

KUST EN KLIMAAT

A stylized map of the Flemish coast is shown in the background. The land area is filled with a blue grid pattern, while the sea area is a solid dark blue. The coastline is depicted with white lines. The title 'KUST EN KLIMAAT' is written in large, bold, blue capital letters across the top.

Gids voor een
gebiedsgerichte
aanpak



Vlaanderen
verbeelding werkt.

KUST EN KLIMAAT

Gids voor een
gebiedsgerichte
aanpak

VOORWOORD	005
INLEIDING	013

HOOFDSTUK 1	018
-------------	-----

—
DE OPWARMING VAN DE AARDE
VERSTOORT HET
MONDIALE ECOSYSTEEM

HOOFDSTUK 2	034
-------------	-----

—
IMPACT VAN DE
KLIMAATVERANDERING

HOOFDSTUK 3	056
-------------	-----

—
ZEEWERING

HOOFDSTUK 4	086
-------------	-----

—
HET ZANDSYSTEEM

HOOFDSTUK 5	106
-------------	-----

—
HET WATERSYSTEEM
IN DE POLDERS

HOOFDSTUK 6	124
-------------	-----

—
ZOET EN ZOUT
[DROOGTE]

HOOFDSTUK 7	138
-------------	-----

—
OPLOSSINGEN VOOR
WATER, LANDBOUW
EN NATUUR

BRONNEN	153
---------	-----

VERANTWOORDING	161
----------------	-----

COLOFON	162
---------	-----

VOORWOORD

“Aan de kust vallen een aantal vraagstukken, belangrijke investeringen, onderbenutte kwaliteiten en meerdere ruimtelijke ontwikkelingen samen in één bijzonder gebied. Daarom is de kust de plek bij uitstek om het streven van het Vlaamse regeerakkoord naar een meer gebiedsgerichte, geïntegreerde en projectmatige aanpak van ruimtelijke ontwikkeling in de praktijk om te zetten. Om gebiedsgericht te werken en maatschappelijke investeringen te doen die ook op lange termijn een meerwaarde verzekeren, stemmen we projecten, studies, beleid en middelen van de verschillende sectoren op elkaar af en kaderen die in een gedeelde langetermijnvisie. Door de klimaatverandering krijgt duurzame ontwikkeling in de kustzone een extra dimensie. De klimaatverandering is een bijkomende trigger om te komen tot een gedeelde gebiedsvisie die het gehele kustsysteem grondig onder de loep neemt en bijstuurt waar nodig. Het is in het belang van elke gebiedsactor om daar, binnen zijn mogelijkheden, aan mee te werken.

Er wacht ons een belangrijke uitdaging om dit samen verder vorm te geven. De overheid neemt daarbij haar maatschappelijke rol op. Ze voorziet kaders die ervoor zorgen dat geplande investeringen en projecten – zowel privaat als publiek – het sectorale of individuele belang dienen en bijdragen tot een leefbaar, robuust, veilig en aantrekkelijk kustgebied. We hopen dat deze gezamenlijke kennisbasis inspiratie mag bieden aan iedereen die zich betrokken voelt bij ons bijzondere kustterritorium.”

“Deze gids geeft een helder overzicht van de fenomenen die zich aan de kust afspelen en dit tegen een achtergrond van een wijzigend klimaat. Het samenspel tussen zoet- en zoutwater is er een van. De zoet-zoutbalans is immers een cruciale factor van het grondwatersysteem aan de kust. Recent verwierf de VMM een goed beeld van de actuele situatie via het Europees gesubsidieerde TOPSOIL-project. We bouwen hier nu verder op voort door concreet te onderzoeken hoe we de grondwaterbeschikbaarheid in de kustzone in de toekomst veilig kunnen stellen, in het bijzonder door de gerichte infiltratie van zoetwater te verbeteren. De VMM zal hierbij actief alle stakeholders betrekken en als oplossingsgerichte partner meewerken aan een klimaatbestendige leefomgeving in Vlaanderen.”

