

DE ZEESPIEGELSTIJGING METEN, BEGRIJPEN EN AFBLOKKEN

Dat de zeespiegel stijgt ten gevolge van de wereldwijde opwarming van het klimaat is genoegzaam bekend.

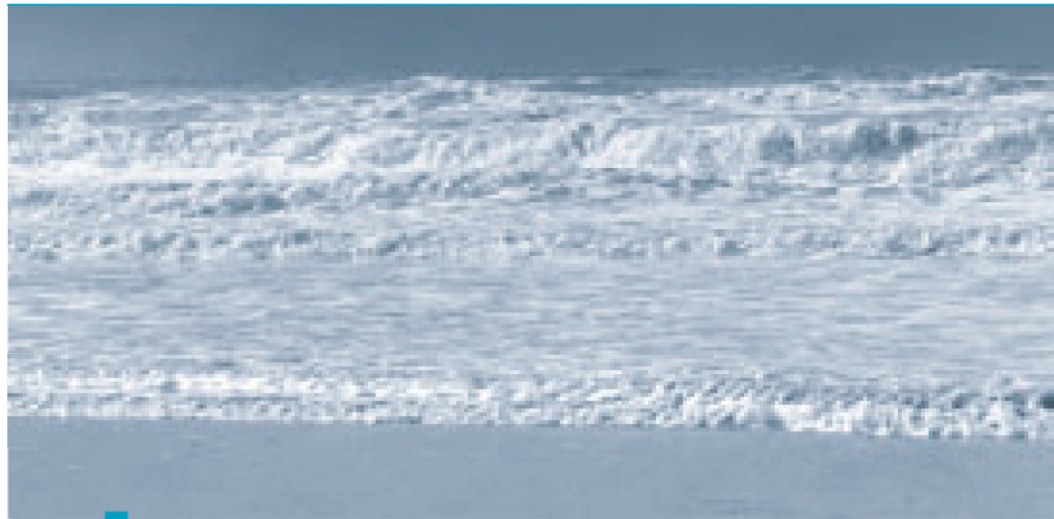
Hoe men die stijging meet en welke problemen bij de interpretatie om het hoekje komen kijken, komt echter zelden aan bod. In volgende bijdrage nemen de bevoegde Vlaamse experts je mee naar de kust voor een les 'hoe meet en interpreteer je de zeespiegelstijging en hoe kunnen we er ons tegen wapenen?'.

Het relatieve van zeeniveau-metingen

"Alles is relatief", zei de misschien wel beroemdste wetenschapper ooit: Albert Einstein. Ook voor het niveau van de zeespiegel is dat het geval. Enerzijds stelt de leek zich de vraag waar en wanneer dient te worden gemeten. Anderzijds heeft spreken over hét niveau van de zeespiegel enkel betekenis als er bij gezegd wordt ten opzichte van welk nulniveau gemeten wordt. Zo blijken er minstens drie verschillende benaderingen van de 'relatieve zeespiegel' gangbaar te zijn: je kunt meten t.o.v. het huidige landniveau, t.o.v. een vast meettoestel op de zeewering of t.o.v. het niveau van een ondergrondse, geologisch oudere laag of sokkel.

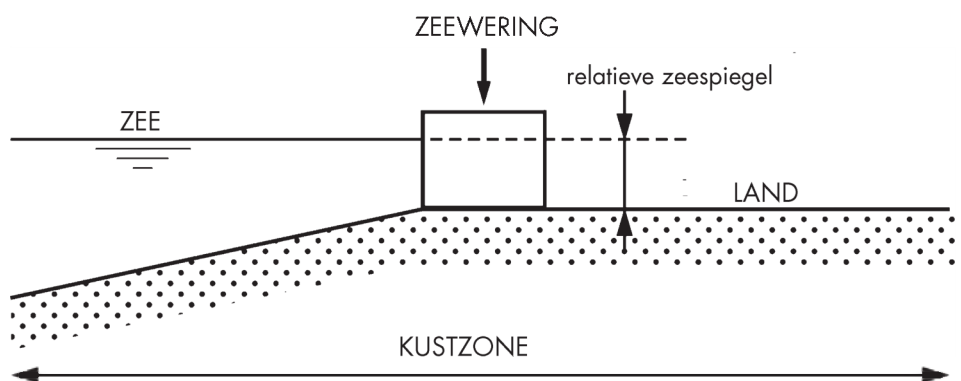
Een eerste benadering meet het niveau van de zeespiegel ten opzichte van het niveau van het aardoppervlak langs de kustlijn, landwaarts van de zeewering (zie figuur). Dit aardoppervlak kan zelf ook in beweging zijn, bijvoorbeeld door inklinking van de bodem ten gevolge van drainage van de polders. Het kan dus perfect dat je met deze benadering een relatieve zeespiegelstijging meet, terwijl het eigenlijke zeeniveau stabiel is gebleven maar het land is 'gezakt'. Het is dit relatief niveauverschil dat een belangrijk gegeven is bij de bescherming van het land tegen de zee door kustverdediging. Een voldoende hoge en sterke zeewering aanleggen en onderhouden is de basis van de kustverdediging. Langs onze kust

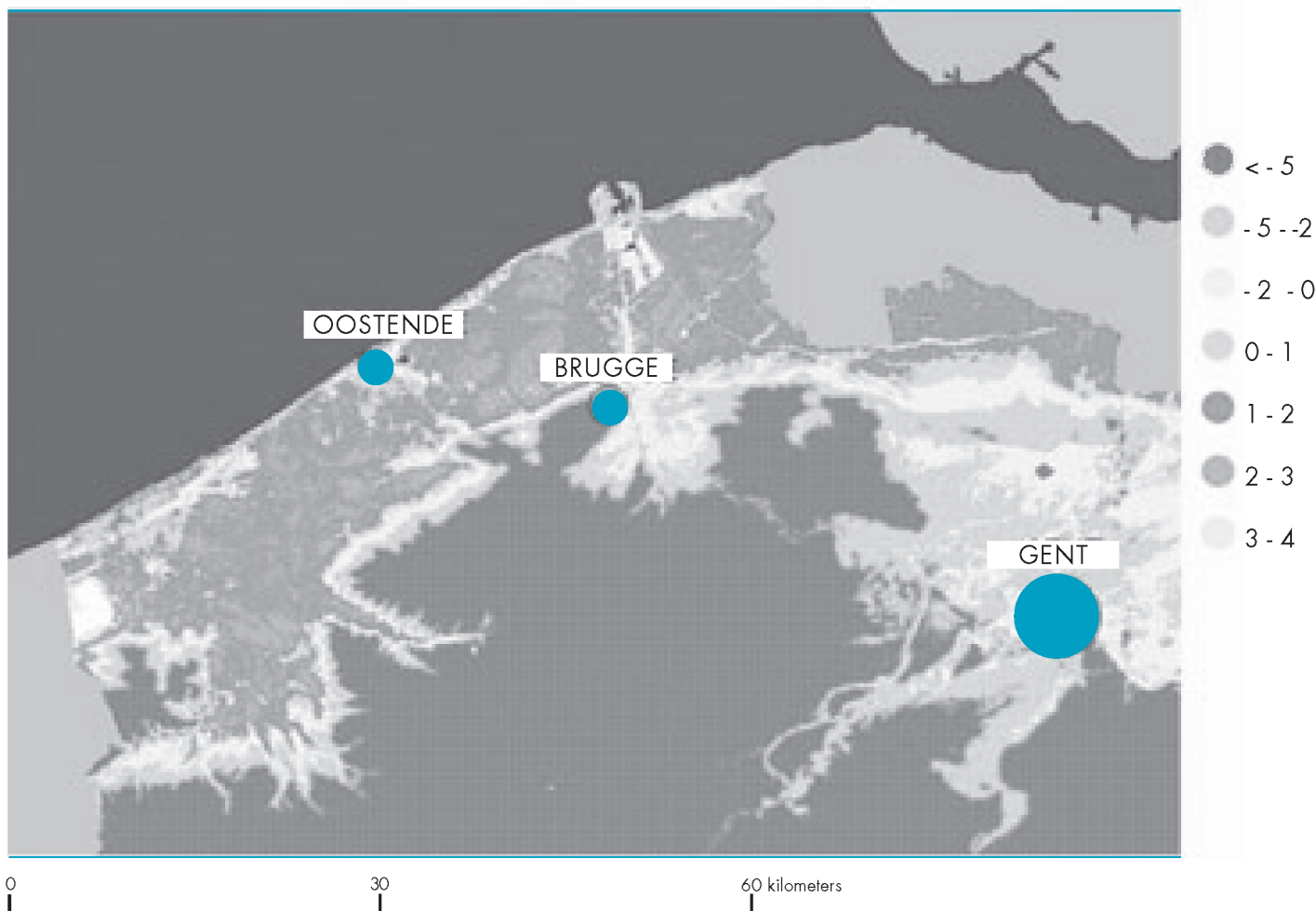
Wanneer men de relatieve zeespiegel meet kan dit op verschillende manieren geschieden. Eén ervan is door de hoogte van een gemiddeld zeeniveau in te schatten ten opzichte van het niveau van het aardoppervlak langs de kustlijn (figuur WLH; foto afdeling Kust)



