in belang afneemt (INTERMEZZO 9). De simulaties geven een zeer beperkt effect (< 1 cm) van deze ontwikkeling op het gemiddeld hoog- en laagwater.
Voor de 1e verruiming gaven de simulatieresultaten van een verruiming zonder terugstorten in de Westerschelde weinig effect van de ingreep op de hoog- en laagwaters aan. Op basis van langdurige getijwaarnemingen werd echter een groter effect op de laagwaters gevonden (zie §3.4.2). Bij de simulaties wordt echter louter de ingreep beschouwd, terwijl er niet expliciet rekening wordt gehouden met eventuele effecten van (commerciële) zandwinning en zandonttrekkingen ten behoeve van opspuitingen in de havens die ook in deze periode plaatsvonden.
Het afsluiten van de Vliet heeft op basis van de 1D-simulatieresultaten slechts een beperkt effect op het hoog- en laagwater (zie INTERMEZZO 3).
In de periode 1961-1980 werd de dam op de Durme *v*erder stroomafwaarts verplaatst. Aangezien de komberging van de rivier hierdoor steeds verminderde, kan het effect van deze ingreep vergeleken worden met het effect van een inpoldering. Volgens Taverniers (1979) zouden de baggerwerken op de Durme tussen Hamme en Waasmunster, tussen 1967 en 1970, zich vertalen in een onmiddellijke en sterke verlaging van het laagwater. De evolutie van het laagwater in de Durme is volgens Taverniers (1979) gebonden aan het proces van aanzanding, het bereiken van een natuurlijk evenwicht, het verbreken ervan door baggerwerken, en het herzoeken van stabiliteit.

INTERMEZZO 9 Morfologische ontwikkelingen Gat van Ossenisse en Middelgat en getijvoortplanting

In het meergeulenstelsel van de Westerschelde zal de diepte van de eb- en vloedgeulen, alsook de hoogte van de platen en het voorkomen van zgn. kortsluitgeulen de getijvoortplanting beïnvloeden. In de 20e eeuw en meer uitgesproken in de periode 1950 - 1970 vond een belangrijke morfologische ontwikkeling plaats tussen het Middelgat en de Overloop van Hansweert/Gat van Ossenisse. Hierbij won de Overloop van Hansweert/Gat van Ossenisse aan belang (meer debiet), terwijl het Middelgat verloor aan belang. Deze hydrodynamische wijzigingen gingen gepaard met morfologische wijzigingen waarbij het Middelgat verondiepte en de Overloop van Hansweert/Gat van Ossenisse verdiepte. Verwacht kan worden dat deze grootschalige ontwikkeling een invloed hebben op de getijvoortplanting in het estuarium. Uit de 2D modelsimulaties bleek het doorgerekende effect op de getijamplitude van het verschil in morfologie tussen 1955 en 1970, enkele centimeter (lokaal ~ 5 cm, regionaal ~ 3 cm) te bedragen (Maximova et al. 2010).

Tabel 4.5 - Effectbegroting van ingrepen langs de Zeeschelde tussen 1981 en 2000

1981-2000 • geen effect, <1 cm; • A: gering effect, 1-5 cm; • B: klein effect, 5-10 cm; • C: matig effect, 10-25 cm; • D: groot effect, >25 cm	**Hoogwater**									**Laagwater**								
	Bath	Liefkenshoek	Schelle	Tielrode	Dendermonde	Uitbergen	Melle	Walem	Waasmunster	Bath	Liefkenshoek	Schelle	Tielrode	Dendermonde	Uitbergen	Melle	Walem	Waasmunster
Evolutie over 20 jaar (cm)	9	8	10	10	13	15	21	6	7	1	-1	1	-2	-14	-14	-30	-16	114
Natuurlijke evolutie																		
Evolutie Vlissingen	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
1990: Natuurlijke ontpoldering Sieperdaschor	-A	-A																
Antropogene ingrepen																		
1981: Zandontginning nabij Schaar van Ouden Doel	A									-A	-A							
1989: Zandwinning bij aanleg van Liefkenshoektunnel		A									-A							
1985-1986: Dijkversterking Galgenschoor	A																	
1997-1998: Tweede verruiming		A	A							-B	-A	A						

Voor de inschatting van de effecten van de ontpoldering, zandontginning en inpolderingen in de periode 1981-2000 werd gebruik gemaakt van de simulatieresultaten. In 1990 is het Sieperdaschor opnieuw ontpolderd door een dijkdoorbraak ten gevolge van een stormvloed. Het Sieperdaschor lag op het moment van de doorbraak iets onder GHW (Van Oevelen et al., 2000). Van de meest recente ontpolderingen, zoals deze van de Ketenissepolder in 2003 en het Paardenschor in 2004, wordt verwacht dat het effect op het hoog- en laagwater zeer klein zal zijn.

Sinds 1981 wordt in de Zeeschelde systematisch zand onttrokken uit het systeem, waarbij de hoeveelheden sterk verschillen over de jaren heen (gemiddeld circa 1,5 Mm^3). De beschikbare gegevens voor de Zeeschelde zijn echter niet volledig (zie §3.5). Volgens Soresma (2006) bedroeg de ontgonnen hoeveelheid zand nabij Schaar van Ouden Doel 1 à 2 Mm^3. Bij de aanleg van de Liefkenshoektunnel in 1989 zou circa 5 Mm^3 zand gewonnen zijn (Soresma, 2006).

In 1971 is gestart met de uitvoering van het Sigmaplan. Sindsdien zijn meerdere GOG's aangelegd en in werking gesteld (Tielrodebroek (1982), Paardeweide (1986), Bergenmeersen (1989), Bovenzanden (1983)). Deze hebben enkel invloed op de stormhoogwaters. Ook bij de uitvoering van het Sigmaplan (onder andere aanleg van dijken en ringdijken) werd zand gewonnen in de Zeeschelde, doch exacte hoeveelheden zijn niet beschikbaar. Net zoals bij de eerste verruiming is er voor de tweede verruiming een verschil in voorspelde (2D-simulaties) en waargenomen effecten (langdurige tijwaarnemingen) (zie §3.4.2). In deze periode werden tal van infrastructuurwerken uitgevoerd in de haven van Antwerpen, en aan de monding van het Zeekanaal in de Rupel/Schelde. Omwille van het ontbreken van gegevens is het niet mogelijk om een goede inschatting te maken van het effect van deze ingrepen.

Foto 8 'Erosietongen' aan de schorrand van de Notelaer (oligohalien). In een natuurlijke schorcyclus wisselen periodes van erosie van het schorplateau en pionierschorontwikkeling elkaar af; lateral marsh edge retreat with 'erosion tongues' in the low brackish reach, in a natural tidal marsh cycle an era of erosion should be followed by an era of pioneer marsh development (Vildaphoto-Yves Adams)

5 Ingreep-getij effecten op Scheldehabitats

De effecten van menselijke ingrepen, buiten het estuarium optredende evoluties en endogene processen langs de Schelde hebben een effect op getijveranderingen. Deze hebben een aandeel in de getijveranderingen die bijgevolg in meer of mindere mate een effect hebben op de evoluties van de Scheldehabitats. Voor de verschillende saliniteitszones langsheen de Scheldegradiënt zijn de effecten van waargenomen getijveranderingen op de Scheldehabitats niet steeds gelijktijdig verlopen. Per saliniteitszone wordt toegespitst op duidelijke veranderingen in de waargenomen dubbel-decanale trends van de jaargemiddelde laag- en hoogwaterpeilen (zie §0, figuren in Bijlage 3 en samengevat in onderstaande Tabel 5.1, Tabel 5.2). Voor elke saliniteitszone worden eerst de veranderingen van het laagwater besproken aan de hand van historische ontwikkelingen van de bathymetrie van de geul(en), de subtidale gebieden en de overgang naar het slik. Daarna wordt ingegaan op de trends van het hoogwater en de invloed van hoogwaterpeilveranderingen op de schorren en overstromingsgebieden zoals vloeisystemen en alluviale gebieden binnen het winterbed.

Tabel 5.1 Evolutie van de dubbel-decanale trends van de jaargemiddelde laag- en hoogwaterpeilen en het getijverschil in de Zeeschelde.

Evolutie over 20 jaar (cm)	*Mesohaliene zone*						*Oligohaliene zone*			*Zoete zone met lange verblijftijd*			*Zoete zone met korte verblijftijd*								
	Bath			**Liefkenshoek**			**Schelle**			**Tielrode**			**Dendermonde**			**Uitbergen**			**Melle**		
	HW	***LW***	***TV***	***HW***	***LW***	***TV***	***HW***	***LW***	***TV***	***HW***	***LW***	***TV***	***HW***	***LW***	***TV***	***HW***	***LW***	***TV***	***HW***	***LW***	***TV***
1901-1920	25	6	19	15	-10	25	26	1	25	33	-2	35	34	-1	35	56	20	36	66	45	21
1921-1940	-5	-10	5	16	-4	20	18	-13	31	20	-18	38	12	-14	26	6	6	0	8	-2	10
1941-1960	8	5	3	22	2*	20*	9*	-3*	12*	22	-16	38	26	0	26	1*	-6*	7*	/	/	/
1961-1980	14	-21	35	20	-19	39	12	-27	39	11	-54	65	8	-44	52	-5	-28	23	37*	3*	34*
1981-2000	9	1	8	8	-1	9	10	1	9	10	-2	12	13	-14	27	15	-14	29	21	-30	51

Tabel 5.2 Evolutie van de dubbel-decanale trends van de jaargemiddelde laag- en hoogwaterpeilen en het getijverschil in de Zeeschelde.

	Walem			**Waasmunster**		
	HW	***LW***	***TV***	***HW***	***LW***	***TV***
1901-1920	25	7	18	34	31	3
1921-1940	12	-34	46	21	-60	81
1941-1960	18	-8	26	40	84	-44
1961-1980	20	-51	71	33	-26	59
1981-2000	6	-16	22	7	114	-107

5.1 Mesohaliene zone

5.1.1 Oorzaak-effectrelaties - laagwater

In de mesohaliene zone ter hoogte van Liefkenshoek zijn 2 perioden met een duidelijke daling van het laagwaterniveau waar te nemen. In de eerste periode, tussen 1900 en 1920, daalde het laagwater sterk in Liefkenshoek, maar niet nabij Bath. Uit een kaartanalyse van de periode eind 19e, begin 20e eeuw (Van Braeckel et al., 2009) blijkt dat het Belgisch-Nederlandse grensgebied toen nog gekenmerkt was door een gevarieerd meergeulenstelsel met grote platen zoals de Ballastplaat, de Plaat van Doel en een kleinere plaat nabij de bocht van Lillo. In deze zone bleven ingrepen beperkt. Wel traden er geulverschuivingen op rond de Ballastplaat ten gevolge van bochtveranderingen nabij Bath. Deze werden mogelijks meegeïnduceerd door inpolderingen. Rond Antwerpen werden wel ingrepen uitgevoerd. Op het eind van de 19e eeuw startten hier de eerste verruimingsbaggerwerken. Vooral ter hoogte van de punt van Melsele werd in 1891-1897 gepoogd om de doorgang te verbeteren door te baggeren. Ook tussen 1896 en 1897 werd stroomopwaarts de drempel van Lillo specie weggebaggerd met een geulverlegging tot gevolg (Kiden, 1983). Dit zorgde voor een lokale verlaging van het laagwater tussen Liefkenshoek en Antwerpen, met stroomafwaarts wegebbend effect tot in Bath en stroomopwaarts tot Schelle.
De tweede en sterkste daling in de dubbel-decanale trend van het laagwater manifesteerde zich in de periode 1961-1980, deze keer over de volledige mesohaliene zone. Zowel in Bath als in Liefkenshoek trad een daling van 20 cm op. Dit valt samen met de periode van stelselmatige verhoging van de baggerintensiteit, waarbij grote hoeveelheden zand uit de Westerschelde en Zeeschelde onttrokken werden aan het Scheldesysteem.

De modelresultaten over verruiming in de Westerschelde geven enkel afwijkingen van het laagwater aan wanneer de baggerspecie onttrokken wordt. In de mesohaliene zone kan voor beide periodes de waargenomen laagwaterdaling gerelateerd worden aan verruimingen gecombineerd met zandonttrekking.

Verlaging van het laagwaterpeil kan in principe uitbreiding van het slikareaal betekenen. In dit geval werd potentiële habitatwinst echter teniet gedaan door de baggerwerken zelf en door de middellange termijn effecten. Door de verruimingsingreep versmalden subtidale platen. Verruiming veroorzaakt op korte tot middellange termijn ook toename in de hydrodynamiek waardoor subtidale platen en slikken minder stabiel worden. Daarnaast was er in de mesohaliene zone ook rechtstreeks verlies van slikken en ondiepe zones door de aanleg van nieuwe kades, toegangssluizen van nieuwe dokken en getijdokken. Deze zorgen lokaal voor een verdieping en een verlies aan ondiep subtidaal, slik en schor (bijvoorbeeld Royersluis, Van Cauwelaertsluis, …).

5.1.2 Oorzaak-effectrelaties - hoogwater

In de mesohaliene zone zorgt de zeespiegelstijging, net zoals in de andere saliniteitszones, voor een aanzienlijke toename van de 20-jaarlijkse trends van het hoogwaterpeil. Uit de modelresultaten blijkt dat ook inpolderingen hiertoe bijdroegen in de mesohaliene zone. Zowel de grote inpolderingen in het westelijk deel van de Westerschelde als de inpolderingen in en rond de mesohaliene zone hebben een cumulatief effect op de hoogwaterstanden in dit gebied. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van de evolutie van het hoogwaterpeil in Bath gedurende de inpolderingsperiode 1901-1920. Deze periode kent met gemiddeld 12,5 mm per jaar de grootste stijging van het hoogwaterpeil.
De grootste verliezen aan slik en schor in deze periode worden veroorzaakt door de inpolderingen zelf. Daarnaast stijgen geleidelijk de tijvolumes ter hoogte en stroomopwaarts van de ingrepen. Dat kan voor een verhoging van stroomsnelheden bij vloed zorgen. Vloedsnelheden hebben in de Zeeschelde vaak de grootste impact op hoge slikzones en schorrand en dus ook de pionierschorzones. Figuur 5.1 illustreert hoe zich ter hoogte van het huidige Groot Buitenschoor nog een grote pionierschorzone kon ontwikkelen in het begin van de 20e eeuw.

Figuur 5.1 – Uitgestrekt pionierschor anno 1904 gekenmerkt door uitgestrekte Heen pollen ter hoogte van het huidig Groot Buitenschoor (Massart 1904)

In de periode 1940-1960 is er terug een periode van versnelde hoogwaterstijging, echter alleen ter hoogte van Liefkenshoek en niet in Bath. Deze periode valt samen met inpolderingen die vooral opwaarts Bath uitgevoerd werden, zoals de Nieuw-Westlandpolder en Schor van Ossendrecht. Het effect wordt nog versterkt door de stroomafwaartse grote inpoldering van o.a. de Braakman.

In de huidige situatie zijn pionierschorzones slechts zeer lokaal en tijdelijk aanwezig in de mesohaliene zone. Gebieden met de geschikte ruimte en dynamiek voor cyclische schorevolutie zijn nagenoeg verdwenen. Door inpolderingen, bedijking en zeespiegelstijging werden de intertidale dwarsprofielen hiervoor te steil.

5.2 Oligohaliene zone

5.2.1 Oorzaak-effectrelaties - laagwater

In de oligohaliene zone daalde het laagwater sterk van 1921 tot 1980. Men zou nochtans een stijging verwachten ten gevolge van de zeespiegelstijging.
De periode van de grootste daling situeert zich tussen 1961 en 1980. Het laagwater daalde van met 27 cm in Schelle tot zelfs met 54 cm nabij de stroomopwaartse grens van deze zone in Tielrode. Deze daling kan in grote mate toegeschreven worden aan de 1^{e} verruiming gecombineerd met zandwinning en is al dan niet afgezwakt door de zeespiegelstijging.
Daling van het laagwaterniveau verlaagt eveneens de grens slik-subtidaal, waardoor de slikzone theoretisch gezien ook uitbreidt. Desondanks is na de verruiming een afname van het slikplaatareaal te zien. Ten gevolge van hoge stroomsnelheden verdwenen zandige slikplaten na een labiele fase gekenmerkt door ribbelvorming. Deze verhoging in dynamiek veroorzaakte versteiling van de plaatrand en tenslotte erosie van de slikplaat.
Een voorbeeld uit deze periode vormt de slikplaat van de Onbekende nabij Temsebrug waar grote slikoppervlaktes (vooral in het oosten) verloren gingen na een labiele periode van verhoogde dynamiek en de ontwikkeling van megaribbelvelden (Figuur 5.2; Van Braeckel et al., 2009).