Bernard De Potter, administrateur-generaal Vlaamse Milieumaatschappij

“De kust herbergt een aantal van de meest bijzondere en cruciale natuurlijke levensgemeenschappen en soorten. Ze vormt een schatkamer aan habitats, waarbinnen ook tal van andere functies hun weg zoeken. Deze gids brengt de verzamelde kennis van het kustsysteem helder en bevattelijk samen. Ze benoemt de uitdagingen inzake klimaatadaptatie, en dat is een belangrijke eerste stap in de richting van antwoorden. Hiermee kunnen we informeren en sensibiliseren en kunnen allianties ontstaan. Allianties tussen het brede publiek, beleidsmakers, de bedrijfswereld en relevante instituten. Deze gids heeft alles om een verbindende schakel te zijn in het landschap van expertises, ervaringen en bevoegdheden. Ze toont immers aan dat de uitdagingen ons allemaal raken en aanbelangen, en daardoor verenigen. Een echte must!”

Marleen Evenepoel, administrateur-generaal Agentschap Natuur en Bos

“De gevolgen van de klimaatverandering en van de zeespiegelstijging zullen vooral aan de kust merkbaar zijn, maar ook in de achterliggende polders. Behalve kustverdediging is het daarom belangrijk om ook de impact van klimaatverandering op de open polderruimte mee te nemen. We moeten strategieën ontwikkelen om de inrichting en het beheer van de kustpolders klimaatbestendig te houden voor zowel natuur als landbouw. Waterbeheer zal daarbij een sturende factor zijn.”

Toon Denys, gedelegeerd bestuurder Vlaamse Landmaatschappij

“De klimaatuitdaging dwingt ons om de traditionele denkkaders, die vertrekken vanuit een sectorale benadering, te herzien. De kust vormt hiervoor een uitgelezen proefgebied omdat ze veel functies vervult, omdat ze veel waarden herbergt en omdat klimaatverandering op beide een belangrijke impact zal hebben, en zeer uiteenlopende aspecten van onze samenleving zal impacteren. Oplossingen voor het omgaan met die veranderingen vergen interdisciplinair onderzoek, waarvan de fundamenteën in deze gids terug te vinden zijn. Hoe de veranderende omstandigheden impact zullen hebben op die functies, in positieve of negatieve zin, weten we nog niet en is onderdeel van verder onderzoek. Wel staat vast dat de vooralsnog gratis diensten die het kustecosysteem ons levert, hierin een centrale rol moeten spelen. Een ecosysteembeheerbenadering vanuit verschillende oogpunten dringt zich meer dan ooit op.”

Maurice Hoffmann, administrateur-generaal Instituut Natuur- en Bosonderzoek

“Als agentschap verantwoordelijk voor de beveiliging van de Vlaamse kust tegen overstromingen ijveren we met alle partners voor een geïntegreerd en duurzaam beheer van de kustzone. Kennis, expertise en krachten bundelen we graag om samen een duurzaam verschil te maken, vandaag en, nog belangrijker, in de toekomst!”

Nathalie Balcaen, administrateur-generaal Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust

“Het is de opdracht van de Vlaamse overheid om de Vlaamse kust te beschermen tegen het veranderende klimaat. Het Departement Mobiliteit en Openbare Werken neemt daarin zijn verantwoordelijkheid en onderzoekt welke maatregelen nodig zijn om de kustzone voor te bereiden op de gevolgen van een verhoogde zeespiegel. We delen daarvoor kennis en stemmen af met andere beleidsdomeinen. Deze gids is een mooie illustratie van hoe overheden de handen in elkaar slaan.”

Filip Boelaert, secretaris-generaal Departement Mobiliteit en Openbare Werken

“Landbouwers en vissers merken het heel snel als het klimaat wijzigt. Ze zijn voor hun werkzaamheden en inkomen sterk afhankelijk van het samenspel tussen de elementen. Aan de kust komen zoet en zout dan ook nog eens samen. Daarom staan landbouwers en vissers mee op de eerste rij als het gaat om samenwerking en het zoeken naar oplossingen. We werken toekomstgericht en op grote en kleine schaal. Deze gids geeft in heldere taal mee welke de uitdagingen zijn en hoe we die als beleidsmaker, professional en burger het hoofd kunnen bieden. Het lezen waard!”