MD

De zeespiegel stijgt als gevolg van de wereldwijde opwarming van het klimaat. Hoe men die stijging meet aan de Belgische kust en welke problemen bij de interpretatie om het hoekje komen kijken, komt in deze bijdrage aan bod





De Vlaamse polderstreek en het Oostvlaamse krekengebied bevinden zich gemiddeld ca. 2 m lager dan het niveau van een gemiddelde jaarlijkse storm (van +5,5 m TAW). Bepaalde komgebieden, zoals de Moeren te Veurne en de Lege Moeren te Meetkerke, liggen zelfs nog 1-2 m lager dan dit omliggende niveau (DHM-Vlaanderen met raster 100 m, product OC-GIS Vlaanderen).

zijn de duinen de natuurlijke zeewering. In badplaatsen en havens is deze natuurlijke zeewering vervangen door constructies zoals zeedijken en kaaimuren. Welk soort zeewering het ook is, de hoogte van de relatieve zeespiegel is een bepalende factor bij het beoordelen van de overstromingsrisico's. Ter illustratie: voor de Belgische kust is de relatieve zeespiegel bij een gemiddelde jaarlijkse storm (met een stormpeil van +5,5 m TAW, d.i. het vertikaal referentievlak voor België) van de orde van grootte van 2 m boven het landoppervlak van de kustzone. Dit wordt geïllustreerd in bovenstaande figuur, berekend op basis van het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen.

Voor een bepaalde kustzone varieert de relatieve zeespiegel voortdurend in de tijd ten gevolge van een waaier van fysische processen die zich afspelen op tijdsschalen van enkele seconden tot duizenden jaren en meer, en op ruimteschalen van enkele tientallen meter over duizenden kilometer tot wereldwijd. De tabel op pagina 17 geeft een overzicht van de belangrijkste processen die het zeeniveau beïnvloeden met hun

indicatieve grootte en typische schalen voor de Belgische kust. Deze tabel maakt vooral duidelijk hoe complex en relatief het gegeven van 'het zeeniveau' wel is... Diverse processen, allemaal met hun eigen tijds- en ruimteschalen en groottes, werken door elkaar heen en bepalen samen het uiteindelijke, gemeten zeeniveau.



PROCES	GROOTTE	TIJDSCHAAL	RUIMTESCHAAL
Golven	Cyclisch met amplitude tot enkele meter	Periode van enkele seconden	Enkele 10-tallen meter
Effect wind en atmosferedruk	Cyclisch met amplitude -1 m	Periode van uren, dagen	Hoge en lage drukgebieden in de omgeving van W-Europa
Eb en vloed	Cyclisch met amplitude - 4 m	Ongeveer elke dag 2 x hoog water en 2 x laag water	Draaiing rond amfidromisch punt in de zuidelijke Noordzee*
Springtij – doodtijcyclus in fase met de positie van de maan	Cyclisch met amplitude van enkele dm	Periode van ongeveer 2 weken	Wereldwijd
Effect op de getijamplitude van de variabele afstand tussen aarde en maan (vanwege elliptische en niet circelvormige baan van maan rond aarde)	Cyclisch met amplitude van enkele dm	Periode van ongeveer 4 weken	Wereldwijd
Hoek van de zon ten opzichte van de evenaar	Cyclisch met amplitude van enkele dm	Periode van 6 maanden (in maart-april en september-oktober komen de grootste getijamplitudes van het jaar voor: dit is bij de zogenaamde equinoxen, als de zon zich in het vlak van de evenaar bevindt)	Wereldwijd
Saros cyclus**	Cyclisch met amplitude van enkele cm	Periode van 18,61 jaar	Wereldwijd
Vervormingen en kantelbewegingen van aardplaten (isostasie en tektoniek)	Actuele trend in de orde van enkele mm per eeuw	Trend zet zich 1000-den jaren door	Werelddeel
Toename van het volume water in de oceanen (door afsmelten ijs, thermische uitzetting water) (eustasie)	Actuele trend in de orde van enkele dm per eeuw. Mogelijks in de toekomst significant versterkt ten gevolge van het broeikaseffect	Trend zet zich 1000-den jaren door	Wereldwijd
Compactie van de ondergrond = verdichting onder eigen gewicht, in de hand gewerkt door drainage	Actuele trend	100-den jaren	Kustzone
Regressie-transgressie Sedimentatie-erosie	Actueel geen evolutie vanwege het gefixeerd zijn van de kustlijn door de zeewering	Periode van 1000-den jaren	Kustzone

* voor verklaring amfidromisch punt en getij: zie artikel in 'Grote Rede' 6, consulteerbaar via: http://www.vliz.be/docs/groterede/GRO6_mysterie.pdf

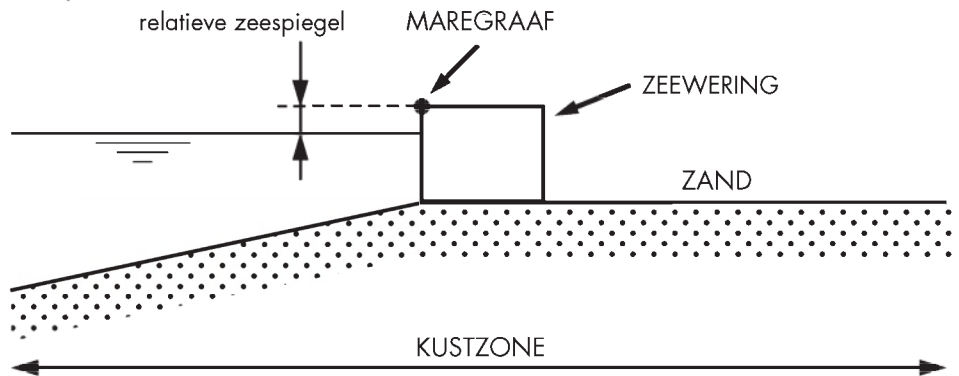
** Saros cyclus: cyclus die de langzame variatie van de hoek tussen aarde, zon en maan bepaalt

Voor een bepaalde kustzone varieert de relatieve zeespiegel voortdurend in de tijd ten gevolge van een waaier van fysische processen die zich afspelen op tijdsschalen van enkele seconden tot duizenden jaren en meer, en op ruimteschalen van enkele tientallen meter over duizenden kilometer tot wereldwijd. In dit overzicht zijn de belangrijkste processen weergegeven die het zeeniveau beïnvloeden, met hun indicatieve grootte en typische schalen voor de Belgische kust (WLH)

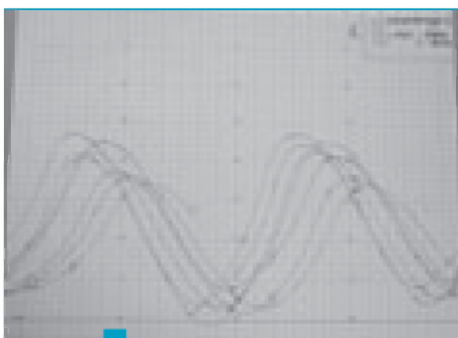
Hoe meet men het relatieve zeeniveau aan onze kust?