Figuur 5.2 – Labiele hoogdynamische slikfase met tijdelijk sterk ontwikkelde megaribbelvelden ter hoogte van de plaat van de Onbekende in 1969 (Temse)

Eerdere dalingen van het laagwater gingen in deze zone samen met morfologische wijzigingen, mogelijks versterkt door de eerste baggerwerkzaamheden of door toename van vloedvolumes door stroomafwaarse inpolderingen.
Tussen 1930 en 1950 verschoof de vaargeul net stroomopwaarts Rupelmonde richting linkeroever, wat plaatselijk een soort 'natuurlijke' rechttrekking veroorzaakte. De kop van de uitgestrekte plaat van het Buitenland werd 'afgestreken' en wat overblijft is het stroomopwaartse deel, de huidige Ballooi. Op de rechteroever echter ontstond ter hoogte van de Notelaer meer ruimte tussen de geul en de dijk waarin zich convexe oevers en vervolgens slik ontwikkelden. In deze 'overruimte' was voldoende luwte, pionierschor kon zich vestigen en het oude schorgebied van de Notelaer kon zich tot 1960 met ongeveer 10 ha uitbreiden.

Perioden van laagwaterdaling op de *Rupel* waren tussen 1921 en 1940 en vooral tussen 1961-1980 (51 cm te Walem). Deze waarneming lag aan de basis van stelling 7 in Van Braeckel et al, 2006) volgens de welke dit veroorzaakt werd door het afsluiten van de Vliet. Deze stelling werd op basis van de modelresultaten verworpen (INTERMEZZO 3). Enkel een initiële verlaging van het hydraulisch vermogen stroomafwaarts van de monding van de Vliet, ten nadele van een stroomopwaartse toename, kon worden aangetoond. Vooral de 1^{e} verruiming en de toename van het hydraulisch vermogen stroomopwaarts de Vliet zorgde ook op de Rupel voor een sterke verlaging van het laagwaterpeil.
Dit zorgde voor oppervlakteverlies van slik en ondiep subtidaal gebied. Net zoals in de oligohaliene zone hadden de slikken en ondiep subtidale zones in de Rupel reeds vroeger een sterke daling gekend. Ook hier waren tot eind 19^{e} eeuw nog grote slikplaten te vinden en het Rupel bekken was een belangrijke paaiplaats voor fint (Vrielinck et al., 2003). Nabij de Rupelmonding werden bij het begin van de 20ste eeuw grote nautische ingrepen uitgevoerd, met wisselend succes, waardoor de slik- en subtidale platen grotendeels verdwenen.

5.2.2 Oorzaak-effectrelaties - hoogwater

De opmerkelijkste stijging van het hoogwater laat zich voelen tussen 1901 en 1920 in Schelle Tielrode en Walem. Het valleigebied van de oligohaliene zone was halfweg de 19^{e} eeuw reeds sterk ingepolderd. Later hadden de grote inpolderingen in de naburige mesohaliene zone (Hedwigepolder in 1907, Nieuw Westlandpolder in 1942) nog wel invloed op het buitendijks gebied in deze zone. Het hoogwater steeg versneld en de verhoogde vloedvolumes met grotere hydrodynamiek zetten ook de grote slikplaten in de oligohaliene zone sterk onder druk.
De tweede periode met sterke stijging van het hoogwaterniveau in de oligohaliene zone en verder stroomopwaarts was tussen 1940 en 1960, een periode waar met de modelresultaten de tijevolutie weinig verklaard kon worden op basis van grote ingrepen en hun impact. Waarschijnlijk hebben tal van kleine inpolderingen en gedeeltelijke inpolderingen van de

vloeisystemen een cumulatief effect op het hoogwater gehad. De impact van volledige inpoldering van vloeisystemen blijft immers een moeilijke kwestie aangezien de historische overspoelingsfrequentie en –hoogte van deze vloeisystemen onvoldoende gekend is. Mogelijks is een deel van de onverklaarde toename van het hoogwaterniveau aan deze inpoldering te wijten. Aangezien het over een aanzienlijke totaal oppervlakte ging, zal dit zeker een rol gespeeld hebben, maar een goeie kwantificatie is voorlopig nog niet mogelijk.

5.3 Zoete zone met lange verblijftijd

5.3.1 Oorzaak-effectrelaties - laagwater

De eerste periode van laagwaterdaling deze zone was tussen 1921 en 1960. Binnen deze periode, tussen 1930 en 1950, verzande het Ebdiep en schakelde eind jaren '40 tenslotte om van hoofdgeul naar zijgeul. Het Ebdiep vormde de vroegere eb- en vaargeul nabij de rechteroever van Mariekerke en Sint-Amands. Deze verzanding gebeurde tijdens een periode met hoge tijassymmetrie en is al dan niet versneld door lokale verruiming en/of dijkwerken (inpolderingen). Volgens Stuyck (1987) slibde deze arm door dijkwerken en verzanding dicht en kreeg het 'vloeddiep' naar verhouding meer stroming, diepte uit en werd in enkele decennia de hoofdvaarweg. De echte oorzaak kon op basis van deze studie niet achterhaald worden.

Een 2e periode van sterke daling van het laagwaterniveau is tussen 1961-1980. In deze periode verkleinen de slikplaten in de bochten van de Schelde, met de Plaat van Driegoten als één van de belangrijkste slikgebieden (Van Braeckel et al., 2009). De sterke daling van het laagwater van meer dan 20 mm per jaar tussen 1961 en 1980 (vooral 1965-1975) te Dendermonde en Tielrode valt samen met de sterk verhoogde dynamiek op de slikplaten (o.a. Temse, Plaat in Driegoten anno 1971).

Langs de Durme vertoonden het subtidaal en de slikken sterke fluctuaties die sterk gekoppeld zijn aan de laagwater-evoluties van Waasmunsterbrug, en deels Tielrode (Bijlage 3). Na de baggerwerken en de rechttrekkingen van de Durme treedt tussen 1942 en 1959 een sterke daling van het laagwaterpeil (3x stijging van hoogwaterpeil) op. Dit is groter dan het gemodelleerde effect van de rechttrekking, waar de laagwaterdaling half zo groot is als de hoogwaterstijging. Het laagwaterniveau bereikt in 1939 te Waasmunsterbrug nagenoeg gelijke absolute hoogtes als het 10 km stroomafwaarts gelegen Tielrode, respectievelijk 0,7 mTAW en 0,6 mTAW. Een terugkeer van het laagwaterpeil naar een niveau zoals vóór de baggerwerken trad op door een dubbel zo snelle verzanding als in het begin van de 20^{e} eeuw (LW + 42,1 ten opzichte van +15,4 mm/j). Deze versnelde verzanding kan niet enkel een gevolg zijn van de rechttrekkingen maar waarschijnlijk ook van het baggeren.

Tussen 1850 en 1920 zijn langs de Durme ongeveer 20 ha onbedijkte vloeisystemen omgezet naar bedijkte vloeisystemen (Van Braeckel et al., 2006). Deze veranderingen samen met de rechttrekking van de Schelde ter hoogte van de Durmemonding kunnen de verzanding rond 1921 geïnitieerd hebben. Op basis van de modelresultaten wordt na een daling van de bovenafvoer een daling van hoog- en laagwaterpeilen verwacht. Dit is niet binnen de tijdsreeks van Waasmunsterbrug zichtbaar. Ook werd geen verhoging van getijasymmetrie waargenomen. Mogelijks ligt een vermindering van het uitschurend vermogen in het stroomopwaartse deel van de Durme aan de oorsprong, deels veroorzaakt door bedijkingen. De daaropvolgende afdammingen en daarmee gepaard gaande inpolderingen zorgden voor een stijgend hoogwater- en laagwaterniveau. Hierdoor steeg ook de getijasymmetrie tussen 1959 en 1967, wat de verzanding enkel versnelde.

5.3.2 Oorzaak-effectrelaties - hoogwater

In de periodes 1901-1920 trad in de zoete zone met lange verblijftijd een versnelde toename van het hoogwaterniveau op (tijposten Tielrodebroek en Dendermonde). In deze saliniteitszone is naast de zeespiegelstijging het uitdeinend effect voelbaar van de stroomafwaarste inpolderingen en de stroomopwaartse rechttrekkingen en normalisaties.
Tussen 1950 en 1970 vond één van de grootste veranderingen plaats in de zoete zone met lange verblijftijd (inclusief de Durme) zelf. Door volledige inpolderingen of stoppen met bevloeien ging veel van de beschikbare ruimte voor de rivier verloren. Het wegvallen van vloeisystemen langs dit Scheldetraject (het Groot Schoor van Hamme, polder ten zuiden van St-Amands), maar vooral de meer dan 700 ha uitgestrekte vloeisystemen langs de Durme beperkten de stroombergende oppervlak van het estuarium.
Het mogelijk effect op het hoogwaterniveau van volledige inpoldering van vloeisystemen is ook hier moeilijk in te schatten. Mogelijks is een deel van de onverklaarde toename van het hoogwaterniveau van 1941-1960 in Tielrode en Dendermonde aan deze gedeeltelijke inpoldering te wijten.
Het verlies aan alluviaal gebied en vloeisystemen langs de Durme en de Schelde zorgde voor sterke vermindering van mogelijke uitwisseling tussen de vallei en de rivier. Deze uitwisseling was zowel belangrijk voor nutriënten- en slibhuishouding als voor flora en fauna. Soortverspreiding door zaaddispersie kon gebeuren, migratie van vis naar de sloten en beken creëerde ideale paaigronden voor palingen en fint,... Deze vloeisystemen vormden zo laagdynamische systemen in de steeds dynamischer wordende Zeeschelde.

5.4 Zoete zone met korte verblijftijd

5.4.1 Oorzaak-effectrelaties - laagwater

Door het wegvallen van de bovenafvoer na de aanleg van het afleidingskanaal van de Leie werd halverwege de 19^{e} eeuw het getij sterker voelbaar tot in Gent (zie §0). De modelresultaten bij vermindering van de bovenafvoer wijzen op een sterke daling van het hoogwater en een half zo sterke daling van het laagwater. Het voelbaar worden van het getij was hier dus in grote mate ten gevolge van de daling van het laag water. Bovenafvoervermindering zorgde dus niet rechtstreeks voor de indijking van de alluviale vlakte van dit stroomopwaarts gebied. Wel zal de verminderde diepgang ten gevolge van de waterstanddalingen en de toegenomen getijasymmetrie de belangrijkste aanleiding gevormd hebben om dit Scheldetraject te normaliseren en recht te trekken. Daarna zorgde de verbeterde doorstroom van de getijgolf voor een toename van het hoogwater, zoals voorspeld.
Rechttrekkingen zouden stroomopwaarts van de ingrepen in Melle en Uitbergen (1901-1940) in principe een verlaging van het laagwaterniveau tot gevolg hebben. De waargenomen afwijkingen ten opzichte van deze verwachte evolutie zijn waarschijnlijk te wijten aan sedimentatie in het gebied. Dit morfologisch proces kan in deze zone met een smal dwarsprofiel snel een grote impact hebben op het laagwaterniveau, wat in een hydrodynamische modellering niet meegenomen wordt. Stroomafwaarts van de ingrepen is de laagwaterverandering in Dendermonde (1901-1940) (net zoals in Tielrode rond 1901-1920), waarschijnlijk een gevolg van uitschuring stroomafwaarts van de ingrepen. Zoals ook eerder aangehaald kan de toename van de vloedstroom materiaal afwaarts uitschuren en opwaarts meevoeren.

5.4.2 Oorzaak-effectrelaties – hoogwater

Het hoogwater kent ook in dit meest stroomopwaartse riviertraject een algemeen stijgende trend, grotendeels het gevolg van de zeespiegelstijging. Daarnaast spelen niet alleen inpolderingen een rol maar ook rechttrekkingen.
In deze zone heeft de grootste verandering zich in het einde van de 19e eeuw en de periode 1900–1920 plaatsgevonden. Zowel vermindering in bovenafvoer als rechttrekkingen (normalisatie) gebeurden als ingreep in die tijd. De reductie van de bovenafvoer blijkt uit de modelresultaten geen effect te hebben op de stijging van het hoogwater, de normalisaties wel.
Op het eind van de 19e eeuw was het valleigebied tussen Gent en de Kalkense Meersen nog gekenmerkt door alluviaal gebied binnen het winterbed. Dit bestond uit meer dan 850 ha meersgebieden die enkel bij hoge bovenafvoeren overstroomden. Meer stroomafwaarts waren onbedijkte vloeimeersen te vinden, zoals de Kalkense Meersen, waar iets frequentere overstromingen gecontroleerd opgehouden en afgevoerd werden. Door de zeespiegelstijging versterkt door rechttrekkingen gebeurde de omzetting van het onbedijkt overstroombaar winterbed naar bedijkte vloeimeersen.
De impact op de habitats waren niet gering. De meanderende rivier met winterbed vormde zich om tot ingekorte tijrivier met bedijkte vloeimeersen. Soortenrijke hooilanden met hoge botanische kwaliteiten naast een laagdynamische rivier met kronkelende meanders werden omgevormd naar een dynamischere tijrivier. De vloeimeersen verminderden botanisch in kwaliteit (sterkere grondwaterfluctuaties: Vanallemeersch, 2005) maar functioneel (nutriënten, zuurstof,…) en voor fauna (paaiplaats voor vissen, …) bleven deze vloeisystemen zeer belangrijk voor de Schelde.

De 2e grote verandering trad op bij het wegvallen van de bedijkte vloeimeersen rond 1960 (onder andere de Kalkense Meersen). Het mogelijk effect op het hoogwaterniveau van volledige inpoldering van vloeisystemen is ook hier moeilijk in te schatten. Mogelijks is een deel van de onverklaarde toename van het hoogwaterniveau van 1941-1960 Dendermonde aan deze gedeeltelijke inpoldering te wijten. Dit verlies van in totaal ruim 750 ha vloeisystemen zorgde voor een sterke vermindering van uitwisseling van de vallei met de rivier, belangrijk voor nutriënten- en slibhuishouding maar ook flora en fauna. Tegenover dit grote habitatverlies stond weinig winst. Langs en op de steile oevers binnen de winterdijken van het Scheldetraject Gent-Dendermonde ontstonden smalle zones met slik en schorvegetaties. Enkel lokaal werden enkele voormalige vloeimeersen prijsgegeven aan de Schelde, met als resultaat ontwikkeling van schorren (Konkelschoor, Brede schoren, …). Waar iets meer rivierbreedte was ontstaan door een bochtverschuiving, kon een bredere slikzone ontstaan, bijvoorbeeld voor het Nieuw schor van Appels.

Rechttrekkingen in de ruime betekenis zoals bochtverschuivingen hebben een klein effect op waterhoogtes, maar een groter effect op stroomsnelheden. Bij eenzelfde tijvolume valt het verschil tussen een 'luwere' binnenbocht bij eb en de 'meer dynamische' buitenbocht grotendeels weg. Er is wel te zien dat aangroei van slik mogelijk is in de buitenbochten (onder andere slik van Branst, Nieuw Slik van Appels, …). Dit gaat echter steeds ten koste van de luwere slikplaat of schor aan de binnenbocht (bijvoorbeeld Plaat, Schor van Zele,…) (Van Braeckel et al., 2009). Schorontwikkeling in de buitenbocht blijkt in de recente ontwikkelingen moeilijk. In het voorbeeld van het Nieuw Schor van Appels trad schorontwikkeling enkel op na menselijk ingrijpen door inplanting van biessoorten in tegenstelling tot de natuurlijke schorontwikkeling vóór 1970 in de Notelaer.

5.5 Overzicht

In de volgende Tabel 5.4 wordt schematisch het effect van de historische ingrepen op het getij, en het areaal en de kwaliteit van slikken en schorren weergegeven. Het effect van ingrepen op het getij onderscheidt grootte-ordes terwijl bij het effect op slikken en schorren enkel de trend en de ruimtelijke impact wordt beschreven.