Patricia De Clercq, secretaris-generaal Departement Landbouw en Visserij

“De vruchtbare polders zijn een onmisbare voedselbron voor Vlaanderen, maar ondervinden nu de eerste gevolgen van de klimaatverandering. Denk maar aan de recente droge zomers. Daarom zoeken ‘klimaatsslimme’ landbouwers naar een nieuw evenwicht: tussen watersnood en waternood, tussen zoet en zout, en tussen rendabiliteit en ecologie. Hierbij rijzen tal van vragen over de bodem, de teeltsystemen, de rassenkeuzes, de verdienmodellen en dergelijke meer. Landbouwers kunnen alvast rekenen op kennisondersteuning vanuit het Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO). Daarnaast engageert ILVO zich om in een open dialoog innovatieve adaptatiestrategieën, zowel in de polders als in de Noordzee, uit te denken. Alleen via doorgedreven samenwerking zullen we erin slagen om dit mooi stukje Vlaanderen klimaatadaptief te maken.”

Joris Relaes, administrateur-generaal Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek

“Het West-Vlaamse kustgebied staat in de frontlinie van de effecten van belangrijke klimaatgerelateerde gebeurtenissen, met consequenties voor de veiligheid. Een snel en doortastend klimaatbeleid verlaagt de effecten en de kosten van de schade door de klimaatontwrichting. Dit lukt als iedereen mee aan de kar trekt, voorbij gemeente- en provinciegrenzen, voorbij de kerntaken van onze administraties. Een gebiedsgerichte aanpak zorgt voor betrokkenheid van de bevolking. Hierop moeten we verder doelmatig inzetten, met concrete actiepunten. Het is hoog tijd voor actie.”

Carl Decaluwé, gouverneur West-Vlaanderen

“Er zal een groot volume aan nieuwe, grensverleggende wetenschap en innovatie nodig zijn om tot onderbouwde oplossingen voor de klimaatgerelateerde uitdagingen in de kustzone te komen. Daarnaast is het evenzeer noodzakelijk dat het bestaande werk van onderzoekers over de disciplines heen wordt samengebracht en wordt doorvertaald in een formaat dat de betrokken stakeholders informeert en de beleidsmakers ondersteunt. Deze gids zet alvast het stevig pakket aan excellent en multidisciplinair studiewerk over onze kust en zee in de verf. Ze vormt een solide basis om als maatschappij onderbouwde keuzes te maken om te komen tot een veerkrachtige kust die het hoofd kan bieden aan de gevolgen van de klimaatverandering, maar die evenzeer nieuwe opportuniteiten identificeert en ontwikkelingen stimuleert.”

Prof. dr. Jan Mees, directeur VLIZ-Vlaams Instituut voor de Zee

“De onvermijdelijke herijking van het ruimtelijk systeem van de kust in het kader van de klimaatverandering biedt ons tegelijk de gelegenheid om ook het oorspronkelijke ecologische DNA van onze kustgebieden, met hun duinen, slikken en schorren, in ere te herstellen en te versterken.”

Leo Van Broeck, Vlaams Bouwmeester

INLEIDING

De Vlaamse kust is van ons allemaal. We zijn er allemaal wel eens geweest en we keren steeds terug. We koesteren onze herinneringen van toen we als kind speelden op het uitgestrekte zand en sprongen over de golven. Het is een plek van rust en ontspanning, onmetelijk natuurgeweld, verkoeling en bezinning.

De kust is ons dierbaar, maar behalve emotionele waarden spelen er ook andere belangen. Het toerisme uiteraard, met zijn jaarlijkse toestroom van miljoenen toeristen uit Vlaanderen en heel Europa, is een belangrijke economische speler. Ook de havens en de industrie die ermee gepaard gaat, zijn van strategisch belang voor Vlaanderen. We mogen ook de landbouw en de visserij niet vergeten. De landbouw benut de vruchtbare poldergronden achter de zeewering en de visserij is een bron van lokale delicatessen. *Last but not least* is de kust ook gekend voor haar unieke polderlandschappen en haar zeldzame en waardevolle natuur.

Maar dit kustgebied – die 66 kilometer lange strook die zich uitstrekt van de waterlijn tot de polders – is ook een precair gebied. Het laagst gelegen gebied van Vlaanderen, de plek waar land en zee elkaar raken, is meteen ook het gebied dat wellicht het meest kwetsbaar is voor de klimaatverandering. De klimaatverandering zal zich hier het eerst en het hardst laten voelen.