De dienst 'Vlaamse Hydrografie' (en diens voorlopers) meet al bijna 200 jaar de evolutie van de relatieve zeespiegel in de tijd. Men gebruikt hierbij als meet-instrument de maregraaf (van het latijnse 'mare' = zee, en het griekse 'grafein' = schrijven). Langs de Belgische kust zijn er maregrafen te Nieuwpoort, Oostende en Zeebrugge. Deze maregrafen registreren de relatieve veranderingen van de zeespiegel ten opzichte van constructies die deel uitmaken van de zeewering in de havens, zoals kaaimuren. Ze maken dus gebruik van een andere definitie van 'relatieve zeespiegel' dan die hoger vermeld (d.i. t.o.v. het land), zoals geïllustreerd in bovenstaande figuur. Vermits deze constructies 'meebewegen' met het land, is ook deze benadering onderhevig aan veranderingen in het landniveau (bv. door compactie van de ondergrond waarop de maregrafen gefundeerd zijn).

Maregrafen bevinden zich in havens omdat ze daar beschut zijn tegen de golven. Het is immers niet de bedoeling met deze maregrafen de hoogfrequente waterstandbewegingen door de golven te meten. Een dempingsbuis, waarbinnen de registrerende vlotter op en neer kan bewegen, zorgt ervoor dat de invloed van de golven op de meetregistraties zoveel mogelijk wordt beperkt. De getijmeetpost te Oostende (zie foto rechts) beschikt op dit moment over de langste reeks van metingen en wordt beschouwd als het voornaamste meetstation aan onze kust.



Wanneer men de relatieve zeespiegel meet kan dit op verschillende manieren geschieden. Zo kan de hoogte van een gemiddeld zeeniveau, in plaats van met het landniveau, ook worden vergeleken met het niveau van een vast meettoestel op de zeewering, de maregraaf (WLH)



In het meetstation Oostende, dat zich bevindt ter hoogte van de ingang van het Montgomerydok, wordt met een maregraaf (A) het relatieve zeespiegelniveau gemeten. Dit gebeurt door de registratie van de hoogte van een vlotter die zich in de dempingsbuis (B) bevindt. De dempingsbuis zorgt ervoor dat de waterstanden kunnen gemeten worden zonder al te veel storende ruis van golven of voorbijvarende schepen. De geregistreeerde waterstand wordt regelmatig gecontroleerd met een meetlint (C) dat een geluidssignaal geeft bij contact met water (Vlaamse Hydrografie)

Historiek van de waterstandmetingen te Oostende

De eerste gekende tijmetingen te Oostende dateren al uit de periode 1820-1834.

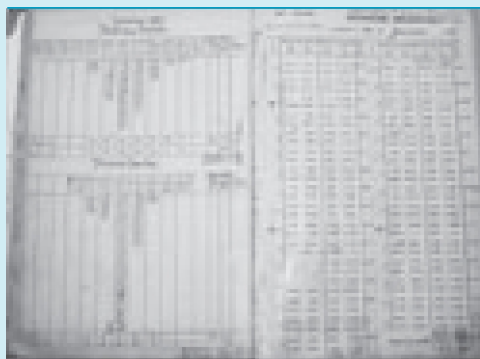
Deze metingen worden wel beschreven in oudere publicaties, maar helaas zijn er geen resultaten van bewaard gebleven. Een tweede reeks van metingen dekt de periode 1835-1852. Van deze metingen zijn enkel de maandelijksse gemiddelde standen van hoog water en laag water bewaard.

Uit deze gegevens kan met een behoorlijke nauwkeurigheid de waterstand die overeenkomt met een gemiddelde waterstand berekend worden. Tussen 1866 en 1871 werden ook getijmetingen uitgevoerd, maar ook hiervan zijn de resultaten verloren gegaan. Tot die tijd werden de waterstanden afgelezen van een getijmeetlat (zoals op foto rechts).

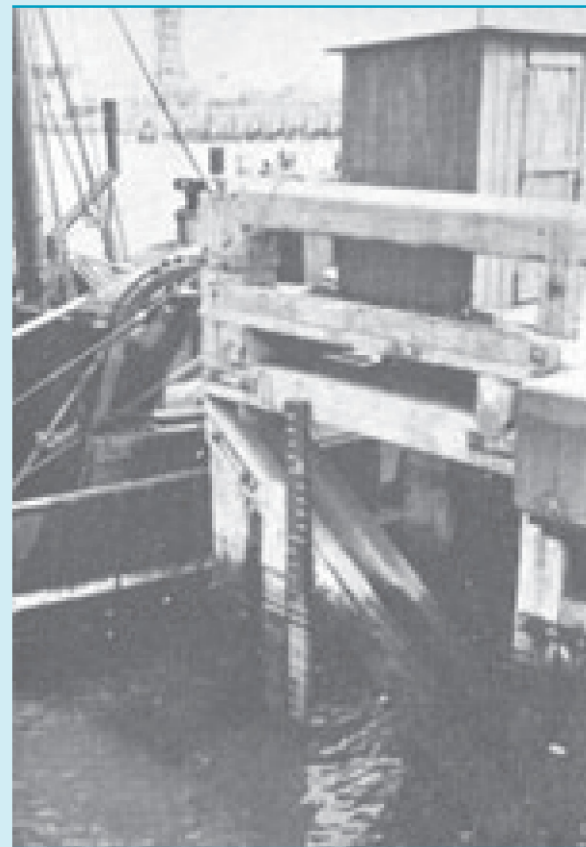
In latere metingen maakte men gebruik van een vlottergetijmeter met automatische registratie op papier. Deze methode geeft een volledige registratie van de hele getijcurve, wat betere mogelijkheden biedt voor een latere analyse en verdere berekeningen.

Een volgende periode van metingen loopt van 1878 tot 1914. Deze eerste periode van metingen met vlottergetijmeters wordt gekenmerkt door talrijke onderbrekingen. Bovendien is er geen documentatie beschikbaar waarin het verticale referentievlak dat gebruikt werd voor de metingen vermeld wordt. Door de talrijke onderbrekingen enerzijds, en het onbekende referentievlak anderzijds is het moeilijk om deze data betrouwbaar te interpreteren voor wat betreft de berekening van de gemiddelde waterstand.

De recentste metingen dekken de periode van 1925 tot 2005. Dit zijn kwalitatief de beste metingen. De continuïteit van de metingen is, op een aantal jaren na (geen data voor 1941-1943; onderbrekingen in metingen voor 1925-26 en 1940), heel goed.