Tabel 5.3 – Legende bij Tabel 5.4

Symbool	**Invloedszone**	**Grootte effect (cm) HW/LW/TV**	**Effect op areaal slikken en schorren** (zie ook INTERMEZZO 1)	**Effect op kwaliteit slikken en schorren**		
				Hoogte 25-/75-%-overspoelingsduur[1]	Stroomsnelheid [2]	Algemeen
↑↓	Lokaal, ter hoogte van de ingreep (<10 km)	0-5	Lokaal (directe) toename/afname areaal mogelijk, indien zijdelingse ruimte en sediment beschikbaar	Lokaal stijging/daling[1]	Lokaal toename bij dalende stroomsnelheid/ afname bij stijgende stroomsnelheid	Lokaal positief/negatief effect, indien de intertidale helling niet te groot wordt
↑↓		10				
↑↓+		20				
↑↓++		30				
↑↓+++		40				
↑↓++++		50				
↑↓+++++		60				
↑↓++++++		70				
↑↓+++++++		80				
↑↓++++++++		90				
↘↗	Regionaal (<50 km)	0-5	Regionaal toename/afname areaal mogelijk, indien zijdelingse ruimte en sediment beschikbaar is	Regionaal stijging/daling[1]	Regionaal toename bij dalende stroomsnelheid/ afname bij stijgende stroomsnelheid	Regionaal positief/negatief effect, indien de intertidale helling niet te groot wordt
⇲⇱		10				
⇲⇱+		20				
⇲⇱++		30				
⇲⇱+++		40				
⇲⇱++++		50				
⇧⇩	Heel estuarium	0-5	In heel estuarium toename areaal mogelijk, indien zijdelingse ruimte en sediment beschikbaar is	In heel estuarium stijging/daling[1]	In heel estuarium toename bij dalende stroomsnelheid/ afname bij stijgende stroomsnelheid	In heel estuarium positief/negatief effect, indien de intertidale helling niet te groot wordt
⇧⇩+		10				
⇧⇩++		20				
⬇⬆		60				
-		Geen effect	Geen effect	Geen effect	Geen effect	Geen effect

[1] Algemeen gezien zijn lage slikzones door hun lange overspoelingsduur of korte droogvalduur (en vaak hogere stroomsnelheden) minder ecologisch waardevol. Een verlaging van de laag/middelhoog slikgrens (75%-OD) kan dus als positief beschouwd worden. Een verandering van middelhoog naar hoog slik (25%-OD) is minder éénduidig, aangezien een te verwachten gunstig ecologisch effect door predatie of te droge omstandigheden zich niet kan doorzetten.

[2] 2D-modelresultaten laten niet toe overspoelingsduur% op een correcte manier te berekenen;

[3] Algemeen gezien is een verlaging van stroomsnelheid positief voor de kwaliteit van de slikken en schorren

[4] Effecten van zandwinning zijn hier enkel op de korte termijn beschouwd omwille van de grote onzekerheid rond de langere termijn effecten

Tabel 5.4 – Overzicht theoretische impact ingrepen op hoog- en laagwater, getijverschil, areaal en kwaliteit van slikken en schorren (obv. simulatieresultaten en gegevens uit literatuur)

Ingreep		**Getij**			**Slikken**				**Schorren**			
		HW	LW	Getijverschil	Areaal (*voorwaarde* ruimte & sediment voorhanden)	Kwaliteit slikken			Areaal (*voorwaarde*: ruimte & sediment voorhanden)	Kwaliteit schorren		
						Hoogte 75%-overspoelings-duur[1]	Stroom-snelheid	Algemeen (*voorwaarde* ruimte & sediment voorhanden)		Hoogte 25%-overspoelings-duur	Stroom-snelheid[3]	Algemeen (*voorwaarde* ruimte & sediment voorhanden)
Antropogene ingrepen	**Rechttrekking**											
	-Opwaarts	↗+	↘+++	↗++++++	↗	↘	↗	↓	↗	↗	↗	↓
	-Ingreep	+	↑+	↑+	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↓
	-Afwaarts	↗ ↘	↘++	↗+++	↘	-	-	↓	↘	-	-	↓
	Verlaagde **bovenafvoer**	↓	↓+	↑	↗	↘	↘	↗	↗	↘	↘	↗
	Inpoldering											
	-Braakman	⇧	-	⇧	↓ (↗)	↘	↗vloed	↓	↓ (↗)	↗	↗vloed	↓
	-Nieuw-Westland	⇧	-	⇧	↓ (↗)	↘	↗vloed	↓	↓ (↗)	↗	↗vloed	↓
	-Tielrodebroek	↗	-	↗	↓ (↗)	↘	↗vloed	↓	↓ (↗)	↗	↗vloed	↓
	-Groot Schoor	↗	-	↗	↓ (↗)	↘	↗vloed	↓	↓ (↗)	↗	↗vloed	↓
	-Bergenmeersen	↗	-	↗	↓ (↗)	↘	↗vloed	↓	↓ (↗)	↗	↗vloed	↓
	-Vliet	-	-	-	↓ (↗)	↘	↗vloed	↓	↓ (↗)	↗	↗vloed	↓
	Verruiming vaargeul											
	-zonder terugstorten	-	↘	↗	↗	* [2]	↗	↓	-	* [2]	↗	↓
	-met terugstorten	-	-	-	↗		↘	↗	-		↘	↗
	Zandwinning[4]	-	-	-	-	* [2]	-	-	-	* [2]	-	↓

Ingreep		Getij			Slikken				Schorren			
		HW	LW	Getijverschil	Areaal (*voorwaarde* ruimte & sediment voorhanden)	Kwaliteit slikken			Areaal (*voorwaarde*: ruimte & sediment voorhanden)	Kwaliteit schorren		
						Hoogte 75%-overspoelings-duur[1]	Stroom-snelheid	Algemeen (*voorwaarde* ruimte & sediment voorhanden)		Hoogte 25%-overspoelings-duur	Stroom-snelheid[3]	Algemeen (*voorwaarde* ruimte & sediment voorhanden)
Natuurlijke	**Zeespiegelstijging ⬆**											
	-Westerschelde	⬆	⬆	⇧	⇧	⇧	⇧	↓ (↗)	⇧	⇧	⇧	↓ (↗)
	-afwaarts Temse	⬆	⬆	⇧	⇧	⇧	⇧	↓ (↗)	⇧	⇧	⇧	↓ (↗)
	-opwaarts Temse	⬆	⇧++	⇧+	⇧	⇧	⇧	↓ (↗)	⇧	⇧	⇧	↓ (↗)

6 Conclusies en aanbevelingen

Deze studie tracht te begroten wat het aandeel is van discrete (menselijke) ingrepen en van de continue autonome evolutie, in de opgetreden wijzigingen van de getij-indringing en de hiermee gepaard gaande vastgestelde evolutie van de ecotopen in het Schelde-estuarium. Hierbij werd gebruik gemaakt van bestaande resultaten (literatuur), interpretatie van beschikbare meetgegevens, resultaten van numerieke modelsimulaties en bestaande kennis (expert judgement). Hoewel gebruik is gemaakt van state-of-the-art tools en kennis, dienen de resultaten met een bepaalde voorzichtigheid gebruikt worden.

6.1 Conclusie

De effecten van rechttrekkingen, wijziging bovendebiet, inpolderingen, verruimingen, zandwinning en zeespiegelstijging op het getij werden onderzocht aan de hand van verschillende 1D- en 2D-modelscenario's.
Op basis van de uitgevoerde simulaties en gegevens uit de literatuur, samengevat in Tabel 5.4.

- *Rechttrekkingen,* vooral uitgevoerd stroomopwaarts Dendermonde (zoete zone met korte verblijftijd) en langs de Durme, hebben een effect op het getijverschil. Dit effect situeert zich vooral stroomopwaarts van de ingreep en beïnvloedt zowel subtidaal als slik-, schor en supratidaal habitat. Ook stroomafwaarts van de ingreep zijn morfologische ontwikkelingen te verwachten.
- *Verminderde bovenafvoer* heeft een verlagend effect op zowel hoog- als (in mindere mate) laagwaterpeil. Morfologische ontwikkelingen die hiermee gepaard gaan, zoals eventuele sedimentatie, zijn moeilijk in te schatten. De verwachte lagere ebstroomsnelheden worden niet bevestigd door de modelresultaten. Naast het effect op de waterkolom (incl. zoutgehalte) heeft deze ingreep vooral slik en subtidale habitats beïnvloed.
- *Inpoldering* heeft naast het direct habitatverlies vooral effect op het hoogwater, dat tot ver stroomop of -afwaarts kan reiken.
- *Verruiming* beïnvloedt vooral laagwaterstanden. Naargelang de grootte van de ingreep t.o.v. de dwarsdoorsnede van de rivier is het effect groter. De effecten zijn het grootst wanneer het zand uit het systeem onttrokken wordt. Veranderingen in hydro- en morfodynamiek (stroomsnelheden, …) zijn moeilijk in te schatten, maar blijven een aandachtspunt, alsook de ecologische effecten voor de habitats.
- *Zandwinning:* modelmatig is op de korte termijn een zeer beperkt effect op systeemniveau waar te nemen. Door de vereenvoudigde getij-indringing kunnen er op middellange termijn lokaal echter effecten zijn, afhankelijk van de grootte van de ingreep t.o.v. de lokale geometrie. Op de langere termijn zijn de effecten van het onttrekken van sediment veel onduidelijker. Bijkomend onderzoek is nodig om de inzichten hierin te vergroten.
- *Zeespiegelstijging* veroorzaakt versteiling van de slik-schorgradiënt wanneer het estuarium geen zijdelingse uitbreidingsmogelijkheden heeft.
    - Bij eenzelfde opgelegde stijging voor HW en LW, stijgen LW naar opwaarts toe minder sterk. Dit veroorzaakt een sterkere toename van het getijverschil meer opwaarts in het estuarium
    - Sedimentatie verhoogt de schorren samen met het stijgend hoogwaterpeil bij voldoende sedimentbeschikbaarheid.
    - Ingrepen kunnen dit tijdelijk versnellen.
    - Meer ruimte voor het estuarium is daarom noodzakelijk

  De *zeespiegelstijging* veroorzaakt een matige verhoging van de laagwaterniveaus (minder dan de stijging van de hoogwaterniveaus). Dit wordt echter niet teruggevonden in de waarnemingen: het stijgend getijverschil in het estuarium met een verlaging van de laagwaterniveaus overtreft de stijging van de laagwaters ten gevolge van de zeespiegelstijging.

Binnen deze studie is op basis van de modellering een goed beeld gekregen van de korte termijneffecten van de verschillende discrete ingrepen apart. Uit analyse van waarnemingen en literatuurstudie blijkt echter dat cumulatieve effecten van verschillende ingrepen samen, niet te reduceren zijn tot de som van de afzonderlijke ingrepen (cfr verruiming + zandwinning).

Antropogene ingrepen samen met de zeespiegelstijging hebben in de voorbije anderhalve eeuw de evolutie van de slik- en schorecotopen in de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren sterk beïnvloed. Doorvertaling van het effect van gekende ingrepen in de Zeeschelde op de Scheldehabitats kan op basis van de modelsimulaties verder geïnterpreteerd worden:

- In het mesohalien gebied hebben vooral inpolderingen plaatsgevonden (1846 – 1907, 1942) met een verlies aan omvangrijke aaneengesloten schorgebieden doorsneden door grote kreeksystemen belangrijk voor vissen, vogels, zilte vegetaties. Deze inpolderingen veroorzaakten een toename van het hoogwater en de vloedvolumes ter hoogte en stroomopwaarts de ingreep. Vooral toenames van vloedvolumes, vaak gepaard met stijgende vloedsnelheden, zijn ongewenst in het eengeulenstelsel van Zeeschelde wegens grote potentiële impact op slikken en de pioniersfase van schorontwikkeling.
- Vooral in de oligohaliene zone daalde het laagwater sterk na de 1^{e} verruiming die samenging met zandwinningen. Ondiep subtidale platen en slikgebieden versmalden en hun helling nam toe.
- In de zoete zone met lange verblijftijd en Durme vormden de volledige inpoldering van vloeisystemen het grootste verlies voor zowel fauna, nutriënten- en de sedimentenhuishouding. Ondanks het klein effect van deze inpolderingen op het jaargemiddelde hoogwater is hun effect op de hydrodynamiek in deze zone gedurende de winter/stormperiodes niet te onderschatten.
- In de zoete zone met korte verblijftijd naast de Durme vonden zowel bovenafvoervermindering als rechttrekkingen plaats. Door de grote weerslag van rechttrekkingen ('normalisatie') op het hoogwater kan dit als belangrijkste oorzaak aangeduid worden voor het verlies van de alluviale gebieden in de bovenstroomse gebieden van de Schelde (stroomopwaarts Wetteren) en de Durme (Lokeren). Verder kunnen we stellen dat in sterk genormaliseerde riviertrajecten met relatief weinig bovenafvoer, rechttrekking naast een sterkere stijging van het hoogwater t.o.v. het laagwater een sterke verzanding kan veroorzaken (cfr Durme, Scheldetraject Gentbrugge-Melle).

Naast de ingrepen blijkt uit de studie ook een belangrijke invloed van de zeespiegelstijging op hoogwater. Dit zorgt voor een geleidelijke versteiling van de intertidale zone door ophoging van het schor, alsook een geleidelijke toename van de algemene hydrodynamiek. Zoals in een niet gelimiteerde estuarium zou gebeuren, vormt meer ruimte geven waar mogelijk de meest duurzame oplossing. Hierdoor kan het slik en schor hogerop meeschuiven.

Niet alleen het areaal van Zeescheldehabitats wordt beïnvloed door ingrepen, misschien nog belangrijker zijn veranderingen in habitatkwaliteit en -diversiteit.
Binnen de slikken zorgt een te sterke stijging van het aandeel laag slik t.o.v. het middelhoog en hoog slik in de Zeeschelde (exclusief zijrivieren) voor een daling in ecologische kwaliteit. Vooral dalingen van laagwater bij gelijkblijvende hoogwater (zoals bij de 1^{e} verruiming) kunnen dit veroorzaken. Voldoende laagdynamische slikken en ondiepe subtidale zone zijn belangrijk voor benthos, vissen,… en komen door de stijgende hydrodynamiek steeds meer onder druk te staan. Daarvoor is het van belang voldoende riviertrajecten te behouden met een voldoende lage intertidale helling waar de meeste habitats kunnen bestaan (Piesschaert et al. 2008).
Aangrenzende brede schorren en slikken verbonden door kreken met voorliggend ondiepe subtidale zone vertonen daarnaast ook de meeste potentie om pionierschorzones te

ontwikkelen kenmerkend voor de opbouwfase van de slik-schorcyclus. Binnen schorplateaus is in de eerste plaats een voldoende groot oppervlakte en schorbreedte noodzakelijk om voldoende habitatdiversiteit te behouden. De aanwezigheid van een sterk vertakt kreeksysteem is hierbij belangrijk voor het behoud van de habitatdiversiteit.
Naarmate de dynamiek in de vaargeul hoger wordt, verhoogt ook de ecologische relevantie van relatief grote luwere en beschutte gebieden naast de vaargeul, zoals die bijvoorbeeld nu reeds bestaan in de Durme en het traject Melle – Gentbrugge. Grote ontpolderingen en GGG's kunnen deze rol deels 'overnemen' wanneer beschutte gebieden zich niet meer in stand kunnen houden langsheen de vaargeul.

Op basis van de onderzoeksresultaten kan een vernieuwde beoordeling gebeuren van enkele stellingen gecondenseerd uit de eerste historische analyse van de Zeeschelde en getijgebonden zijrivieren (Tabel 1.1).

Stelling 3: Verdieping van de Schelde gecombineerd met sedimentonttrekking uit het systeem (1e verdieping) heeft een grotere ecologische en hydrodynamische impact dan een verdieping zonder sedimentonttrekking (2e verdieping).
Op basis van de analyse van de monitoringdata alsook de doorgerekende modelscenario's (§3.4), blijkt het effect van een verdieping met sedimentonttrekking groter te zijn dan één waarbij de specie teruggestort wordt. Het effect van de ingreep is een daling van de laagwaters, waardoor het getijverschil ook toeneemt. Op het vlak van de stroomsnelheden kon echter geen significante wijziging vastgesteld worden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de gesimuleerd directe effecten van de ingreep beperkt blijven. In de werkelijkheid worden belangrijkere effecten waargenomen, die het gevolg zijn van na-ijlende effecten van de ingrepen en natuurlijke ontwikkelingen van het systeem.

Stelling 5: Pionierschor kan slechts ontwikkelen bij een combinatie van de juiste hydromorfologische condities (overstromingsfrequentie en –diepte, dynamiek en hellingsgraad)
Hier zijn aanwijzingen voor. Slik- en schoraangroei ter hoogte van de Notelaer is enkel mogelijk na sedimentatie in zones waar voldoende ruimte beschikbaar kwam en de stroomsnelheden voldoende laag zijn (natuurlijke schorontwikkeling Notelaer anno 1950 versus duurzame Nieuw schor van Appels anno 1993 – na menselijke ingrepen-).
Van Braeckel et al. (2006, 2009) toont de natuurlijke schor- en kreekontwikkeling op Notelaer rond 1950. Op het Nieuw schor van Appels was enkel duurzame schorontwikkeling mogelijk na het inplanten van biezen (Hoffmann et al. 1997b). In de Beneden-Zeeschelde vertoont van de 18 opgemeten historische intertidale hoogteraaien in 2008 langs de Beneden-Zeeschelde (Piesschaert et al. 2008) enkel de raai ter hoogte van Fort Filip pionierschorontwikkeling. Dit ging gepaard met een verbreding en verflauwing van de helling van zowel het voorliggend slik als de ondiepe en matig ondiepe waterzone.