In deze gids schetsen we de gevolgen die we in de loop van deze eeuw mogen verwachten van de klimaatverandering. En die zijn niet min. Er is de stijging van de zeespiegel waartegen we ons zullen moeten wapenen. Maar dat is niet het enige probleem. De klimaatmodellen voorspellen een toename van de neerslag, vooral in de wintermaanden, en een regenwatertekort in de zomermaanden. De gevolgen zijn een verhoogde kans op overstromingen van de laaggelegen polders – de zogenaamde ‘badkuip’ – achter de zeewering, maar ook een toename van lange periodes van droogte, met alle problemen van dien voor landbouw, drinkwatervoorziening, toerisme en industrie. Aan de kust speelt bovendien nog een heel specifiek probleem dat we elders in Vlaanderen nauwelijks kennen, namelijk de verzilting van de bodem en het oppervlaktewater.

Deze gids blijft niet hangen bij de diagnose. We willen geen verlamdend doemscenario uittekenen. Daar gaat immers weinig mobiliserende kracht van uit. Dat wil niet zeggen dat we de zaken verbloemen. Integendeel. De situatie is ernstig, maar er zijn mogelijkheden en scenario's om ermee om te gaan. Wij geloven dat de sleutel om de kust te wapenen tegen de gevolgen van de klimaatverandering ligt in een *gebiedsgerichte en geïntegreerde aanpak*. Dat vereist samenwerking. Samenwerking tussen de verschillende sectoren en disciplines, tussen overheidsdiensten onderling en tussen ‘hogere’ en ‘lagere’ overheden.

Bij het maken van deze gids hebben we ons een belangrijke beperking opgelegd. Dit boekje gaat niet zozeer over *mitigatie*, namelijk het terugdringen van de oorzaken van de klimaatverandering. De recepten om dit te doen zijn veelvoudig en grotendeels gekend, maar niet specifiek voor de Vlaamse kust. Het gaat dan om minder CO₂ of andere broeikasgassen uitstoten, minder energie verbruiken (bijvoorbeeld door compacter te bouwen en beter te isoleren) en meer hernieuwbare energie produceren. Het gaat ook om andere maatregelen, zoals een verandering in de ruimtelijke ordening, het versterken van open ruimte, bossen en groen, werk maken van duurzame mobiliteit en circulaire economie of een transitie van de landbouw. Al die zaken behandelen we hier niet. Dit boekje gaat wel over *klimaatadaptatie*: hoe gaan we om met de gevolgen van de klimaatverandering? Hoe kunnen we ons voorbereiden op een stijgende zeespiegel, langere periodes van droogte, hevigere neerslag, overstromingen, hittestress, verzilting van de bodem, enzovoort? Hier is de situatie aan de kust wél specifiek.

Klimaatverandering is niet de enige uitdaging die speelt aan de kust. Ook andere maatschappelijke ontwikkelingen vragen de aandacht, zoals de vergrijzing en andere sociaal-demografische evoluties, ecologische uitdagingen, of de transitie in mobiliteit, transport en industrie. Maar de klimaatverandering en de geïntegreerde aanpak die ze vereist, kan wel een kans zijn om ook die andere uitdagingen meteen mee in het vizier te nemen. De ruimtelijke transformatie die noodzakelijk is om het kustgebied weerbaar te maken tegen

de gevolgen van de klimaatverandering vormt een opportuniteit om voor de gehele kustzone een gedeelde ontwikkelingsstrategie uit te werken. Een doordacht veerkrachtig systeem voor de kustzone kan in staat zijn om met sociale, economische en ecologische veranderingen om te gaan.

Het pleidooi voor een geïntegreerde en gebiedsgerichte aanpak is, zoals gezegd, meteen ook een pleidooi voor samenwerking tussen de sectoren en over de schotten heen: tussen natuur, landbouw, mobiliteit, openbare werken, stedenbeleid, sociaal beleid, enzovoort. Zo'n samenwerking vereist natuurlijk dat iedereen dezelfde taal spreekt. Met dit boekje willen we hieraan een bijdrage leveren. We hebben immers geconstateerd dat er de voorbije jaren heel wat kennis over kust en klimaatverandering is ontwikkeld. Maar die kennis ligt verspreid bij verschillende overheidsdiensten en bij de verschillende vakgroepen van de Vlaamse universiteiten. Deze gids is dan ook tot stand gekomen op basis van de input van experts uit de meest uiteenlopende vakgebieden en uit verschillende diensten van Vlaamse en provinciale overheden. Met deze gids willen we de kennis die vandaag voorhanden is op een overzichtelijke en werkbare manier samenbrengen en ontsluiten voor een brede doelgroep. Iedereen die nu of in de toekomst betrokken is bij een of meerdere initiatieven in de kustzone kan gebruikmaken van deze gids. De kustzone is een uniek en samenhangend landschap dat onze gezamenlijke inzet meer dan waard is.