In Oostende dateren de eerste waterstandmetingen uit de periode 1820-1834. Echt betrouwbare gegevens zijn pas beschikbaar sinds 1925. De illustratie toont een uittreksel uit de 'Observations marégraphiques' uit januari 1927 (Vlaamse hydrografie)



Tijmeetlat van het loodswezen met de klinknagel DH4-III. Het hok op de achtergrond beschermt een vlottergetijmeter (Tijdschrift der Openbare Werken van België, jg. 105, afl. 3, juni 1952)

Van ruwe metingen naar bruikbare eindcijfers

Voor de berekening van een gemiddelde waterstand is het van belang om over een lange reeks van meetdata te kunnen beschikken. Zeker als men trends van een gemiddelde waterstand over een langere periode wil berekenen, is een lange reeks van metingen noodzakelijk. Bovendien moeten deze metingen behoorlijk gedocumenteerd zijn. Zo is het voor de interpretatie van de resultaten van groot belang om ook het gebruikte verticale referentievlak exact te kennen. Ook de eventuele hoogtevariëaties (door compactie bodem of wegzakken landmassa) waaraan het tijstation onderhevig is moeten regelmatig door waterpassing ingemeten en indien nodig gecorrigeerd worden. Voor het opvolgen van de ligging van de tijmeter ten opzichte van het verticale referentievlak werkt de Vlaamse hydrografie sinds 1995 ook met GPS-metingen, naast de regelmatige klassieke waterpassingen. Samen met het regel-

matig nazicht en onderhoud van de getijmeters dragen deze metingen bij tot het garanderen van kwalitatief goede metingen.

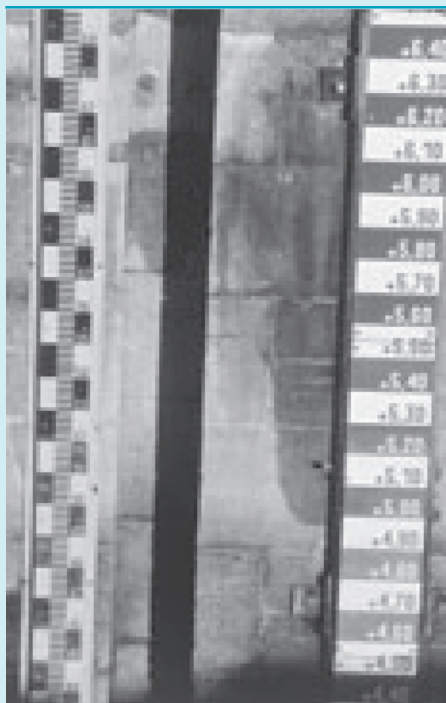
Om meerjarige trends in de evolutie van de relatieve zeespiegel te kunnen afleiden uit de maregraafmetingen is het nodig om het effect van de verschillende cyclische processen die spelen op tijdschalen kleiner dan één jaar (zoals golven, wind, atmosferedruk en tij) weg te filteren. Na filtering bekomt men een gemiddelde waarde voor de relatieve zeespiegel die representatief is voor een bepaald jaar. We lichten reeds toe hoe d.m.v. de plaatsing in havens en het gebruik van een dempingsbuis de invloed van de golven kan worden tenietgedaan. De invloed van de astronomische krachten kan dan weer worden uitgefilterd door gebruik te maken van de kennis van de getijperioden. Ingenieurs kunnen het effect van de astronomische krachten immers relatief goed benaderen als een sommatie van drie sinusoidale variaties

met periodes van 12u25m14s (hoog water - laag water cyclus), 14,765 dagen (springtij - doottij cyclus) en 27,322 dagen (elliptische baan van de maan om de aarde). Het effect van de halfjaarlijkse en de jaarlijkse astronomische cycli kan worden weggewerkt door voor elk jaar hetzelfde seizoen te beschouwen voor de berekening van een gemiddelde zeewaterstand. Het effect van schrikkeljaren om de vier jaar is verwaarloosbaar.

Het wegfilteren van het effect van de meteorologische krachten (wind, luchtdruk, golven) is het moeilijkst. De eenvoudigste aanpak hiervoor is om enkel de maregraafmetingen te beschouwen van de zomermaanden mei, juni, juli, augustus. Tijdens deze maanden is de invloed en de variatie van de meteorologische krachten beduidend kleiner dan in de overige maanden van het jaar. Daarbij veronderstelt men gemakshalve dat het gemiddelde meteorologische effect in de zomermaanden elk jaar even

TAW als 'Belgisch' vertikaal referentiepeil

Als vertikaal referentiepeil wordt op dit moment voor alle tijdmetingen langs de Belgisch kust 'TAW' (Tweede Algemene Waterpassing) gebruikt. De TAW referentiehoogte werd in 1947 vastgesteld door het Nationaal Geografisch Instituut als vertikaal referentievlak voor heel België.



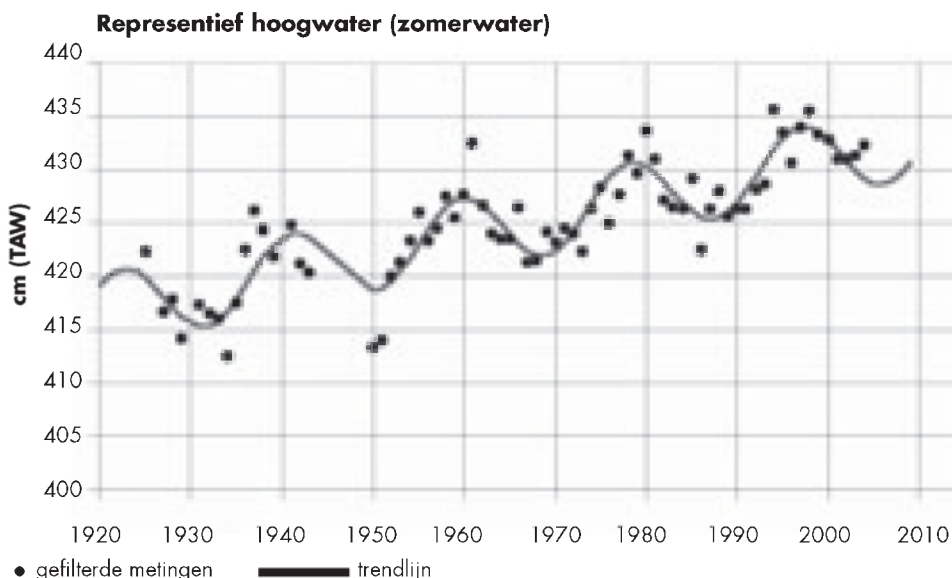
groot is. Een veel meer gesofistikeerde aanpak bestaat erin om met een hydro-meteorologisch model het effect van de weercondities op de zeewaterstand te berekenen. Dergelijke methode is tot op heden nog niet gebruikt omwille van het complexe karakter ervan.



De zeespiegelstijging aan de Belgische kust in harde cijfers: +15 cm op 85 jaar tijd

Het resultaat van een eenvoudige analyse van de maregraafgegevens te Oostende voor de periode 1925-2004 is te zien op onderstaande grafiek. Hieruit blijkt dat het relatieve zeeniveau (bij hoog water) te Oostende op 85 jaar tijd met ca. 15 cm is gestegen.