Stelling 7: De plotse val van het gemiddeld laagwater na 1970 ter hoogte van de oorsprong van de Rupel is een gevolg van de afsluiting van de Vliet.
Zie intermezzo 1
Dit wordt niet bevestigd. Het afsluiten van de Vliet heeft slechts een beperkte bijdrage geleverd, de eerste verruiming had een groter effect.

Stelling 8: Het gemiddeld laagwater is gevoeliger voor antropogene en natuurlijke wijzigingen dan het gemiddeld hoogwater.
GHW wordt voornamelijk beïnvloed door rechttrekking, inpoldering, bovenafvoer, zandwinning en zeespiegelstijging
GLW wordt voornamelijk beïnvloed door rechttrekking, bovenafvoer, zandwinning, verruiming en zeespiegelstijging
Het effect varieert van ingreep tot ingreep (zie tabel 4.7) en is ook afhankelijk van de 'grootte' van de ingreep.

Stelling 9: Het gedeeltelijk wegvallen van de bovenafvoer heeft een grotere impact op het getijverschil in de Boven-Zeeschelde dan de rechttrekkingen.

Het onderzoek wijst op een groter effect van rechttrekkingen dan bovenafvoer. Het wegvallen van bovenafvoer zorgt voor verdere getijindringing, en een daling van GHW in combinatie met sterkere daling GLW.

Rechttrekking zorgt voor een stijging van het getijverschil, door stijging van het GHW.

Foto 9 'De Kramp' te Baasrode, de meest uitgesproken nog bestaande meander in de Schelde, met vooraan zoetwaterschorren gedomineerd door wilgenvloedbos; De Kramp, one of the last pronounced meander in the upstream Schelde area(Vildaphoto-Yves Adams)

6.2 Aanbevelingen

Binnen het huidige onderzoek is gefocust op de directe effecten van ingrepen op de waterstanden in het Schelde-estuarium. Hierdoor kan slechts een uitspraak gedaan worden op een deel van de processen uit de hydromorfologische motor. Ten behoeve van de ecologie is het echter cruciaal om ook de andere aspecten (dynamiek, sedimentsamenstelling, en daaruit volgend de ecotopen) te behandelen.

Hiervoor worden volgende aanbevelingen gedaan:

- *Simuleren van de historische toestanden op basis van de historische bodemgegevens en randvoorwaarden*

  De hindcastsimulaties uit deze studie gebaseerd op huidige bathymetrie kan bijkomend onderbouwd worden door hydrodynamische modellering waarbij gebruik gemaakt wordt van historische bodemgegevens en randvoorwaarden.

- *Onderzoek naar de effecten van zandwinning op korte en lange termijn*

  Binnen deze studie werd één scenario doorgerekend met zandwinning in de Westerschelde. Het verdient de aanbeveling om scenario's te onderzoeken waarbij de klemtoon van de zandwinning geografische verlegd wordt, in eerste instantie voor de Boven, resp. Beneden- Zeeschelde. Ook het effect van zandonttrekking op de langere termijn noodzaakt verder onderzoek. Gelet op de beperkingen van de hedendaagse morfologische numerieke modellen, zou dit onderzoek een geschematiseerde insteek moeten hebben (cfr. variatie in hoeveelheden, alsook doorvertalen van zandonttrekking in bepaalde zone naar verandering bodem in aangrenzende zones).

- *Validatie van de numerieke modellen op het gebied van stroomsnelheden in het ondiepwater- en intergetijdengebied*

  Omwille van het belang van een meer gedetailleerde kennis van de stroomsnelheidpatronen in het ondiep subtidaal en slikecotopen in de Zeeschelde en zijrivieren zijn bijkomende meetcampagnes noodzakelijk. Samen met deze meetcampagnes kunnen 2D-modellen van deze deelgebieden geoptimaliseerd worden om uiteindelijk tot een goed gekalibreerd model voor de Zeeschelde en zijrivieren te komen;

- *Detailonderzoek naar de ontwikkelingen die zich hebben voorgedaan op mesoschaal (cfr. Plaat van Ouden Doel, Mariekerke,…)*

  Een aantal hypothesen uit Van Braeckel et al. 2006 konden door de globale aanpak op niveau Zeeschelde niet beoordeeld worden en vereisen een onderzoek op mesoschaal.

Daarnaast werden in de huidige studie ingrepen doorgerekend waarvoor voldoende informatie beschikbaar was om deze zo realistisch mogelijk als scenario door te rekenen. Op basis van de resultaten (vergelijking modelresultaten en vastgesteld ontwikkeling in meetdata) kan echter gesteld worden dat andere ingrepen (in het bijzonder grootschalige zandonttrekking in de Boven- en Beneden-Zeeschelde), waarvoor de data minder gedetailleerd beschikbaar is, mogelijk een belangrijk effect kunnen hebben. Ook het belang van de natuurlijke morfologische ontwikkelingen is op dit moment niet voldoende gekend. Hiervoor kan met scenario's van geschematiseerde morfologische ontwikkelingen reeds een verbeterd inzicht verkregen worden.

Referenties

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, Volume 19, Issue 12, 1155- 1231.

Belmans, H. (1988). Verdiepings- en onderhoudsbaggerwerken in Wester- en Zeeschelde. Tijdschrift Water, 1988.

Breine, J. (2009). Fish assemblages as ecological indicator in estuaries: the Zeeschelde (Belgium). PhD theses of the Research Institute for Nature and Forest, T.2009.1

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.

Bouma, H., de Jong, D.J., Twisk, F. & Wolfstein, K. (2005). Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES.1) voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. Rapport RIKZ 2005.024. Middelburg. 156 p.

Cattrijsse, A., Makwaia, E.S., Dankwa, H.R., Hamerlynck, O. & Hemminga, M.A. (1994) Nekton communities of an intertidal creek of a European estuarine brackish marsh. Marine Ecology Progress Series 109, 195-208.

Coen, L., Peeters, P., Mostaert, F., (2010). Inventarisatie en historische analyse Zeescheldehabitats: Effect antropogene ingrepen en natuurlijke evoluties op de getij-indringing in de Zeeschelde – Ondersteunende numerieke 1D-modellering. WL rapporten. 731_21. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Cox, R., Wadsworth, R.A. & Thomson, A.G. (2003). Long-term changes in salt marsh extent affected by channel deepening in a modified estuary. Continental Shelf Research 23 (17-19): 1833-1846.

Consortium Arcadis – Technum (CAT) (2007a). Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde - Basisrapport Morfologie. September 2007.

Consortium Arcadis – Technum (CAT) (2007b). Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde - Basisrapport Water. September 2007.

Consortium Arcadis – Technum (CAT) (2007c). Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde – Hoofdrapport Milieueffectrapport. Oktober 2007.

De Smedt, P. (1969). Geomorfologie van slikken en schorren langsheen het Schelde-estuarium op Belgisch grondgebied. Acta Geographica Lovaniensia 7: 49-63.

Dillingh, D., Heinen, P.F. (1994). Zeespiegelrijzing, getijverandering en deltaveiligheid. Rapport RIKZ-94.026. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Doody, J.P. (2004) 'Coastal squeeze' - an historical perspective. Journal of Coastal Conservation, 10/1-2, 129-138.

Hoffmann, M. & Meire, P. (1997a). De oevers langs de Zeeschelde: inventarisatie van de huidige oeverstructuren. Water 95, 131-137.

Hoffmann, M., Graré, W. & Meire, P. (1997b). De oevers langs de Zeeschelde: Van uniformiteit naar structuurdiversiteit. Water 95, 138-146.

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.

Ides, S., Vanlede, J., De Mulder, T. & F. Mostaert. (2008). Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde. Gevoeligheidsonderzoek 2D modellen. Deelrapport 2. WL Rapporten, Mod.713/21. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.

IPCC. (2001). Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, ed. McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. & White, K.S. Cambridge, UK:CambridgeUniversityPress:1000pp (http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/428.html).

Jeuken, C., Wang, Z.B., van der Kaaij, T., van Helvert, M., van Ormondt, M., Bruinsma, R., Tanczos, I., (2004). Morfologische ontwikkelingen in het Schelde estuarium bij voortzetting van het huidige beleid en effecten van een verdere verdieping van de vaargeul en uitpolderingen langs de Westerschelde. Deelovereenkomst 2 en 3 Morfologie. WL, Delft Hydraulics, Arcadis – Technum.

Jeuken, C., Hordijk, D., Ides, S., Kuijper, C., Peeters, P., de Sonneville, B., Vanlede, J., (2007). Koploperproject LTV-O&M – Thema Veiligheid – deelproject 1. Inventarisatie historische ontwikkeling van de hoogwaterstanden in het Schelde estuarium. WL, Delft Hydraulics, WL Borgerhout & RIKZ.

Jones, G. (1994). Global warming, sea level change and the impact on estuaries. Marine Pollution Bulletin 28: 7-14.

Fairbridge RW (1980) The estuary: its definition and geochemical role. In: Olausson E & Cato I (eds) Chemistry and geochemistry of estuaries, pp. 1-35. John Wiley, New York.

INBO OG Ecosysteemdiversiteit (2011). MONEOS – Geïntegreerd datarapport Toestand Zeeschelde tot 2009. Datarapportage ten behoeve van de VNSC voor het vastleggen van de uitgangssituatie anno 2009. Rapport INBO.R.2011.8. 77 pp. Instituut voor Natuur-en Bosonderzoek, Brussel.

Kennish, M.J. (2002). Environmental threats and environmental future of estuaries. Environmental Conservation 29, 78-107.

Kiden, P. (1983). Recente morfodynamiek van de Schelde in de omgeving van Temse. Licentiaatsthesis, Rijksuniversiteit Gent. 121 pp.

Kirwan, M., Guntenspergen, G.G.,D'Alpaos, A., Morris, J.T., Mudd,S.M. and Temmerman, S. (2010). Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level. Geophysical research letters, Vol. 37, p. L23401,1-L23401,5

Lebbe, L., Van Meir, N., (2000). Implications of Accelerated Sea-Level Rise (ASLR) for Belgium. Proceeding of SURVAS Expert Workshop on European Vulnerability an Adapation to impacts of ASLR. Hamburg, Germany, 19th-21st june 2000.

Lionard, M.; Muylaert, K.; van Gansbeke, D.; Vyverman, W. (2005). Influence of changes in salinity and light intensity on growth of phytoplankton communities from the Schelde river and estuary (Belgium/The Netherlands) Hydrobiologia 540(1-3): 105-115.

Maximova, T., Ides, S., Plancke, Y., De Mulder, T., Mostaert, F., (2010a). Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde – Scenario analyse 2D model. Deelrapport 3. WL Rapporten 713_21. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Maximova, T., Plancke, Y., Vanlede, J. & Mostaert, F., (2010b). Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde- Kalibratie en validatie van het hydrodynamisch 2 dimensionaal numeriek model: pilootstudie Notelaer en Ballooi. WL Rapporten, 713_21. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Meyvis, L., (1977a). Werken uitgevoerd in de Scheldebedding en haar bijrivieren sinds 1850, tussen Gent en de Belgisch-Nederlandse grens. Deel I. Ministerie van openbare werken. Bestuur der waterwegen. Antwerpse zeediensten.

Meyvis, L., (1977b). Indijkingen en waterbouwkundige werken langs de Westerschelde en de Zeeschelde. Deel II. Ministerie van openbare werken. Bestuur der waterwegen. Antwerpse zeediensten.

Mikkelsen, J.H., Dillen, J., Van Braeckel, A. & Van den Bergh, E., (2009). Guidelines for site and soil description of estuarine tidal mudflats and marshes. INBO.IR.2009.32.Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België.

Mikkelsen, J.H., Dillen, J., Van Braeckel, A. & Van den Bergh, E., (2009). Guidelines for auger description of estuarine tidal mudflats and marshes. INBO.IR.2009.33.Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België.

Mikkelsen, J.H., Van Braeckel, A., Dillen, J. & Van den Bergh, E. (2009; in prep.). Inventarisatie en historische analyse van Zeescheldehabitats. Eigenschappen van

brakke en zoete slik en schorbodems van het Schelde estuarium. INBO.IR.2009.30. Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België, INBO.R. in voorbereiding.
Mikkelsen, J.H., Dillen, J., Genouw, G., Van Braeckel, A. & Van den Bergh, E. (2011). Tidal marsh and mudflat soils in the inner Scheldt Estuary: Technical Report. INBO Report 2011. INBO.R.2011.46. Research Institute for Nature and Forest, Brussels. Belgium
Mod. 139. (1966). Nota betreffende het Durme-probleem. Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout.
Muylaert, K.; Vyverman, W. (2006). Impact of a flood event on the planktonic food web of the Schelde estuary (Belgium) in spring 1998 Hydrobiologia 559(1): 385-394,
Mys. M. (1973) De landschapsgeschiedenis van de Scheldepolders ten noorden van Antwerpen Bijdrage tot de historische geografie van de Scheldepolders door M. MIJS Overdruk uit het Tijdschrift van de Belgische Vereniging voor Aardrijkskundige Studies. Jg. XLII – 1973. D/1973/0468/2
Peeters, P., Mostaert, F. (2007). Hydromorfologische aspecten van de Durme – synthesenota. WL Rapporten 713_16. Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout, België.
Peeters P., Levy Y., Plancke Y., Coen, L., Taverniers, E., Mostaert F. (2011). Langjarig overzicht van jaarlijkse getijkarakteristieken in het Zeescheldebekken: Prosperpolder - Liefkenshoek - Antwerpen - Schelle - Temse - St-Amands - Dendermonde - Schoonaarde - Uitbergen - Melle - Tielrode - Waasmunsterbrug - Zele - Walem. Versie 1_4. 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 eerste jaar). INBO.IR.2008.29. Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België.
Piesschaert, F.; Van Braeckel, A.; Mertens, W.; Mikkelsen, J.; Spanoghe, G.; Speybroeck, J.; Vandevoorde, B.; Van den Bergh, E. (2009). Scheldetraject Gentbrugge-Melle : Ecologische potenties in het bovenstrooms Zeescheldetraject. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO.R.2009(47). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek: Brussel. België. 71 pp.
Plancke Y.; Sas M.; Heinis F.; Ides S. (2008). Nota plaatrandstortingen, Mod 791_06. Waterbouwkundig Laboratorium. Antwerpen, België
Plancke, Y., Ides, S. & Mostaert, F., (2009a). Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde- Verkennende vlottermetingen Ballooi en Notelaer. Deelrapport 4. WL rapporten, 713-21, Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.
Plancke, Y., Ides, S. & Mostaert, F., (2009b). Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde- Vlottermetingen Ballooi en Notelaer Juni 2009. Deelrapport 5. WL rapporten, 713-21, Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België.
ProSes (2005). Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium. Besluiten van de Nederlandse en Vlaamse regering. Brussel/ Den Haag Februari 2005. 80pp.
Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) (2007). Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43' - MOVE-Rapport 9, deel I: Fysische hypothesen. Januari 2007.
Rijkswaterstaat (RWS) Directie Zeeland (1998). Milieuaspectenstudie baggerspeciestort Westerschelde – Studie naar de effecten van het storten van specie vrijkomend bij de 43/48 voet verruiming van de vaarweg in de Westerschelde. Januari 1998.
Speybroeck, J. (2011). Bodemfauna van de Zeeschelde. In Jaarverslag 2010. http://jaarboek.inbo.be.
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. INBO Rapporten, 2008(56). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek: Brussel : Belgium. 152 pp.

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

Soresma(Heacon). (2006). ‚Actualisatie van de zandbalans van de Zee- en Westerschelde Haecon, 2006, report. 1249760008/lvp

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). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Stuyck. (1987). De Schelde van Bron tot Monding. Lannoo, Tielt

Taverniers, E., (1979). De afsluiting van de Durme. Ministerie van Openbare Werken. Dienst der Zeeschelde. 60pp.

Taverniers, E.; Mostaert, F. (2009). MONEOS - jaarboek monitoring WL 2008: overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2008 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4.0. WL Rapporten, 833_07. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. 145 + 27p. tabelen, 92p. figuren pp.,

Taverniers, E.; Vereecken, H.; Mostaert, F. (2010). MONEOS - jaarboek monitoring WL 2009: overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2009 in het Zeescheldebekken gemeten. Versie 4.0. WL Rapporten, 833-07. Laboratorium: Antwerpen. XIII, 155 + 25 p. Tabellen, 110 p. Figuren pp.