HOOFDSTUK 1

DE OPWARMING VAN DE AARDE VERSTOORT HET MONDIALE ECOSYSTEEM

Het klimaat verandert. De aarde warmt op. Wereldwijd is de gemiddelde temperatuur sinds de industriële revolutie gestegen met 1°C. De temperatuur zal deze eeuw verder blijven stijgen. Volgens de meest optimistische scenario's stijgt de temperatuur tegen 2100 met 1,5 à 2°C ten opzichte van de periode 1850-1899. Volgens de meest pessimistische scenario's zelfs met 4°C of meer. Wetenschappers zijn het erover eens: de klimaatverandering is vooral het gevolg van menselijke activiteit. Grote boosdoener is de uitstoot van broeikasgassen, en dan vooral van CO₂, dat vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen.

Het klimaat verandert aan een razendsnel tempo

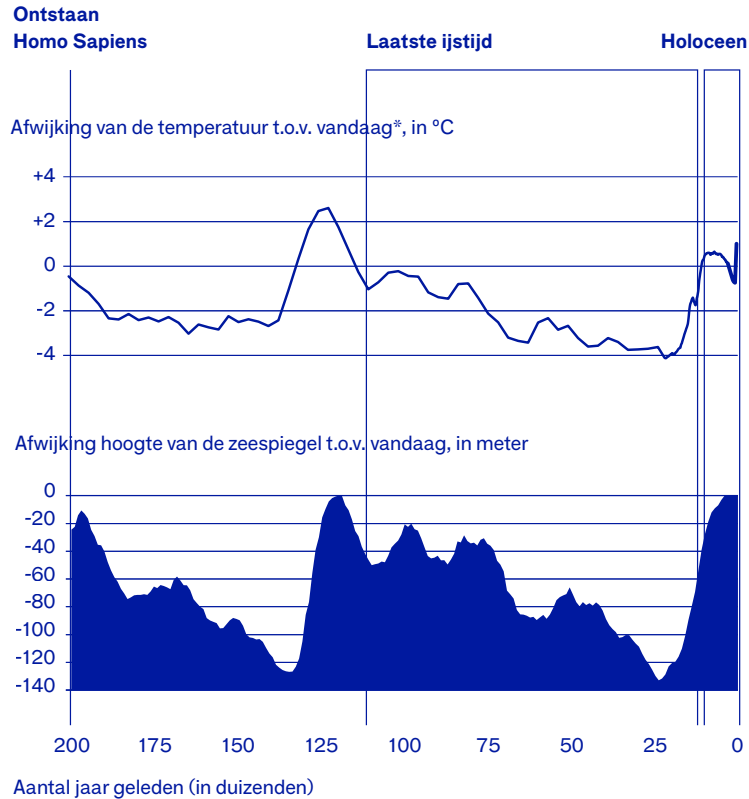
Een graadje meer of minder lijkt op het eerste gezicht niet zo dramatisch veel. Toch hebben temperatuurveranderingen van slechts enkele graden een grote impact op het mondiale ecosysteem. Om een idee te geven: aan het einde van de laatste ijstijd, ongeveer 20.000 jaar geleden, lag de gemiddelde temperatuur 4°C lager dan vandaag en zag de wereld er helemaal anders uit. Een dikke laag ijs bedekte een flink deel van Europa en Noord-Amerika. De zeespiegel lag 120 meter lager dan vandaag. Ook fauna en flora zagen er anders uit. In Europa leefden mammoeten, reuzenherten en wolharige neushoorns.

Zo'n 11.700 jaar geleden begon een warmere tussenijstijd, het huidige interglaciaal. Het klimaat bleef duizenden jaren lang min of meer stabiel. In die periode gaf de mens zijn nomadisch bestaan op en ging aan landbouw doen. Tijdens het warmere interglaciaal smolten grote delen van de ijskappen. De zeespiegel steeg overal ter wereld, waardoor in West-Europa onder andere de Noordzee haar huidige vorm kreeg.