Toch is deze evolutie niet rechtlijnig. De evolutie van de jaarlijkse representatieve hoog waters voor de observatieperiode 1925-2004 bestaat immers uit een superpositie (= de 'optelling') van een gemiddelde lineaire stijging van 18 cm per eeuw en een sinusoidale schommeling met een amplitude van ongeveer 3,5 cm en een periode van 18,61 jaar (o.i.v. de Saros cyclus, die de langzame variatie van de hoek tussen aarde, zon en maan bepaalt). Het resultaat van beide is de golvende trendlijn die globaal een stijgend patroon toont. Omwille van het gelijktijdig optreden van deze twee fenomenen is het dus niet zo dat de zeespiegel (bij hoog water) elk jaar gemiddeld een beetje stijgt. Wél wissen periodes van ongeveer 9,3 jaar zeespiegelstijging af met periodes van ongeveer 9,3 jaar geringere zeespiegeldaling, met als netto resultaat wel een stijging. Gedurende stijgende jaren is de snelheid van zeespiegelstijging ongeveer 10 mm per jaar en gedurende de dalende jaren is de snelheid van zeespiegeldaling ongeveer 6 mm per jaar. Het netto resultaat is dan een stijging met een snelheid van ongeveer 2 mm per jaar.



Evolutie van de relatieve zeespiegel van 1925 tot 2004, zoals met maregraaf gemeten te Oostende. 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 sinusoidale schommeling (van 3,5 cm over een periode van 18,61 jaar) conform de Saros cyclus, d.i. de natuurlijke cyclus die de langzame variatie van de hoek tussen aarde, zon en maan stuurt (Verwaest & Verstraeten 2005)

Op de grafiek is een relatief grote onverklaarde variabiliteit van de jaarlijkse representatieve hoog waters te zien, met een standaarddeviatie van ongeveer 2 cm (de 'bolletjes' op de grafiek schommelen enkele centimeters rond de doorlopende trendlijn). Deze "ruis" is voor het grootste deel veroorzaakt door de jaarlijkse variabiliteit van de meteorologische condities, waarmee geen rekening is gehouden bij de analyse. Ten gevolge van deze overblijvende variabiliteit is het alsnog niet mogelijk om een eventueel in de laatste decaden opgetreden versnelling van de zeespiegelstijging te detecteren. Er is tot op heden geen bewijs dat de zeespiegelstijging aan de Belgische kust aan het versnellen is. Evenmin is er het bewijs van het tegendeel. Er is dus verder onderzoek nodig. Wellicht kan een meer gesofisticeerde analyse van 'hindcasting' (het reconstrueren van historische condities - het omgekeerde dus

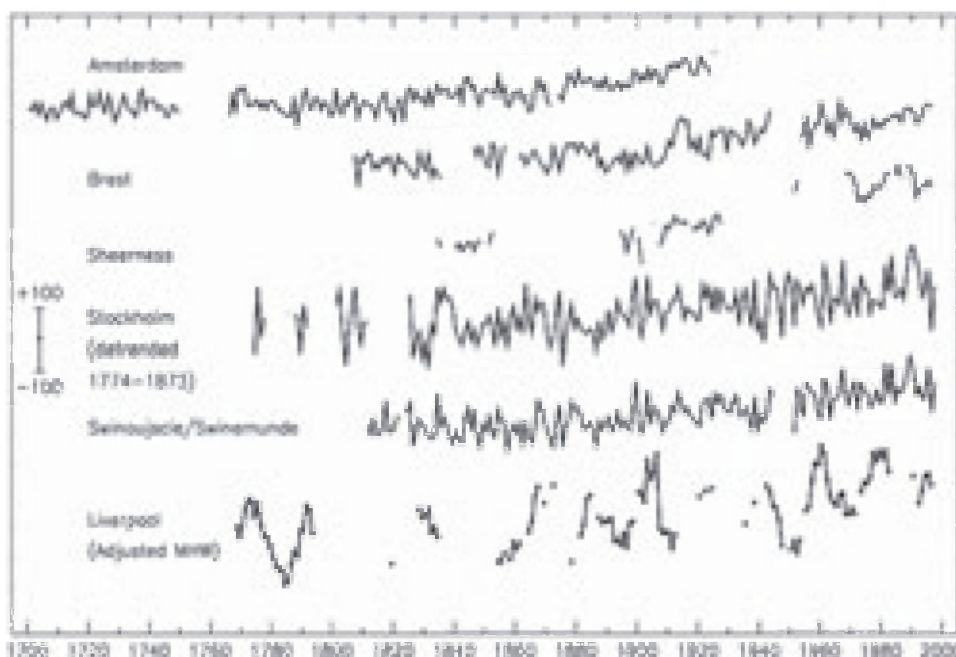
van 'forecasting' of voorspellen - a.d.h.v. modellen en gekende condities) met behulp van een hydrometeorologisch model duidelijker maken of er nu een versnelling van de zeespiegelstijging optreedt of niet.

Het 'Intergovernmental Panel on Climate Change' (IPCC afgekort; <http://www.ipcc.ch/>) heeft in kaart gebracht dat de zeespiegelstijging in de 20^{de} eeuw gemiddeld ongeveer 1 à 2 mm per jaar bedroeg. Deze vaststellingen zijn gebaseerd op wereldwijde metingen m.b.v. maregrafen en zijn dus gelijklopend met wat gevonden is voor de Belgische kust.

Voor een aantal Europese meetlocaties zijn er 300 jaar metingen beschikbaar (zie figuur). Uit analyses van deze lange meetreeksen blijkt dat er over deze volledige periode een versnelling van de zeespiegelstijging is opgetreden in de grootteorde van enkele tienden van een millimeter per jaar per eeuw (0,3 - 0,9 mm per jaar per eeuw). Zulke kleine versnelling is zeer moeilijk te detecteren. Tot op heden heeft men dan ook nog geen zwart op wit bewijzen kunnen aandragen voor een versnelling in de laatste honderd jaar.

Maar het kan ook anders: hoe geologen de geschiedenis van de zeespiegelstijging achterhalen

We vermeldde reeds dat de zeespiegel kan gemeten worden in relatie tot het achterliggende land of t.o.v. een vast meettoestel op de zeewering, maregraaf genoemd. De Quartairgeoloog daarentegen gebruikt zeespiegelindicatoren die in de ondergrond aanwezig zijn. De overgang van de laatste (Pleistocene) ijstijd naar het Holoceen (laatste 10.000 jaar) is gekenmerkt door een wereldwijde stijging van de zeespiegel ten gevolge van het smelten van de ijskappen en het thermisch uitzetten van het zeewater. Aansluitend met de stijging van het zeeniveau, verhoogde ook de grondwater-spiegel op het land, in die mate zelfs dat



Een analyse van zeeniveaumetingen op diverse Europese locaties gedurende de laatste 300 jaar, toont niet alleen een zeespiegelstijging. Er blijkt zich ook een versnelling van die stijging, a rato van enkele tienden van een millimeter per jaar per eeuw (0,3 - 0,9 mm per jaar per eeuw) te hebben voorgedaan (IPCC 2001)

zoetwatermoerassen ontstonden waarin veen accumuleerde. Dit veen wordt het basisveen genoemd. Naarmate de zeespiegel, en dus ook de grondwater-spiegel bleven stijgen, ontwikkelde het zich steeds hoger op en meer landwaarts bovenop de Pleistocene ondergrond. Dit basisveen, bedekt door Holocene afzettingen, werd in het kader van uitgebreid geologisch onderzoek in de Belgische kustvlakte d.m.v. radiokoolstof en op verschillende dieptes gedateerd. Tevens probeerde men het toenmalig zeeniveau te achterhalen door de kiezelwieren in de bodem te onderzoeken. Dit resulteerde in een zeespiegelcurve (zie hierna grafiek uit Baeteman & Declercq, 2002). Het basisveen vormt een ideale zeespiegelindicator omdat het nog steeds op zijn oorspronkelijk niveau ligt. De Pleistocene ondergrond in de westelijke kustvlakte is immers niet onderhevig aan inklinking, dit in tegenstelling met de Holocene afzettingen.