Temmerman, S.; Govers, G.; Wartel, S.; Meire, P. (2004). Modelling estuarine variations in tidal marsh sedimentation: response to changing sea level and suspended sediment concentrations. Marine Geology 212(1-4): 1-19.

Theuns, J. (1975). De waterbouwkundige problematiek van de Westerschelde en geplande infrastructuurwerken. De Gouden Delta 2, 1975.

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

Tison, L.J. & Tison, G. (1970). Quelques problèmes du mouvement des matériaux solides et de l'éroson dans les estuarires et les deltas. Proceedings of Symposium on Hydrology of Deltas, Boekarest 1969;n°90: 101-121

TV. IMDC, Belgroma, Soresma, Haecon, RA & Technum. (2005). Actualisatie van het Sigmaplan. Integrale verkenning Scheldebekken. Integrale Verkenning Rupelbekken. Planstudie rivierherstel Durme. Deelopdracht 3: hydrologische en hydraulische modellen. Volume 3c: scenarioanalyse Durmebekken. Versie 1.0 dd. 14/04/2005. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap/Departement LIN/Administratie Waterwegen en Zeewezen/Afdeling Zeeschelde.

Vanallemeersch, R., Hoffmann, M. & Meire, P. (2005). 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, P., Van den Bergh, E., (2006). Historische analyse van de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren. 19e eeuw tot heden. INBO.R.2006.29. Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België.

Van Braeckel, A. Mikkelsen, J.H, Dillen, J., Piesschaert F., Van den Bergh, E., Coen. L., De Mulder, T., Ides S., Maximova, T., Peeters, P., Plancke, Y en Mostaert, F., (2009). Inventarisatie en historische analyse van Zeescheldehabitats- Vervolgstudie: resultaten van het tweede jaar. INBO.IR.2009.34. Instituut voor Natuur en Bosonderzoek & Waterbouwkundig Laboratorium, Brussel, België. 162 pp.

Van Braeckel, A. & Van den Bergh, E., in prep. (a). Ecotopen van de Zeeschelde- Evolutie tussen 19e eeuw en heden. Instituut voor Natuur en Bosonderzoek, Brussel, België. INBO.R. in voorbereiding.

Van Braeckel, A., Mikkelsen, J.H., Speybroeck, J., Dillen, J. & Van den Bergh, E., in prep.(b). Pilootstudie: Onderzoek van slikecotopen op Notelaer en Ballooi in relatie tot de stroompatronen. in voorbereiding.

Van Cauwenberghe, C. (2000). Relative Sea Level Rise Along The Belgian Coast: Analyses and Conclusions with Respect to the High Water, the Mean Sea and the Low Water Level. The Hydropgraphic Journal 97: 7-11.

Van Damme, S.; Ysebaert, T.; Meire, P.; Van Den Bergh, E. (2000). Habitatstructuren, waterkwaliteit, en leefgemeenschappen in het Schelde-estuarium. Rapporten van het instituut voor natuurbehoud, 1999(24). IN: Brussel. 119 pp.

Van den Bergh, E.; Van Damme, S.; Graveland, J.; de Jong, D.J.; Baten, I.; Meire, P. (2003). Studierapport natuurontwikkelingsmaatregelen ten behoeve van de Ontwikkelingsschets 2010 voor het Schelde-estuarium; Op basis van een ecosysteemanalyse en verkenning van mogelijke maatregelen om het streefbeeld Natuurlijkheid van de Lange Termijn Visie te bereiken. Werkdocument RIKZ, 2003.825x. [S.n.][S.l.]. 99 + annexes pp.

Van den Bergh, E.; Van Damme, S.; Graveland, J.; de Jong, D.J.; Baten, I.; Meire, P. (2005). Ecological rehabilitation of the Schelde estuary (the Netherlands-Belgium; Northwest Europe): linking ecology, safety against floods, and accessibility for port development Restor. Ecol. 13(1): 204-214,

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 der Wal, D., A. Wielemaker-van den Dool, P.M.J. Herman (2008) Spatial patterns, rates and mechanisms of saltmarsh cycles (Westerschelde, The Netherlands). Estuarine Coastal and Shelf Science 76: 357-368

van der Weck A. (2007). Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. Achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium. Een visie op de macro-morfologische ontwikkeling. Arcadis-Technum, 90pp.

van Eck, G.T.M.; Holzhauer, H. (Ed.) (2007). Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43': MOVE eindrapport 2006 (Rapport 10). Rapport RIKZ, 2007.003. Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg. 64 pp.

Vanlede, J., Decrop, B., De Clercq, B., Ides, S., De Mulder, T., Mostaert, F., (2008a). Permanente verbetering modelinstrumentarium: verbetering randvoorwaardenmodel. Deel 1: gevoeligheidsonderzoek. WL Rapporten, 753_09. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, Belgie.

Vanlede, J., Decrop, B., De Clercq, B., Ides, S., De Mulder, T., Mostaert, F., (2008b). Permanente verbetering modelinstrumentarium: verbetering randvoorwaardenmodel. Deel 2: afregelen van het Scheldemodel. WL Rapporten, 753_09. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, Belgie.

Van Oevelen, D., Van den Bergh, E., Ysebaert, T. & Meire, P., (2000). Literatuurstudie naar Ontpolderingen. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, IN.R. 2000.7, Brussel.

van Rijn, L.C. (2010). Tidal phenomena in the Scheldt estuary. Deltares: Delft. i, 99 pp.

van Strydonck, M. & de Mulder, G. 2000. De Schelde. Verhaal van een rivier. Davidsfonds Leuven. 176 p.

Vellinga, P., Katsman C.A., A. Sterl and J.J. Beersma, (2008) Exploring high end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands: an international scientific assessment.

Verwaest, T.; Viaene, P.; Verstraeten, J.; Mostaert, F. (2005). De zeespiegelstijging meten, begrijpen en afblokken De Grote Rede 15: 15-25

VLIZ, (2004). Indicators of sustainable development in the SAIL coastal region. Indicator 25. Sea level rise (online). Available from: http://www.vliz.be/projects/sail/fiches/25.pdf [Accessed 20/01/2009].

Vrielynck, S.; Belpaire, C.; Stabel, A.; Breine, J.; Quataert, P. (2003). De visbestanden in Vlaanderen anno 1840-1950: een historische schets van de referentietoestand van onze waterlopen aan de hand van de visstand, ingevoerd in een databank en vergeleken met de actuele toestand. IBW.Wb.V.R., 2002.89. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer: Groenendaal. 271 + annexes, 1 cd-rom pp., details

Vroon, J., Storm, C., Coosen, J. (1997). Westerschelde, stram of struis? Eindrapport van het Project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante

biologische patronen in een estuarium. Rapport RIKZ-97.023. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Werbroeck (2006). Unpublished. Recente evolutie van het Durmelandschap sinds het begin van de twintigste eeuw aan de hand van interviews, iconografie, kaarten en literatuur. Masterthesis 2005 – 2006 Universiteit Gent, Faculteit wetenschappen vakgroep geografie promotor Prof.Antrop

Witteveen & Bos. (1999). Getijanalyse Westerschelde. In opdracht van Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ). Deventer. Rapport Rw741.1.

Ysebaert, T. (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 of the institute of nature conservation, 16. Instituut voor Natuurbehoud: Brussel : Belgium ; Antwerpen : Belgium. ISBN 90-403-0125-5. 175 pp

Bijlage 1 Ondersteunende numerieke modellering: scenario's

Onderzoeksthema's	Scenarioberekeningen	1D	2D
Rechttrekking	• Rechttrekking Zeeschelde en Durme • Rechttrekking + verlaagd bovendebiet • Rechttrekking + verlaagde ruwheid	X X X	
Wijziging bovendebiet	Hypothetische debietreeksen voor Melle voor periode 1970-2000, indien Ringvaart en stuw Evergem niet operationeel zouden zijn • Met rechtgetrokken Leie • Met rechtgetrokken Leie + aftopping van piekafvoeren • Huidige afvoersituatie bij was, met afname van bovendebiet in droge perioden	 X X X	
Inpoldering	• Inpoldering Vliet • Inpoldering Braakman • Inpoldering Nieuw-Westlandpolder • Inpoldering Tielrodebroek • Inpoldering Groot Schoor • Inpoldering Bergenmeersen • Inpoldering 4 polders (Braakman, Nieuw-Westlandpolder, Tielrodebroek en Groot Schoor)	X X X X X X X	 X X X X X
Verruiming van de vaargeul	• Referentie met bathymetrie 1990 (Zeeschelde) en 1994-1995 (Westerschelde) • Tweede verruiming zonder terugstorten van baggerspecie • Tweede verruiming met terugstorten van baggerspecie		X X X
Wijzigingen ter hoogte van Gat van Ossenisse – Middelgat	• Referentie met bathymetrie 1970-1971 • Wijziging vaargeul van Middelgat naar Gat van Ossenisse zonder verruiming • Vaargeul in Middelgat, verruiming met terugstorten van baggerspecie • Vaargeul in Gat van Ossenisse, verruiming met terugstorten van baggerspecie • Vaargeul in Gat van Ossenisse, verruiming zonder terugstorten van baggerspecie		X X X X X
Zandwinning	• Zandwinning over periode van 10 jaar, door middel van wijziging van bathymetrie ter hoogte van zandwinningslocaties		X
Zeespiegelstijging	• zeespiegelstijging 25 cm (~jaar 2050) • zeespiegelstijging 60 cm (~jaar 2100) • zeespiegeldaling 25 cm (~ jaar 1900) • toename getijverschil 5% + zeespiegelstijging 50 cm (~jaar 2100)	 X 	X X X X

Bijlage 2 Inpolderingen langs de Schelde en Westerschelde

Inpolderingen langs de Schelde (aangepast Van Braeckel et al., 2006, oppervlakten zijn indicatief (GIS), enkel oppervlakten >10ha in rekening genomen)

Polder	Begin-datum	Eind-datum	Oppervlakte (ha)	Opmerking
~1850-1920				
Prosperpolder	1846	1847	540	
Hagemanspolder	1863	1882	54	Hagemanspolder
Paardenschor	1894	1899	14	Indijking met zomerdijk
Nieuwlandpolder	1851		655	
Hedwigepolder	1904	1907	300	
Potpolder Lillo	1906		18	
Ketenissepolder	1854	1877	35	Ontpolderd in 2003
Sint-Annastrand en omgeving (Borgerweertpolder)	1854	1877	20	
Schor Rupelmonding	1892		13	Indijking met zomerdijk
Schorren nabij Hoboken ('t Kiel)	1892		20	
Weert	1909		24	
Tielrodebroek	1872		172	Voorzien van eerste sluis en spuigat/afvoerpijp
Eiland Luizenbosch in de Durmemonding	1830		24	
Polder rechttrekking Appels	1863		21	
1921-1940				
Scheldebroeken Zele/Berlare	1925		31	Vloeiweide (zomerdijk) ingepolderd
Schorren voor Galgenweel			+-17	
1941-1960				
Vloeiweide aan Rupelmonding, Beneden-Vliet, Rupelmonde			18	
Vliet	1977		52	
Nieuw-Westlandpolder	1942		291	
Vloeiweiden langs de Durme	1950	1970	725ha	
Vloeiweiden langs de Rupel	*1950*	*1960*	*140ha*	
Buitenlandschoor (ZO - Temsebrug)	1944	1954	82	
Oude Schooren (ten Z van Sint Amands)			32	Vloeiweide met zomerdijk ingepolderd
Vloeiweide Groote Schooren	1975	1982	26	Vloeiweide met zomerdijk naar GOG
Broek van Grembergen	1931	1932	118	Vloeiweide naar binnendijks
1961-1980				
Kalkense meersen (+Weymeers, Paardenweide, Wichelen, Bergenmeersen)	1960		420 (+90/30/ 95/38)	Stopzetting winteroverstromingen wegens vervuiling in

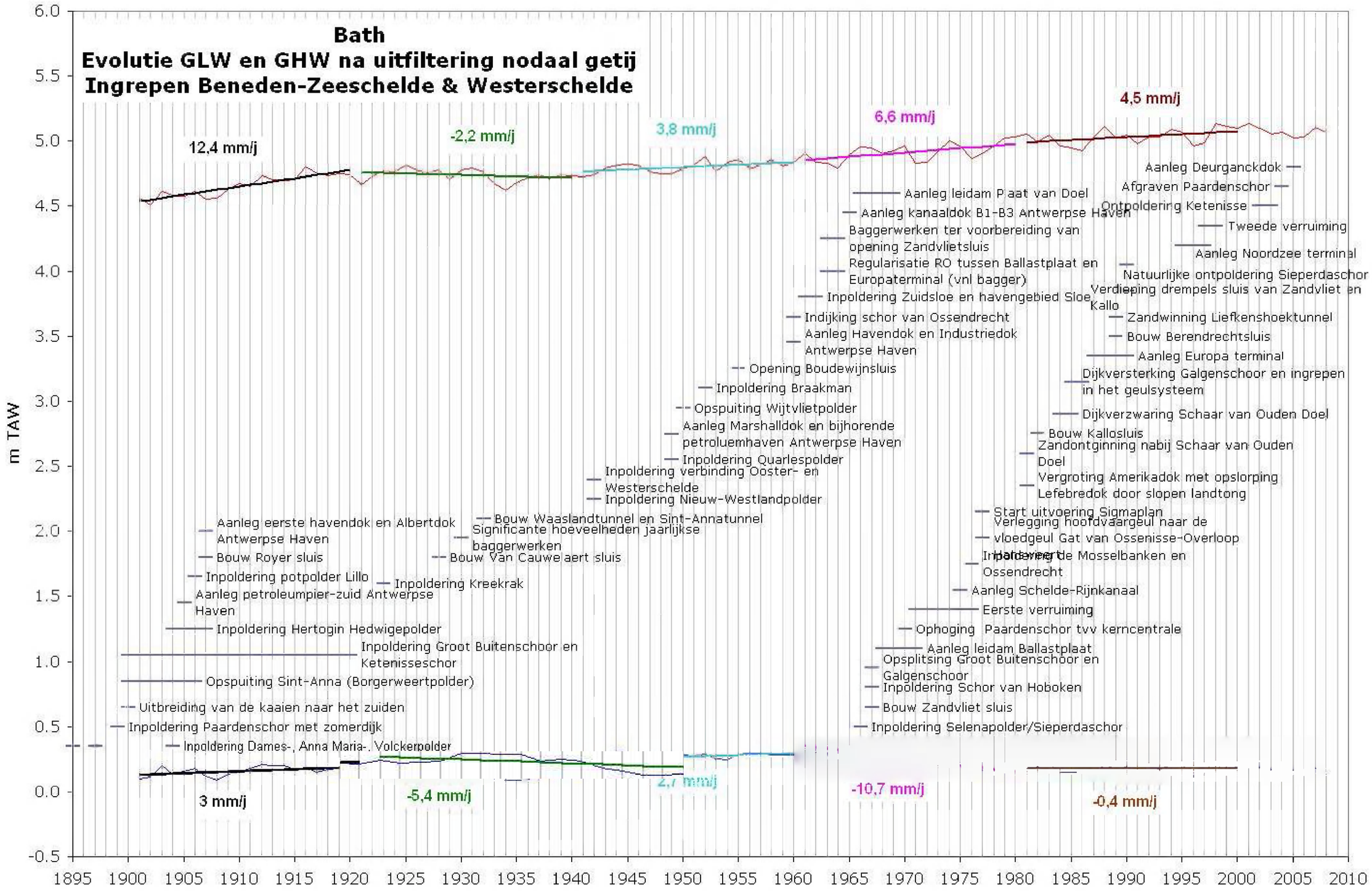
Polder	Begin-datum	Eind-datum	Oppervlakte (ha)	Opmerking
				de Schelde (vloeiweide met zomerdijk naar binnendijks of GOG)
Groot Buitenschoor	1963		53	
Sieperdaschor	1966		110	Terug ontpolderd na dijkdoorbraak in 1990
Galgenschoor	1975		22.5	Schorverlies door dijkverlegging
Schor Hoboken		1967?	25	Aanleg van de Kennedytunnel
Ketenissepolder		1967?	35	Ontpolderd in 2003
Schouselbroek/ Ballooi	1968	1975	12	Opgehoogd door storten huishoudelijk afval
1981-2000				
Schorren nabij Blokkersdijk	1990		12	