De mondiale temperatuur bleef lange tijd min of meer stabiel, om vanaf ongeveer het begin van de 20ste eeuw plots te beginnen stijgen. Die stijging is zowel in omvang als in snelheid ongewoon, en overtreft ruimschoots de natuurlijke temperatuurschommelingen van de voorbije duizend jaar. De verwachte impact is dan ook heel erg groot. Als de mens aan het huidige tempo broeikasgassen blijft uitstoten, kan de aarde met 4°C of meer opwarmen tegen 2100, en zijn de gevolgen ongezien. De wereld zal er helemaal anders uitzien dan vandaag. Daarom hebben beleidsverantwoordelijken wereldwijd in het klimaatakkoord van Parijs beslist om de temperatuurstijging binnen de perken van 2°C te houden, met de ambitie om deze te beperken tot 1,5°C.

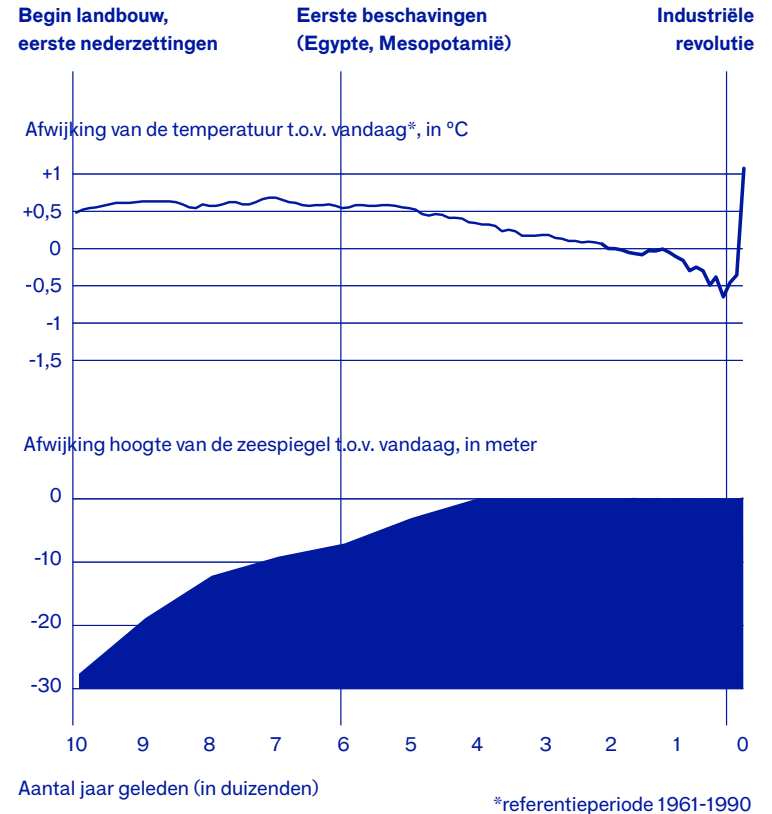
Pleistoceen

De voorbije 200.000 jaar lijkt de aarde geologisch op de huidige situatie. Er is een duidelijke relatie tussen temperatuur en zeespiegel