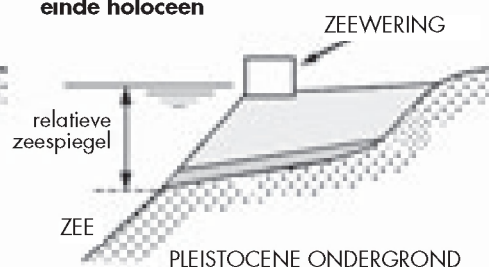
begin holoceen



midden holoceen



einde holoceen



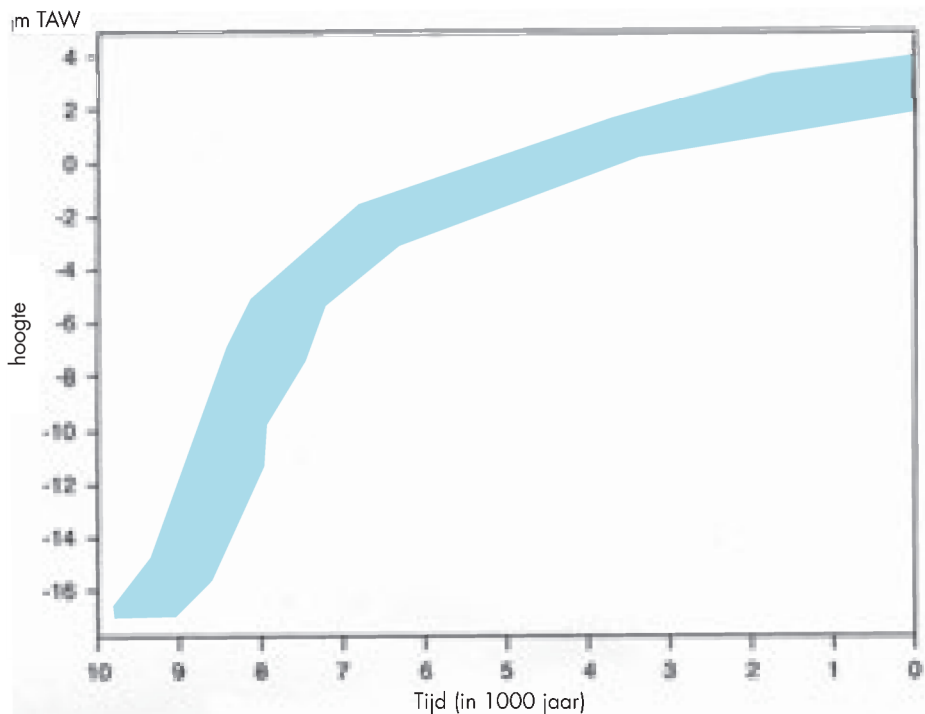
De Quartairgeoloog gebruikt zeespiegelindicatoren die in de ondergrond aanwezig zijn om een zeespiegelcurve op te stellen. Met name het basisveen vormt een ideale zeespiegelindicator omdat het nog steeds op zijn oorspronkelijk niveau ligt. Dit basisveen, bedekt door Holocene afzettingen, werd in het kader van uitgebreid geologisch onderzoek in de Belgische kustvlakte d.m.v. radiokoolstof en op verschillende dieptes gedateerd. Tevens probeerde men het toenmalig zeeniveau te achterhalen door de kiezelwieren in de bodem te onderzoeken (WVH)



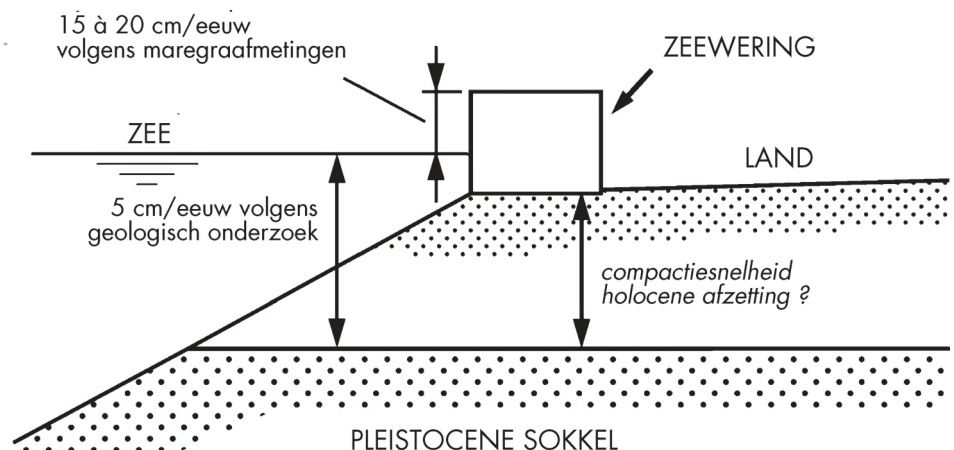
CB
Basisveen (zwarte laag) bovenop Pleistocene zandafzettingen (onderliggende laag), komt nagenoeg overal voor in de ondergrond van de Vlaamse kustvlakte. Het is een ideale zeespiegelindicator omdat het vrij stabiel op de al even stabiele Pleistocene ondergrond rust

De zeespiegelcurve toont dat de relatieve zeespiegelstijging gedurende de laatste 10.000 jaar ongeveer 20 meter bedroeg. Maar er is ook duidelijk een geleidelijke vertraging van de zeespiegelstijging vast te stellen. In de afgelopen millennia bedroeg de snelheid van de zeespiegelstijging slechts ongeveer 7 à 10 cm per eeuw, terwijl tussen 10.000 en 7.500 jaar geleden de snelheid - met ongeveer 70 cm per eeuw - veel groter was.

Volgens het IPCC zal er in de 21^{ste} eeuw - voor een gemiddeld te verwachten scenario - ten gevolge van het broeikas effect een wereldwijde versnelling van de zeespiegelstijging plaatsvinden van gemiddeld 2 mm per jaar per eeuw. Dit zou betekenen dat de huidige netto zeespiegelstijging van ongeveer 2 mm per jaar tegen het jaar 2050 geleidelijk aan zal toenemen tot ongeveer 3 mm per jaar. Dergelijke kleine versnelling is zeer moeilijk te detecteren. Wanneer de relatieve zeespiegelstijging zoals aangetoond met de maregraafdata (ongeveer 15 à 20 cm per eeuw) vergeleken wordt met de relatieve zeespiegelstijging afgeleid uit de geologie van de kustvlakte (ongeveer 7 à 10 cm per eeuw voor de jongste periode), dan blijkt er voor onze kust wel degelijk een versnelling op te



De zeespiegelcurve, zoals berekend door Quartairgeologen voor de laatste 10.000 jaar, toont een globale stijging van 20 meter. Ook is duidelijk een geleidelijke vertraging van de zeespiegelstijging vast te stellen. In de afgelopen millennia bedroeg de stijging slechts ongeveer 7 à 10 cm per eeuw, terwijl tussen 10.000 en 7.500 jaar geleden de snelheid nog ongeveer 70 cm per eeuw bedroeg (Baeteman & Declercq, 2002)



Om de geologische cijfers over de relatieve zeespiegelstijging ten opzichte van de Pleistocene ondergrond te kunnen vergelijken met de maregraafcijfers over de relatieve zeespiegelstijging ten opzichte van het huidige aardoppervlak (de top van de Holocene afzetting), dient ook de compactie van de Holocene afzettingen beschouwd te worden. Helaas zijn daarover geen eensluidende cijfers voorhanden (WLH)

treten. Maar, om de geologische cijfers over de relatieve zeespiegelstijging ten opzichte van de Pleistocene ondergrond te kunnen vergelijken met de maregraafcijfers over de relatieve zeespiegelstijging ten opzichte van het huidige aardoppervlak (de top van de Holocene afzetting), dient ook de compactie van de Holocene afzettingen beschouwd te worden, meer bepaald de compactie van de ondergrond waarop de maregrafen gefundeerd zijn (zie figuur hierboven). Helaas zijn daarover geen eensluidende cijfers voorhanden. Er blijft dus nog veel onduidelijkheid hierover. De mate waarin de relatieve zeespiegelstijging zich in de