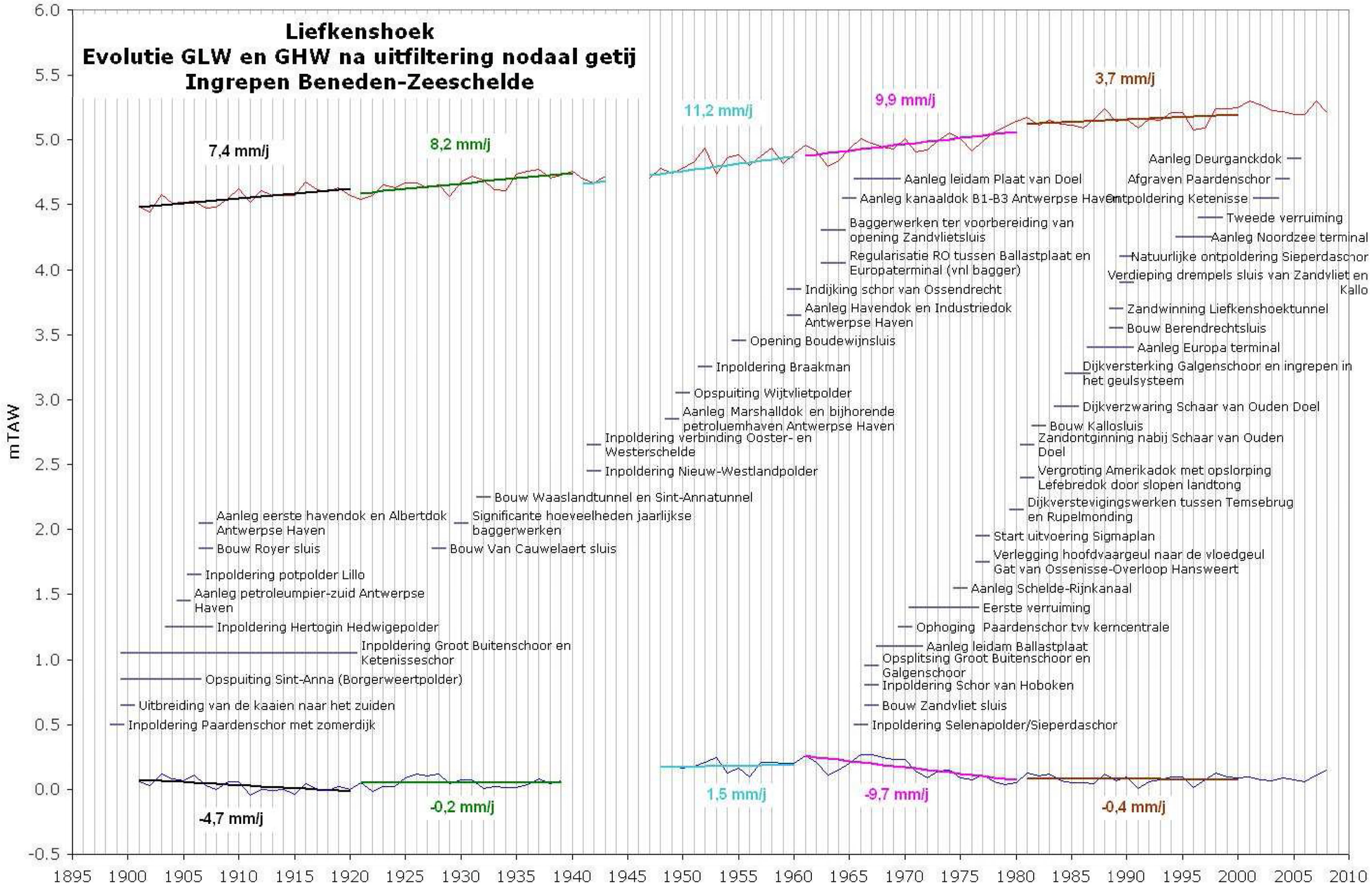
Overzicht inpolderingen langs de Westerschelde na 1850 (Meyvis, 1977b)

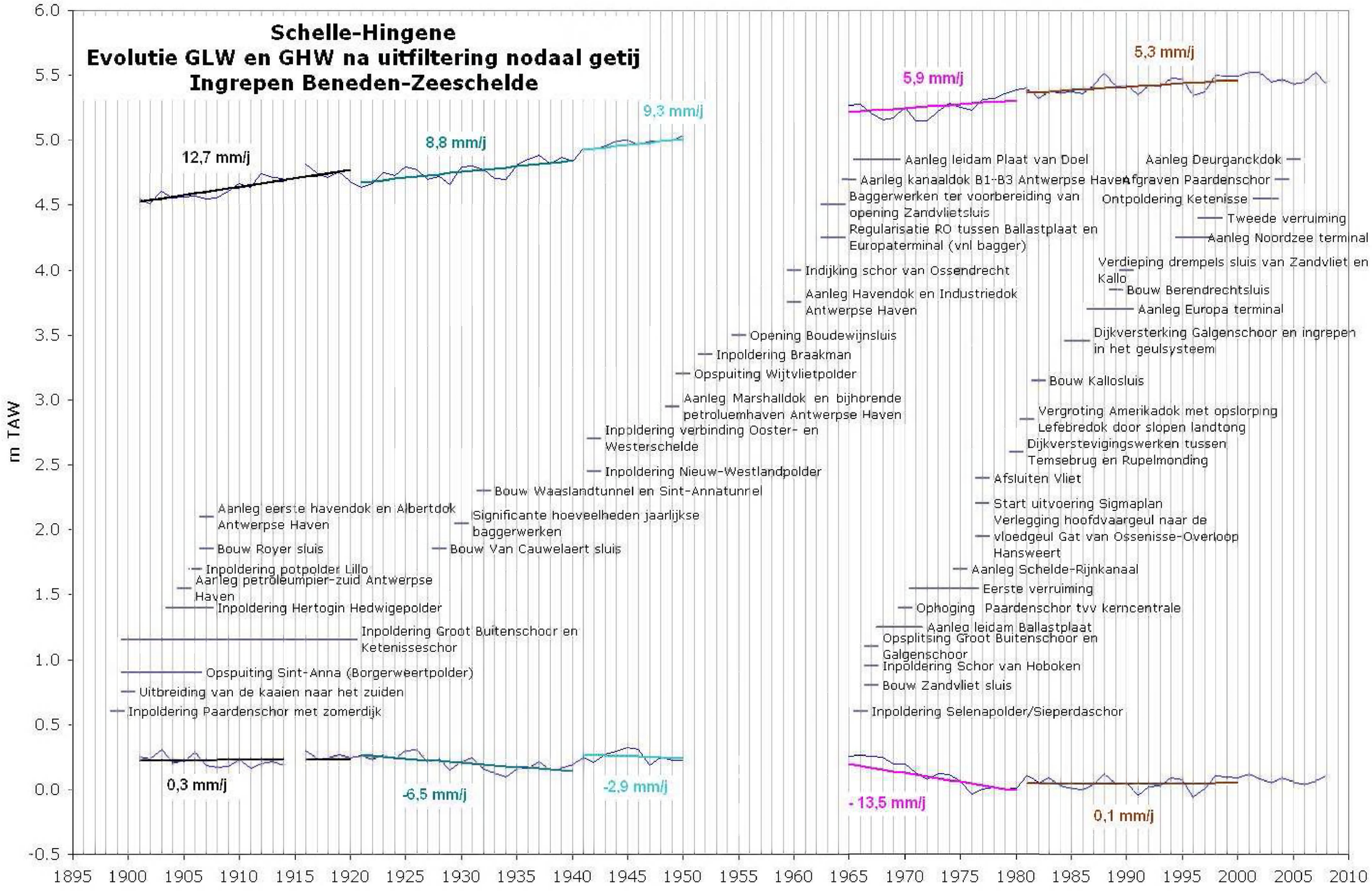
Naam van de polder	Jaar van inpoldering	Oppervlakte polder (ha)	Gemiddeld peil van de polder (+ mTAW)	Gemiddelde tijhoogte bij inpoldering (+ mTAW)	Komberging bij gemiddelde tijhoogte (m³)
Zuidbeveland en Walcheren					
Fredericapolder	1851	330	3,65 – 3,85	4,56	2.673.000
Eerste Bathpolder	1856	445	3,55 – 3,85	4,56	3.604.500
Vijdtpolder	1860	150	3,75 – 4,05	4,56	915.000
Van Citterspolder	1861	240	3,85 – 4,15	4,05	120.000
Van der duijnspolder	1863	250	3,95	4,56	1.525.000
Emmanuelpolder	1864	110	3,75 – 4,05	4,56	726.000
Zimmerman-polder	1882-1884	240	3,95 – 4,15	4,56	1.224.000
Damespolder	1885	215	3,85 – 4,15	4,56	1.204.000
Anna-Mariepolder	1897	200	3,85 - 3,95	4,57	1.340.000
Volckerpolder	1904	215	3,95 – 4,15	4,61	1.204.000
Kreekrakpolder	1923	250	4,05 – 4,35	4,78	1.450.000
Quarlespolder	1949	495	3,95 – 4,35	4,23	396.000
Zuidsloe	1961-1962	220	2,35	4,33	4.356.000
Havengebied Sloe	Na 1962	315	2,35	4,33	6.237.000
Schelde-Rijn	1970-1972	800	4,95 – 5,05	4,92	-
TOTAAL		**4,475 ha**			**27.762.500 m³**
Zeeuws-Vlaanderen					
Van Remoortere-polder	1851	125	3,65 – 3,85	4,19	550.000
Van Alsteinpolder	1852	455	3,85	4,56	3.913.000
Seydlitzpolder	1856	100	3,95 – 4,05	4,19	190.000
WillemIII polder	1861	245	3,95 – 4,15	4,28	563.500

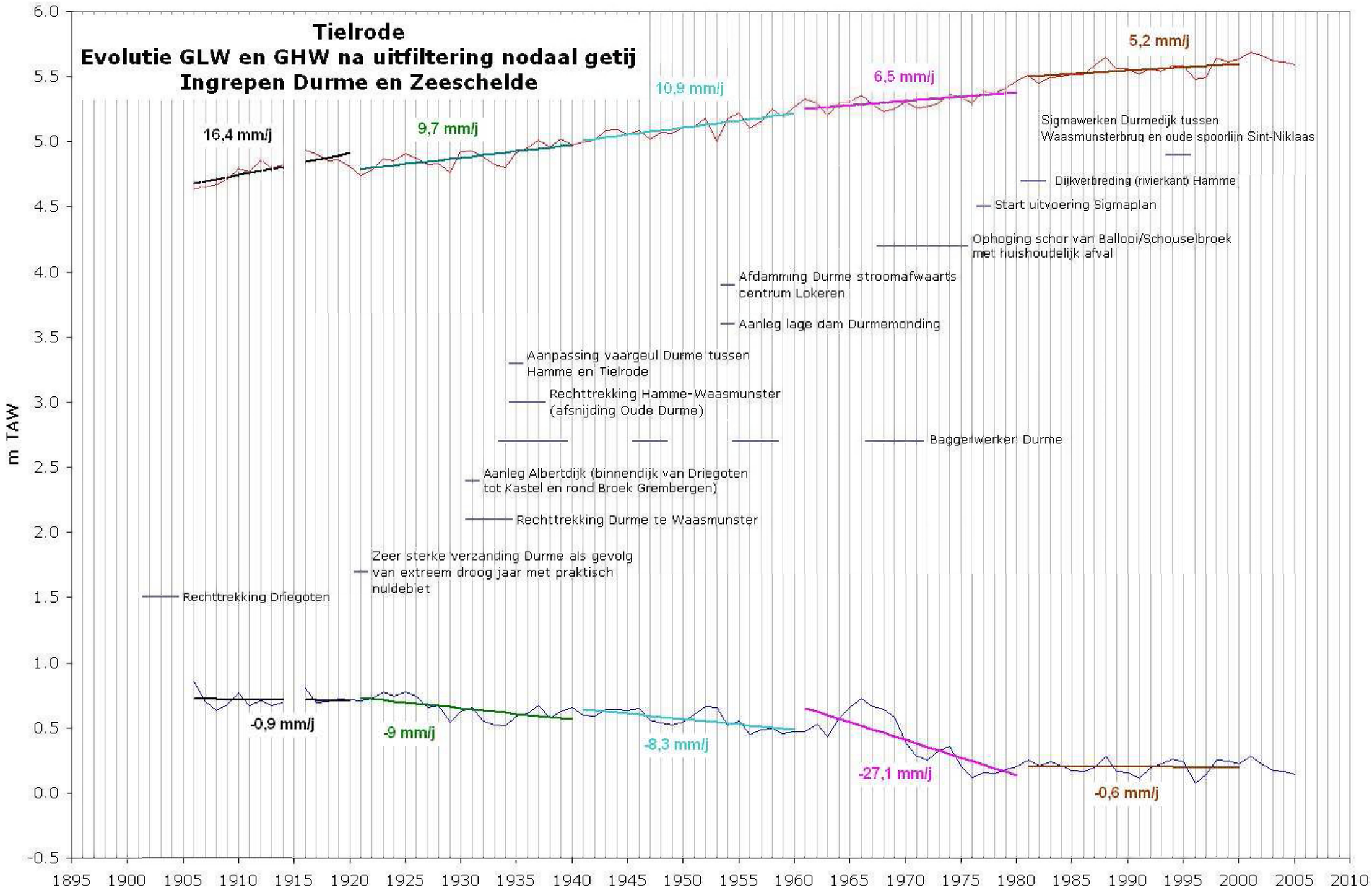
Naam van de polder	Jaar van inpoldering	Oppervlakte polder (ha)	Gemiddeld peil van de polder (+ mTAW)	Gemiddelde tijhoogte bij inpoldering (+ mTAW)	Komberging bij gemiddelde tijhoogte (m³)
Kleine molenpolder	1862	25	3,75 – 4,05	4,56	165.000
Elisabethpolder	1866	260	3,35 – 3,85	4,19	1.534.000
Kleine stellepolder	1866	90	3,95	4,19	216.000
Pierssenspolder	1866	140	4,25	4,19	
Visartpolder	1869	60	4,05	4,19	84.000
Van Lijndenpolder	1876	185	2,25 – 3,25	4,28	2.460.500
Bontepolder	1887	120	4,05	4,19	168.000
Koninginnepolder	1896	315	3,85 – 4,05	4,2	756.000
Koningin Emmapolder	1897	605	4,15 – 4,55	4,57	1.595.000
		120	4,35	4,57	
Kanaalpolder	1899	85	3,75	4,2	382.500
Mosselpolder	1900	140	4,25	4,2	
Dekkerspolder	1906	140	3,85 – 4,15	4,28	392.000
Van Dunnepolder	1907	55	3,85	4,28	236.000
Hertog Hedwigepolder	1907	295	4,25 – 4,55	4,62	2.094.500
Van Wuijkhuispolder	1912	220	4,35	4,35	
Dijckmeester-polder	1918	340	3,05 – 4,45	4,35	340.000
Hellegatpolder	1926	150	4,05 – 4,15	3,45	525.000
Braakmanpolder	1952	1540	2,35 – 4,35	4,46	17.094.000
TOTAAL		**5.810 ha**			**33.259.500 m³**
Totaal Westerschelde		**10.285 ha**			**61.022.000m m³**
Belgisch grondgebied – rechteroever					
Hagemanspolder	1861	50	4,41	4,53	55.000
Nieuw-Westlandpolder	1942	430	4,42	4,71	1.247.000
Dijkverhoging Zandvliet-Boudewijnsluis	1976	37	4,42	5,00	214.600
Belgisch grondgebied-linkeroever					
Polderke		25	1,98	5,00	
Kernenergie-centrale Doel		75	1,98	5,00	3.080.000
TOTAAL Zeeschelde		**617 ha**			**4.596.600 m³**
ALGEMEEN TOTAAL		**10.902 ha**			**64.830.600 m³**