21^{ste} eeuw zal doorzetten heeft belangrijke gevolgen voor de kustverdediging. Een relatief kleine zeespiegelstijging kan immers de risico's van schade door de zee bij storm sterk doen toenemen. Zo is berekend dat bij een zeespiegelstijging van een halve meter de risico's met een factor 10 toenemen, wat uiteraard niet toelaatbaar is. Daarom voorziet het Vlaamse Gewest in het compenseren van een stijging van de zeespiegel met een structurele verhoging en versterking van de zeewering. Dit kan best door middel van het uitvoeren van zandsuppleties op het strand en op de vooroever. Om één kilometer kust zo te beschermen

dat de overstromingsrisico's niet toemen, is er een suppletievolumen nodig in de orde van grootte van 100.000 m³ zand per 10 cm zeespiegelstijging. In een gemiddeld scenario van zeespiegelstijging (+60 cm tegen het jaar 2100) betekent dit voor onze 65 km lange kustlijn dat er in de loop van de 21^{ste} eeuw structurele verstevigingen van onze zandige kust gerealiseerd dienen te worden met een volume in de orde van grootte van 40 miljoen m³. Dit komt overeen met een gemiddelde jaarlijkse aanvoer van 400.000 m³ zand, wat equivalent is aan het laadvolume van ongeveer 40.000 vrachtwagens (zogenaamde 'dumpers') of 3 x de huidige zandsuppletietoever. Voor de verschillende scenario's van zeespiegelstijging geeft onderstaande figuur een indicatie van de benodigde suppletievolumes ter compensatie van de zeespiegelstijging in de 21^{ste} eeuw.

Eén en ander wordt nader toegelicht door de verantwoordelijke binnen de afdeling Kust in het kaderstuk 'Meegroeien met de zee'.

Hoe reageert de kust zelf op een zeespiegelstijging?

Een belangrijke vraag is in welke mate de 'zachte' zeewering door natuurlijke processen vanzelf zal aangroeien of eroderen bij een bepaalde zeespiegelstijging. Elke verandering in zeeniveau kan immers het patroon van stroming en golfinslag wijzigen, waardoor ook de afzetting of het wegspoelen van zand van op het strand evolueert. Hoe meer een natuurlijke aangroei van de vooroevers, stranden en duinen zal optreden, des te minder zal het nodig zijn om door middel van kustverdedigingsmaatregelen in te grijpen om de overstromingsrisico's niet te laten toenemen.

Europees onderzoek uitgevoerd voor de Nederlands-Duits-Deense Waddenregio, leert dat de natuurlijke aangroei van de zeewering sterk afhankelijk is van de snelheid van de zeespiegelstijging. Men kwam er tot de verrassende bevinding dat - als de zeespiegelstijging evolueert volgens het aannemelijk scenario van 25 cm stijging in de eerstvolgende 50 jaar - dit kuststelsel in de eerstvolgende vijftig jaar geen substantiële veranderingen zal ondergaan, noch morfologisch, noch ecologisch! De benodigde inspanningen voor de kustverdediging zouden dan maar met ca. 10 % toenemen. Daarentegen zouden de scenario's die momenteel waarschijnlijk worden geacht voor de laatste decaden van de 21^{ste} eeuw (namelijk 50 cm stijging in 50 jaar) wel aanleiding geven tot ingrijpende morfologische en ecologische veranderingen van het kuststelsel van

'Meegroeien met de zee'

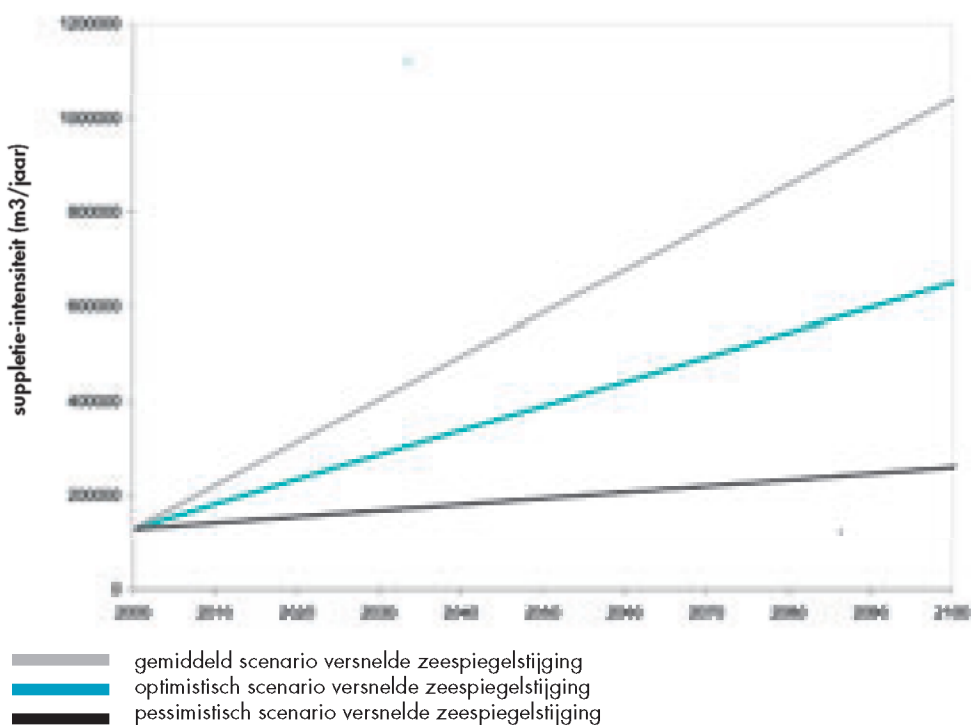
"Dat is wat we zullen doen om de stijging van de zeespiegel op te vangen. Als verantwoordelijken voor de kustverdediging houden we rekening met verschillende scenario's, al dan niet met een versnelling van de zeespiegelstijging. Zelfs in het meest pessimistische scenario van de klimaatspecialisten blijft de stijging van de zeespiegel een eerder traag proces. In het allerslechtste geval spreekt men over een stijging van bijna 1 m tegen het einde van deze eeuw. Dat zou dan een verviervoudiging betekenen van de snelheid waarmee de zeespiegel momenteel stijgt. Zelfs dergelijke sterk versnelde zeespiegelstijging zouden we kunnen compenseren door het versterken van de zeewering. Weliswaar zullen daarvoor belangrijke extra financiële middelen vrijgemaakt moeten worden".

"Ons sterkste wapen zijn de zandsuppleties. Daarmee kunnen we waar nodig de stranden en de vooroevers verhogen. Door gelijktijdig met een verhoging van de zeespiegel een verhoging te realiseren van strand en vooroever door middel van zandsuppletie, bekomen we dat de overstromingsrisico's niet toenemen. Met de techniek van de zandsuppleties hebben we in de afgelopen 10-tallen jaren al prachtige successen geboekt. Dan denk ik aan de structurele strandverhogingen die we hebben gerealiseerd over de gehele kustlengte van Knokke-Heist, in het centrum van De Haan en nu recent ook in het centrum van Oostende. Weliswaar is het nodig om deze stranden te onderhouden, maar in vergelijking met de complexiteit om constructies zoals zeedijken te beheren valt dit erg mee. Omdat er een zeer grote onzekerheid bestaat onder de klimatologen over de mate waarin we een versnelling van de zeespiegelstijging kunnen verwachten in de toekomst, hebben wij vandaag de dag een houding van "wait and see" als het gaat over het uitvoeren van zandsuppleties. Een groot voordeel van zandsuppleties is immers dat het een heel flexibele techniek is. Het verhogen en verbreden van de natuurlijke zeewering (bestaande uit onze stranden, vooroevers en duinen) is bouwkundig een eenvoudige operatie: zand aanbrengen bovenop zand. Een versterking van constructies als zeedijken daarentegen, is veel omslachtiger en dus kostelijker. Vergelijk de suppleties gerust met een nieuwbouwproject, waarvan we allen weten dat het niet noodzakelijk duurder uitvalt dan de renovatie of uitbreiding van een woning. Bovendien is het bij een structurele versterking van een zeewerende infrastructuur ingewikkelder om aan alle beperkende randvoorwaarden van inpassing in de stedenbouwkundige en ecologische omgeving te voldoen".

Interview met Peter De Wolf, celhoofd bij de afdeling Kust



Toename suppletie-intensiteit 21^{ste} eeuw ter compensatie van zeespiegelstijging



Voor de verschillende scenario's van zeespiegelstijging geeft deze figuur een indicatie van de benodigde suppletievolumes aan zand ter compensatie van de zeespiegelstijging in de 21^{ste} eeuw aan de Vlaamse kust (VLH)

de Wadden. Daarbij zou ook het benodigde budget voor de kustverdediging kunnen verdubbelen. Dit voorbeeld voor de Waddenzee toont aan dat, als de snelheid van zeespiegelstijging een zekere kritische waarde overschrijdt, dit tot een trendbreuk kan leiden in het kustbeheer.

En wat in België?

Hoe verwachten we nu dat de Vlaamse kust morfologisch zal reageren op een snellere zeespiegelstijging? De Vlaamse kust is morfologisch sterk verschillend van de Waddenkust. Men kan dan ook verwachten dat de reactie op een snellere zeespiegelstijging navenant zal verschillen. Onze zandige kust wordt gekenmerkt door een ondiepe zeebodem met

zandbanken, relatief brede vooroevers en stranden, en duinen die op vele plaatsen door menselijke ingrepen afgesneden zijn van het strand. Immers de zanduitwisseling tussen strand en (restanten van de) duinen is zo goed als onbestaande in de badplaatsen waar constructies gebouwd zijn tot tegen het strand.

Gedurende de voorbije tientallen jaren werd de morfologische evolutie van de stranden en vooroevers in detail gemonitord. De zeespiegelstijging bedroeg in deze periode gemiddeld 1,5 à 2 mm per jaar. De morfologische evolutie in deze periode was verschillend voor de westkust, de middenkust en de oostkust. De westkust (Franse grens tot Nieuwpoort) is globaal eerder stabiel: er is over het algemeen een beperkte ero-

sie van de vooroever en een beperkte aangroei van de stranden, in de orde van grootte van 1 miljoen m³ zand per decade, die elkaar vrijwel compenseren. De middenkust (Nieuwpoort tot Blankenberge) is globaal erosief: er is een gemiddelde erosie van ca. 10 miljoen m³ zand per decade. De oostkust (Zeebrugge tot Nederlandse grens) is globaal aangroeiend a rato van ca. 10 miljoen m³ zand per decade. Algemeen wordt aangenomen dat dit een gevolg is van de uitbouw van de havendammen van Zeebrugge die tot 3,5 km uitgebouwd zijn in zee.

Over wat de natuurlijke morfologische respons zal zijn van de verschillende zones aan onze kust op een versnelde zeespiegelstijging is nog weinig geweten. Het is een belangrijke onder-



AK

Over wat de natuurlijke respons zal zijn van onze kust op een versnelde zeespiegelstijging is nog weinig geweten. Met 'zachte zeeweringstechnieken' (zandsuppleties) hoopt men alvast de zee een stapje voor te blijven en het achterland te beschermen tegen hoge waterstanden. Op de foto zijn dergelijke zandopspuitingen op het strand te zien, hier ter hoogte van het zogenaamde 'noodstrand' te Oostende

zoeksvraag voor de komende jaren. Veel van deze vragen stellen zich ook internationaal. Daarom neemt België ook deel aan grensoverschrijdende projecten waarin antwoorden worden gezocht op deze vragen. Zo is er het Europees project 'SAFECoast' waarin de vraag behandeld wordt 'Hoe zullen we onze kusten langs de Noordzee beheren in 2050?' (zie kader). Wordt ongetwijfeld vervolgd!

Bronnen:

- Baeteman C., 1999. The Holocene depositional history of the IJzer palaeovalley (western Belgian coastal plain) with reference to the factors controlling the formation of intercalated peat beds. *Geologica Belgica* 2/3-4: 39-72.
- Baeteman C. & Declercq P.Y., 2002. A synthesis of early and middle Holocene coastal changes in the western Belgian lowlands. *Belgeo*, 2
- CPSL, 2001. Final report of the Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise. Wadden Sea Ecosystem No. 13. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- Denys L. & Baeteman C., 1995. Holocene evolution of relative sea level and local mean high water spring tides in Belgium - a first assessment. *Marine Geology* 124,1-19.
- Eurosense, in opdracht van AWZ-afdeling Waterwegen Kust, 1998. Studie over de versteiling van de vooroever langs de Vlaamse kust.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)).
- Van Cauwenberghe C., 1999. Relative Sea level Rise along the Belgian Coast: analyses and conclusions with respect to the high water, the mean sea level and the low water levels. *Infrastructuur in het leefmilieu* 3/99: 513-539.
- Van Ypersele J.P. & Marbaix Ph. (onder leiding van), Greenpeace, 2004. Impact van de klimaatverandering in België.
- Verwaest T. & Verstraeten J., 2005. Measurements of sea-level rise at Oostende (Belgium). In Baeteman C. (ed.), abstract book, Late Quaternary Coastal Changes: Sea Level, Sedimentary Forcing and Anthropogenic Impacts, a joint INQUA-IGCP Project 495 Conference, Dunkerque, June 28-July 2, 2005.
- Waterbouwkundig Laboratorium, 2000. Effecten van een mogelijke klimaatverandering op het zeespiegelniveau, de rivierafvoer en de frequentie van hoogwaters en stormen. Literatuurstudie.
- www.ipcc.ch
- www.safecoast.org

Toon Verwaest¹, Peter Viaene¹, Johan Verstraeten², Frank Mostaert¹

¹ afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, Berchemlei 115, 2140 Antwerpen-Borgerhout (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap)

² afdeling Kust, Vrijhavenstraat 3, 8400 Oostende (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap)

safecoast

Het project SAFECoast is dit jaar opgestart als opvolger van het COMRISK project. In COMRISK (2002-2005) bogen overheden uit de Noordzee-oeverstaten het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, België, Denemarken en Nederland, zich over gemeenschappelijke strategieën om het risico op overstromingen in laag gelegen kuststroken in te perken. 'SAFECoast' heeft als gezamenlijke missie om kennis uit te wisselen over overstromingsrisico's vanuit zee. Vanuit België zijn de afdeling Kust en de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek deelnemende partners voor het Vlaamse Gewest. In het project SAFECoast gaat speciale aandacht uit naar het anticiperen op toekomstige klimaatwijzigingen en ruimtelijke ontwikkelingen in de 21^{ste} eeuw. Hierdoor komen de laaggelegen gebieden langs de Noordzee meer onder druk te staan. Door het grensoverschrijdende karakter van het project is EU subsidie vanuit het regionale ontwikkelingsfonds toegekend. 'SAFECoast' loopt tot medio 2008.