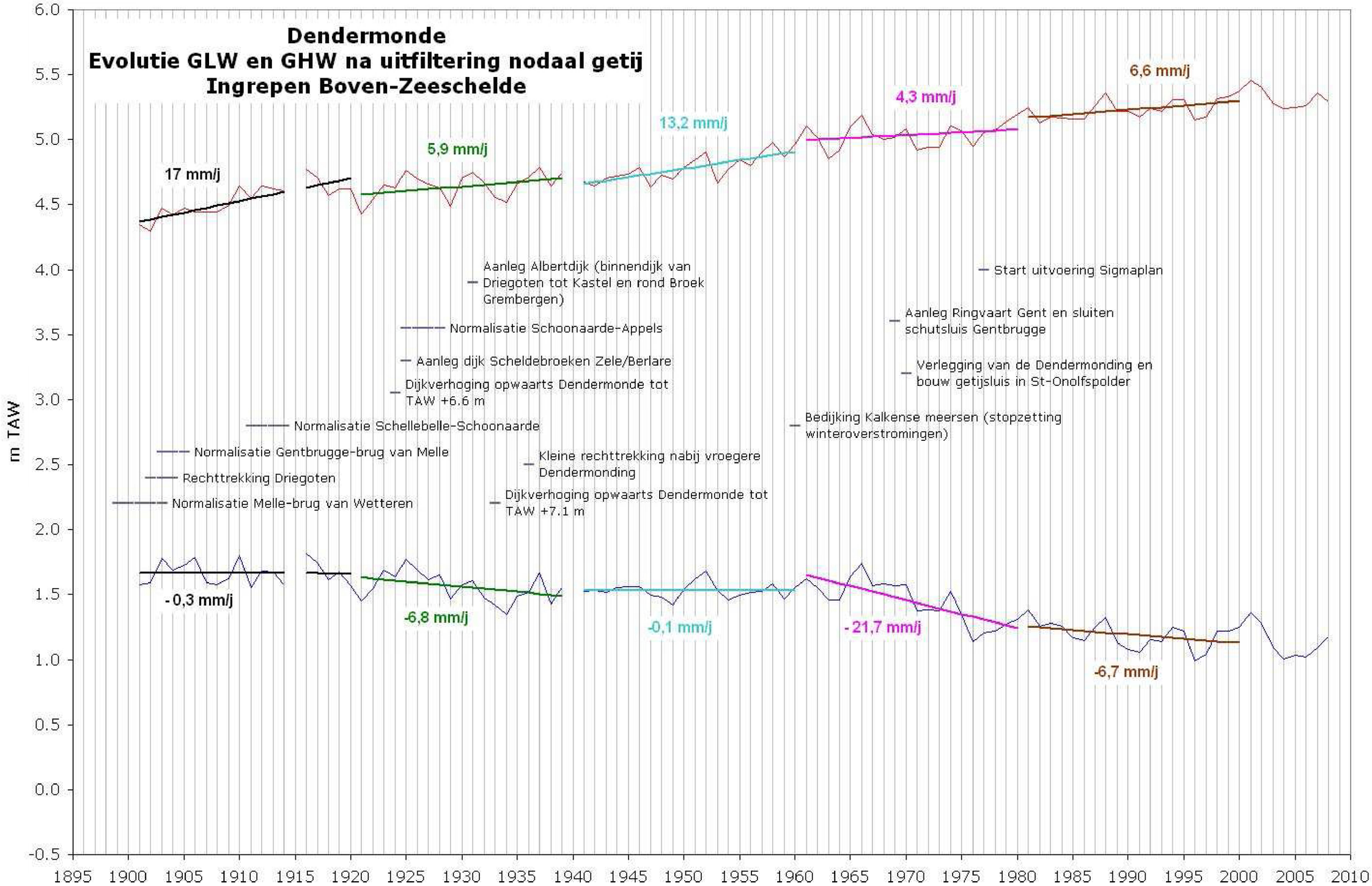
Bijlage 3 Grafieken ingreep-effectrelaties

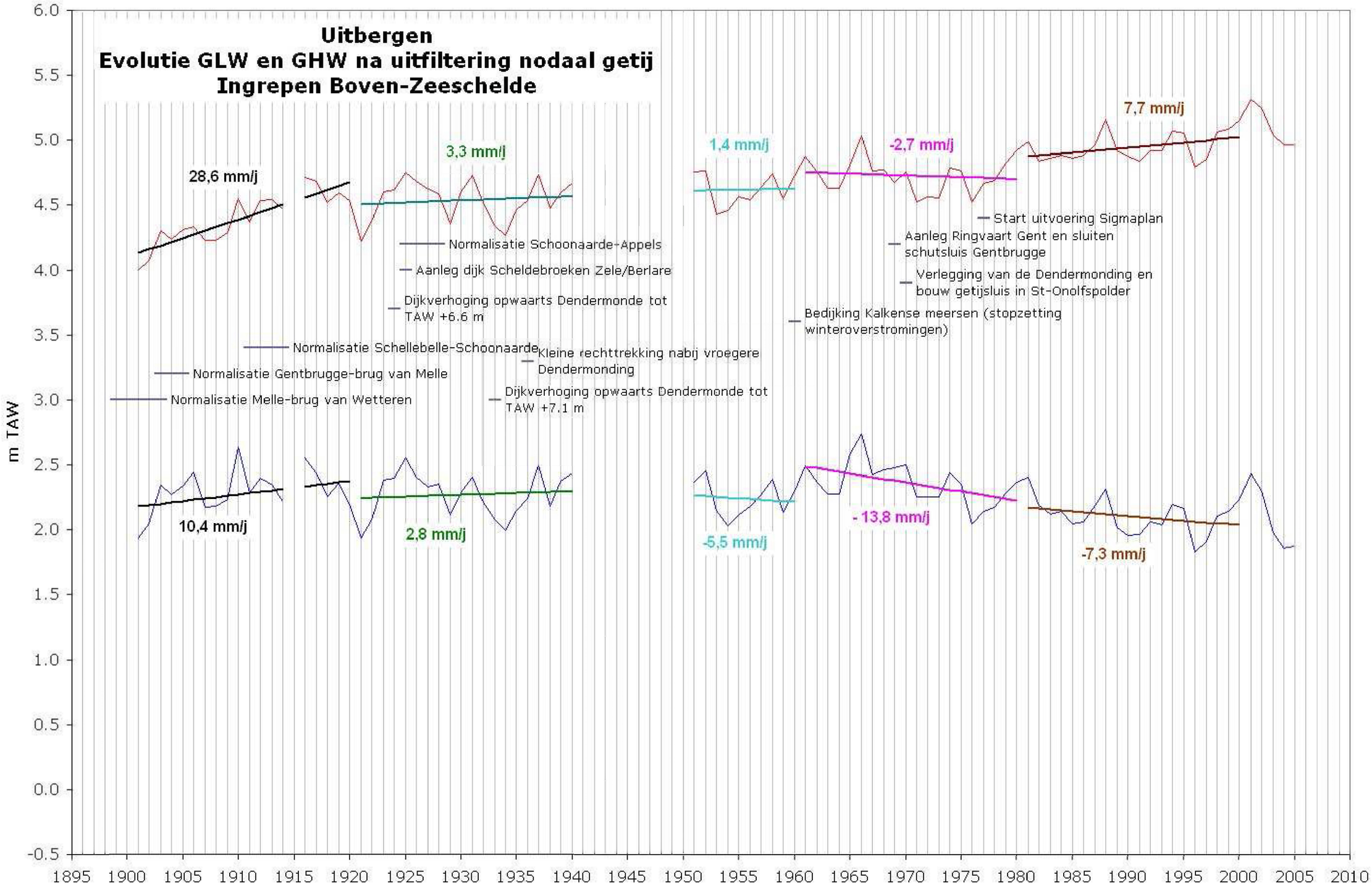

Bath
Evolutie GLW en GHW na uitfiltering nodaal getij
Ingrepen Beneden-Zeeschelde & Westerschelde
m TAW
12,4 mm/j
-2,2 mm/j
3,8 mm/j
6,6 mm/j
4,5 mm/j
3 mm/j
-5,4 mm/j
2,7 mm/j
-10,7 mm/j
-0,4 mm/j
Aanleg Deurganckdok
Afgraven Paardenschor
Ontpoldering Ketenisse
Tweede verruiming
Aanleg Noordzee terminal
Natuurlijke ontpoldering Sieperdaschor
Verdieping drempels sluis van Zandvliet en Kallo
Zandwinning Liefkenshoektunnel
Bouw Berendrechtsluis
Aanleg Europa terminal
Dijkversterking Galgenschoor en ingrepen in het geulsysteem
Dijkverzwaring Schaar van Ouden Doel
Bouw Kallosluis
Zandontginning nabij Schaar van Ouden Doel
Vergroting Amerikadok met opslorping Lefebredok door slopen landtong
Start uitvoering Sigmaplan
Verlegging hoofdvaargeul naar de vloedgeul Gat van Ossenisse-Overloop
Aanleg Schelde-Rijnkanaal
Eerste verruiming
Ophoging Paardenschor tvv kerncentrale
Aanleg leidam Ballastplaat
Opsplitsing Groot Buitenschoor en Galgenschoor
Inpoldering Schor van Hoboken
Bouw Zandvliet sluis
Inpoldering Selenapolder/Sieperdaschor
Aanleg leidam Paat van Doel
Aanleg kanaaldok B1-B3 Antwerpse Haven
Baggerwerken ter voorbereiding van opening Zandvlietsluis
Regularisatie RO tussen Ballastplaat en Europaterminal (vnl bagger)
Inpoldering Zuidsloe en havengebied Sloe
Indijking schor van Ossendrecht
Aanleg Havendok en Industriedok Antwerpse Haven
Opening Boudewijnsluis
Inpoldering Braakman
Opspuiting Wijtvlietpolder
Aanleg Marshalldok en bijhorende petroluemhaven Antwerpse Haven
Inpoldering Quarlespolder
Inpoldering verbinding Ooster- en Westerschelde
Inpoldering Nieuw-Westlandpolder
Bouw Waaslandtunnel en Sint-Annatunnel
Significante hoeveelheden jaarlijkse baggerwerken
Bouw Van Cauwelaert sluis
Aanleg eerste havendok en Albertdok Antwerpse Haven
Bouw Royer sluis
Inpoldering potpolder Lillo
Inpoldering Kreekrak
Aanleg petroleumpier-zuid Antwerpse Haven
Inpoldering Hertogin Hedwigepolder
Inpoldering Groot Buitenschoor en Ketenisseschor
Opspuiting Sint-Anna (Borgerweertpolder)
Uitbreiding van de kaaien naar het zuiden
Inpoldering Paardenschor met zomerdijk
Inpoldering Dames-, Anna Maria-, Volckerpolder

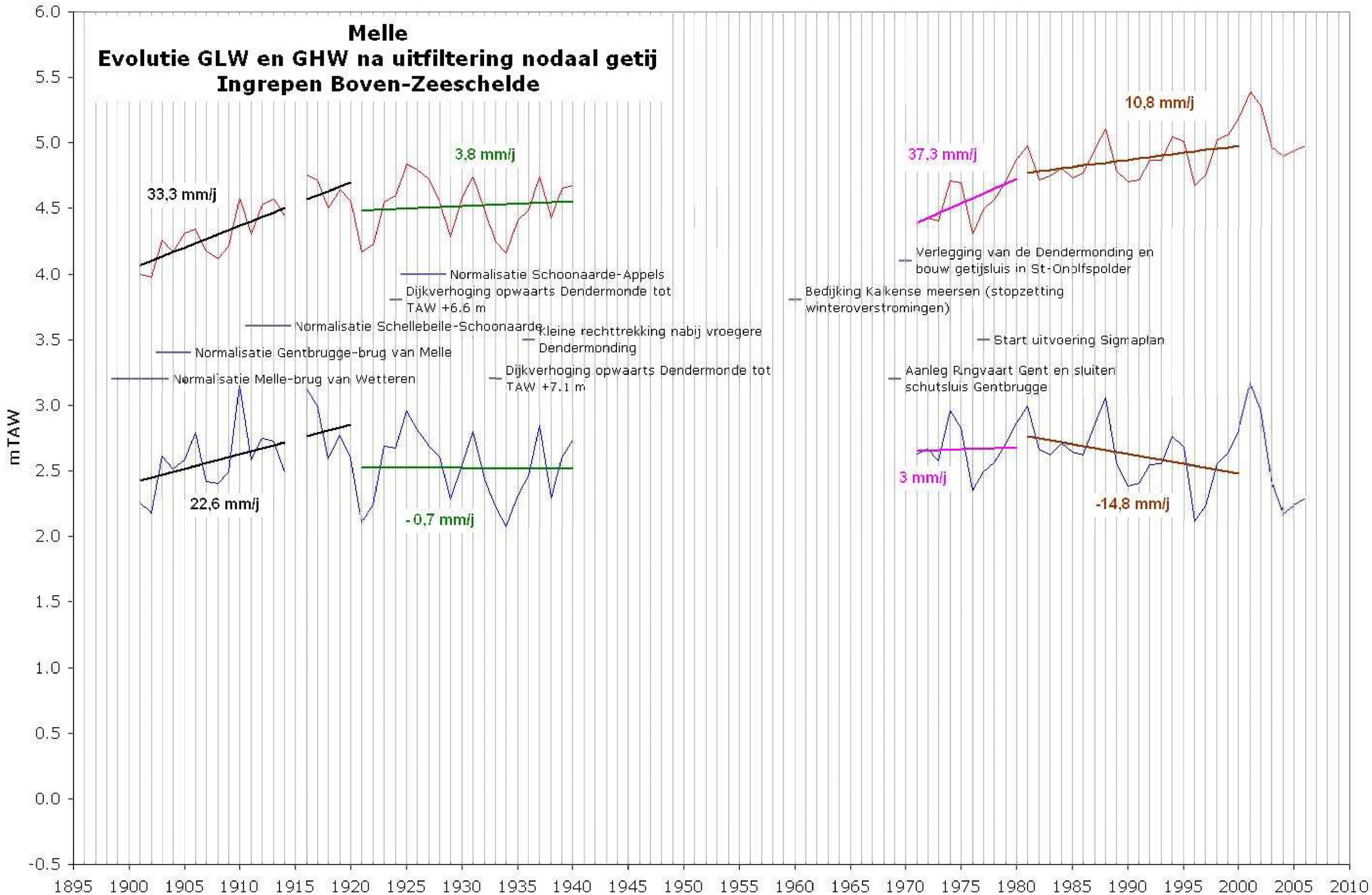

Liefkenshoek
Evolutie GLW en GHW na uitfiltering nodaal getij
Ingrepen Beneden-Zeeschelde
mTAW
7,4 mm/j
8,2 mm/j
11,2 mm/j
9,9 mm/j
3,7 mm/j
-4,7 mm/j
-0,2 mm/j
1,5 mm/j
-9,7 mm/j
-0,4 mm/j
Aanleg Deurganckdok
Afgraven Paardenschor
Aanleg leidam Plaat van Doel
Aanleg kanaaldok B1-B3 Antwerpse Haven
Ontpoldering Ketenisse
Tweede verruiming
Baggerwerken ter voorbereiding van opening Zandvlietsluis
Aanleg Noordzee terminal
Natuurlijke ontpoldering Sieperdaschor
Regularisatie RO tussen Ballastplaat en Europaterminal (vnl bagger)
Verdieping drempels sluis van Zandvliet en Kallo
Indijking schor van Ossendrecht
Aanleg Havendok en Industriedok Antwerpse Haven
Zandwinning Liefkenshoektunnel
Bouw Berendrechtsluis
Opening Boudewijnsluis
Aanleg Europa terminal
Inpoldering Braakman
Dijkversterking Galgenschoor en ingrepen in het geulsysteem
Opspuiting Wijtvlietpolder
Dijkverzwaring Schaar van Ouden Doel
Aanleg Marshalldok en bijhorende petroluemhaven Antwerpse Haven
Bouw Kallosluis
Inpoldering verbinding Ooster- en Westerschelde
Zandontginning nabij Schaar van Ouden Doel
Inpoldering Nieuw-Westlandpolder
Vergroting Amerikadok met opslorping Lefebredok door slopen landtong
Bouw Waaslandtunnel en Sint-Annatunnel
Dijkverstevigingswerken tussen Temsebrug en Rupelmonding
Aanleg eerste havendok en Albertdok Antwerpse Haven
Significante hoeveelheden jaarlijkse baggerwerken
Start uitvoering Sigmaplan
Bouw Royer sluis
Bouw Van Cauwelaert sluis
Verlegging hoofdvaargeul naar de vloedgeul Gat van Ossenisse-Overloop Hansweert
Inpoldering potpolder Lillo
Aanleg Schelde-Rijnkanaal
Aanleg petroleumpier-zuid Antwerpse Haven
Eerste verruiming
Inpoldering Hertogin Hedwigepolder
Ophoging Paardenschor tvv kerncentrale
Aanleg leidam Ballastplaat
Inpoldering Groot Buitenschoor en Ketenisseschor
Opsplitsing Groot Buitenschoor en Galgenschoor
Opspuiting Sint-Anna (Borgerweertpolder)
Inpoldering Schor van Hoboken
Uitbreiding van de kaaien naar het zuiden
Bouw Zandvliet sluis
Inpoldering Paardenschor met zomerdijk
Inpoldering Selenapolder/Sieperdaschor
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
1895
1900
1905
1910
1915
1920
1925
1930
1935
1940
1945
1950
1955
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010

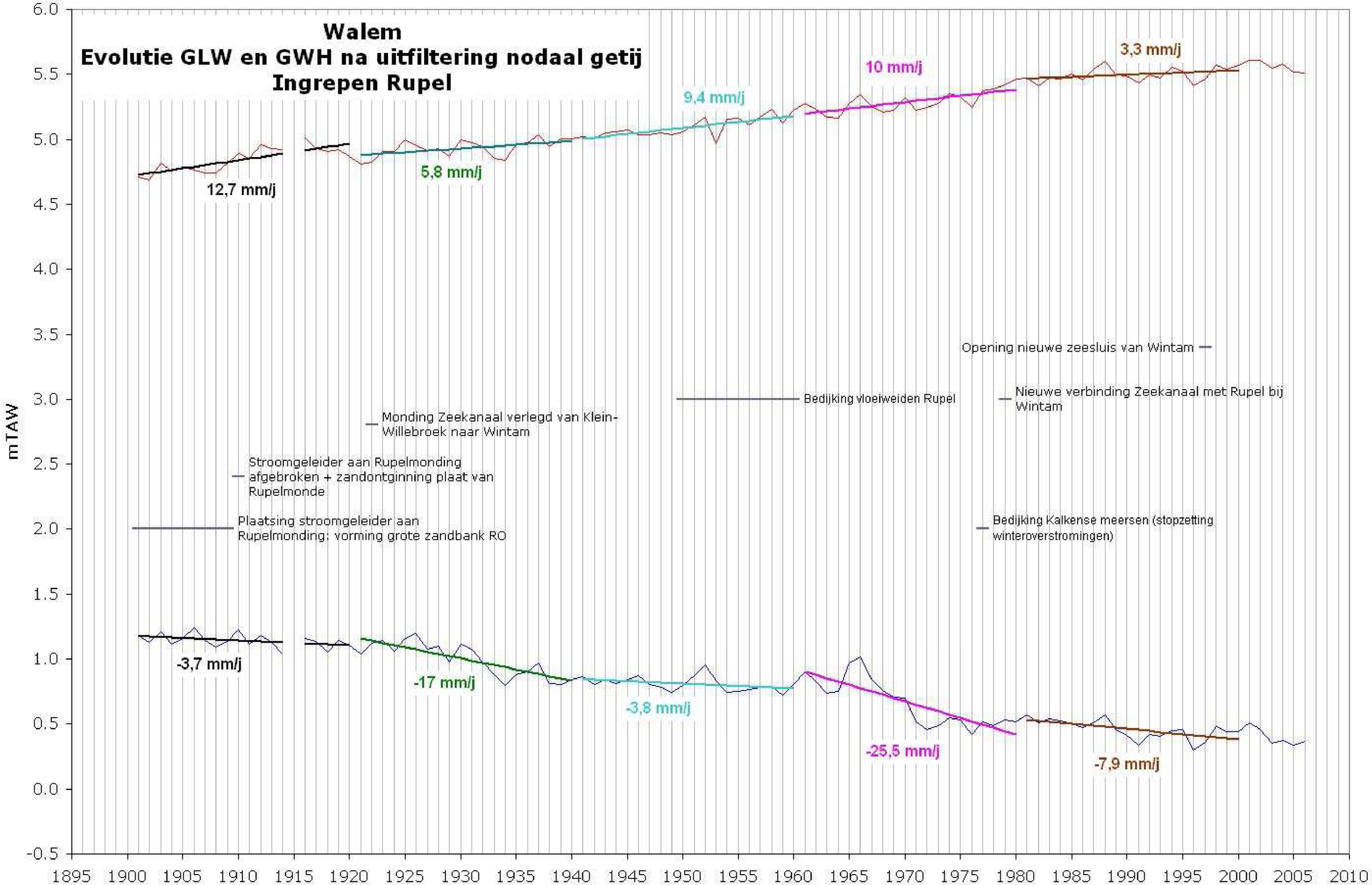

Schelle-Hingene
Evolutie GLW en GHW na uitfiltering nodaal getij
Ingrepen Beneden-Zeeschelde
m TAW
12,7 mm/j
8,8 mm/j
9,3 mm/j
5,9 mm/j
5,3 mm/j
0,3 mm/j
-6,5 mm/j
-2,9 mm/j
- 13,5 mm/j
0,1 mm/j
Aanleg leidam Plaat van Doel
Aanleg Deurganckdok
Aanleg kanaaldok B1-B3 Antwerpse Haven
Afgraven Paardenschor
Baggerwerken ter voorbereiding van opening Zandvlietsluis
Ontpoldering Ketenisse
Tweede verruiming
Regularisatie RO tussen Ballastplaat en Europaterminal (vnl bagger)
Aanleg Noordzee terminal
Verdieping drempels sluis van Zandvliet en Kallo
Indijking schor van Ossendrecht
Bouw Berendrechtsluis
Aanleg Havendok en Industriedok Antwerpse Haven
Aanleg Europa terminal
Opening Boudewijnsluis
Dijkversterking Galgenschoor en ingrepen in het geulsysteem
Inpoldering Braakman
Opspuiting Wijtvlietpolder
Bouw Kallosluis
Aanleg Marshalldok en bijhorende petroluemhaven Antwerpse Haven
Vergroting Amerikadok met opslorping Lefebredok door slopen landtong
Inpoldering verbinding Ooster- en Westerschelde
Dijkverstevigingswerken tussen Temsebrug en Rupelmonding
Inpoldering Nieuw-Westlandpolder
Afsluiten Vliet
Bouw Waaslandtunnel en Sint-Annatunnel
Start uitvoering Sigmaplan
Aanleg eerste havendok en Albertdok Antwerpse Haven
Significante hoeveelheden jaarlijkse baggerwerken
Verlegging hoofdvaargeul naar de vloedgeul Gat van Ossenisse-Overloop Hansweert
Bouw Royer sluis
Bouw Van Cauwelaert sluis
Inpoldering potpolder Lillo
Aanleg Schelde-Rijnkanaal
Aanleg petroleumpier-zuid Antwerpse Haven
Eerste verruiming
Inpoldering Hertogin Hedwigepolder
Ophoging Paardenschor tvv kerncentrale
Aanleg leidam Ballastplaat
Inpoldering Groot Buitenschoor en Ketenisseschor
Opsplitsing Groot Buitenschoor en Galgenschoor
Inpoldering Schor van Hoboken
Opspuiting Sint-Anna (Borgerweertpolder)
Bouw Zandvliet sluis
Uitbreiding van de kaaien naar het zuiden
Inpoldering Selenapolder/Sieperdaschor
Inpoldering Paardenschor met zomerdijk
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010

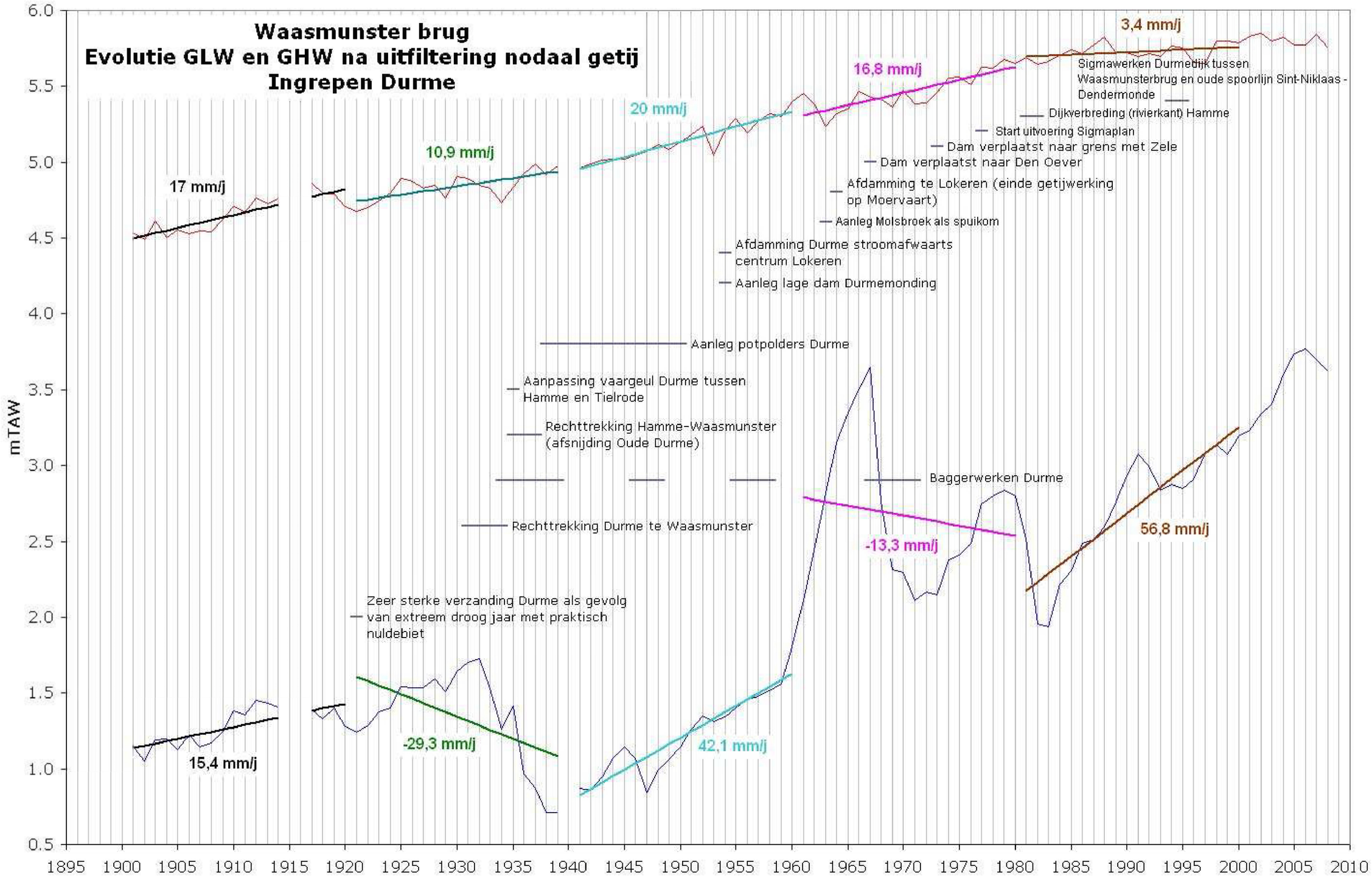

Tielrode
Evolutie GLW en GHW na uitfiltering nodaal getij
Ingrepen Durme en Zeeschelde
m TAW
16,4 mm/j
9,7 mm/j
10,9 mm/j
6,5 mm/j
5,2 mm/j
-0,9 mm/j
-9 mm/j
-8,3 mm/j
-27,1 mm/j
-0,6 mm/j
Sigmawerken Durmedijk tussen Waasmunsterbrug en oude spoorlijn Sint-Niklaas
Dijkverbreding (rivierkant) Hamme
Start uitvoering Sigmaplan
Ophoging schor van Ballooi/Schouselbroek met huishoudelijk afval
Afdamming Durme stroomafwaarts centrum Lokeren
Aanleg lage dam Durmemonding
Aanpassing vaargeul Durme tussen Hamme en Tielrode
Rechttrekking Hamme-Waasmunster (afsnijding Oude Durme)
Baggerwerken Durme
Aanleg Albertdijk (binnendijk van Driegoten tot Kastel en rond Broek Grembergen)
Rechttrekking Durme te Waasmunster
Zeer sterke verzanding Durme als gevolg van extreem droog jaar met praktisch nuldebiet
Rechttrekking Driegoten
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010


Dendermonde
Evolutie GLW en GHW na uitfiltering nodaal getij
Ingrepen Boven-Zeeschelde
m TAW
17 mm/j
5,9 mm/j
13,2 mm/j
4,3 mm/j
6,6 mm/j
- 0,3 mm/j
-6,8 mm/j
-0,1 mm/j
- 21,7 mm/j
-6,7 mm/j
Aanleg Albertdijk (binnendijk van Driegoten tot Kastel en rond Broek Grembergen)
Normalisatie Schoonaarde-Appels
Aanleg dijk Scheldebroeken Zele/Berlare
Dijkverhoging opwaarts Dendermonde tot TAW +6.6 m
Normalisatie Schellebelle-Schoonaarde
Normalisatie Gentbrugge-brug van Melle
Rechttrekking Driegoten
Normalisatie Melle-brug van Wetteren
Kleine rechttrekking nabij vroegere Dendermonding
Dijkverhoging opwaarts Dendermonde tot TAW +7.1 m
Bedijking Kalkense meersen (stopzetting winteroverstromingen)
Start uitvoering Sigmaplan
Aanleg Ringvaart Gent en sluiten schutsluis Gentbrugge
Verlegging van de Dendermonding en bouw getijsluis in St-Onolfspolder


Uitbergen
Evolutie GLW en GHW na uitfiltering nodaal getij
Ingrepen Boven-Zeeschelde
m TAW
28,6 mm/j
3,3 mm/j
1,4 mm/j
-2,7 mm/j
7,7 mm/j
10,4 mm/j
2,8 mm/j
-5,5 mm/j
- 13,8 mm/j
-7,3 mm/j
Normalisatie Schoonaarde+Appels
Aanleg dijk Scheldebroeken Zele/Berlare
Dijkverhoging opwaarts Dendermonde tot TAW +6.6 m
Normalisatie Schellebelle-Schoonaarde
Kleine rechttrekking nabij vroegere Dendermonding
Normalisatie Gentbrugge-brug van Melle
Normalisatie Melle-brug van Wetteren
Dijkverhoging opwaarts Dendermonde tot TAW +7.1 m
Bedijking Kalkense meersen (stopzetting winteroverstromingen)
Aanleg Ringvaart Gent en sluiten schutsluis Gentbrugge
Verlegging van de Dendermonding en bouw getijsluis in St-Onolfspolder
Start uitvoering Sigmaplan
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010


Melle
Evolutie GLW en GHW na uitfiltering nodaal getij
Ingrepen Boven-Zeeschelde
mTAW
33,3 mm/j
3,8 mm/j
37,3 mm/j
10,8 mm/j
22,6 mm/j
-0,7 mm/j
3 mm/j
-14,8 mm/j
Normalisatie Schoonaarde-Appels
Dijkverhoging opwaarts Dendermonde tot TAW +6.6 m
Normalisatie Schellebelle-Schoonaarde
Kleine rechttrekking nabij vroegere Dendermonding
Normalisatie Gentbrugge-brug van Melle
Normalisatie Melle-brug van Wetteren
Dijkverhoging opwaarts Dendermonde tot TAW +7.1 m
Verlegging van de Dendermonding en bouw getijsluis in St-Onolfspolder
Bedijking Kalkense meersen (stopzetting winteroverstromingen)
Start uitvoering Sigmaplan
Aanleg Ringvaart Gent en sluiten schutsluis Gentbrugge
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010


Walem
Evolutie GLW en GWH na uitfiltering nodaal getij
Ingrepen Rupel
mTAW
12,7 mm/j
5,8 mm/j
9,4 mm/j
10 mm/j
3,3 mm/j
-3,7 mm/j
-17 mm/j
-3,8 mm/j
-25,5 mm/j
-7,9 mm/j
Monding Zeekanaal verlegd van Klein-Willebroek naar Wintam
Stroomgeleider aan Rupelmonding afgebroken + zandontginning plaat van Rupelmonde
Plaatsing stroomgeleider aan Rupelmonding: vorming grote zandbank RO
Bedijking vloeiweiden Rupel
Opening nieuwe zeesluis van Wintam
Nieuwe verbinding Zeekanaal met Rupel bij Wintam
Bedijking Kalkense meersen (stopzetting winteroverstromingen)


Waasmunster brug
Evolutie GLW en GHW na uitfiltering nodaal getij
Ingrepen Durme
mTAW
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
1895
1900
1905
1910
1915
1920
1925
1930
1935
1940
1945
1950
1955
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010
17 mm/j
10,9 mm/j
20 mm/j
16,8 mm/j
3,4 mm/j
15,4 mm/j
-29,3 mm/j
42,1 mm/j
-13,3 mm/j
56,8 mm/j
Sigmawerken Durmedijk tussen Waasmunsterbrug en oude spoorlijn Sint-Niklaas - Dendermonde
Dijkverbreding (rivierkant) Hamme
Start uitvoering Sigmaplan
Dam verplaatst naar grens met Zele
Dam verplaatst naar Den Oever
Afdamming te Lokeren (einde getijwerking op Moervaart)
Aanleg Molsbroek als spuikom
Afdamming Durme stroomafwaarts centrum Lokeren
Aanleg lage dam Durmemonding
Aanleg potpolders Durme
Aanpassing vaargeul Durme tussen Hamme en Tielrode
Rechttrekking Hamme-Waasmunster (afsnijding Oude Durme)
Baggerwerken Durme
Rechttrekking Durme te Waasmunster
Zeer sterke verzanding Durme als gevolg van extreem droog jaar met praktisch nuldebiet