Holoceen

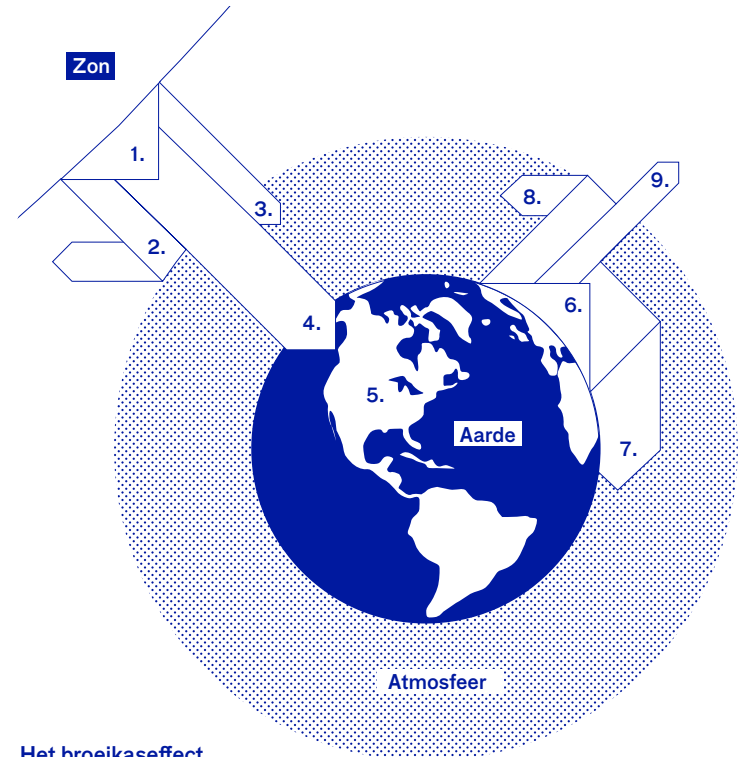
10.000 jaar lang is het klimaat min of meer stabiel gebleven. In die periode begint de mens aan landbouw te doen. Vanaf de industriële revolutie neemt de broeikasgasconcentratie in omgevingslucht toe en daardoor ook de temperatuur



Het broeikaseffect is een natuurlijk verschijnsel

Het klimaat op onze planeet is het resultaat van een natuurlijk evenwicht tussen 'invallende' en 'uitgaande' zonne-energie. De zon straalt ons haar energie door in de vorm van onder meer licht en warmte. De dampkring en het aardoppervlak weerkaatsen een gedeelte van die energie onmiddellijk terug de ruimte in. De aarde slurpt het overige deel van die energie op en straalt die energie opnieuw uit onder de vorm van warmte. Een deel van de uitgezonden straling verlaat de dampkring, maar bepaalde broeikasgassen die van nature in de atmosfeer aanwezig zijn – zoals bijvoorbeeld H_2O (waterdamp) of CO_2 (koolstofdioxide, dat ontstaat door de afbraak van organisch materiaal) – absorberen een deel van de infraroodstraling. Hierdoor warmt de atmosfeer op. De broeikasgassen werken zoals de ruiten van een serre, die wel het zonlicht doorlaten maar de warmte grotendeels binnenhouden. Dit verschijnsel kunnen we ook aan den lijve ondervinden. Wanneer er 's nachts een wolkendeck over de aarde ligt, koelt de aarde veel minder af dan bij een heldere hemel. De koudste winternachten zijn die nachten met een heldere sterrenhemel.

Het broeikaseffect is op zich een natuurlijk en erg welkom verschijnsel, want anders zou de gemiddelde temperatuur op het aardoppervlak ongeveer 33°C lager liggen dan nu het geval is (-18°C in plaats van het huidige +15°C). De atmosfeer rond onze planeet beschermt het leven al miljoenen jaren tegen al te extreme temperaturen.



Het broeikaseffect

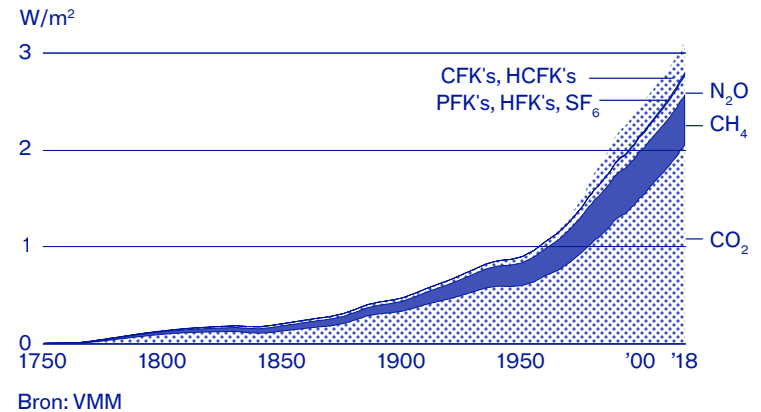
1. Invallende zonnestralen
2. Weerkaatsing van een deel van de stralen door de atmosfeer en de wolken
3. Absorptie van zonnestralen, wat de atmosfeer gedeeltelijk opwarmt
4. Stralen die het aardoppervlak bereiken
5. De aarde absorbeert de stralen, warmt zelf op en geeft op haar beurt infrarode straling af
6. Die infraroodstralen worden opgenomen door de broeikasgassen
7. Een deel van die stralen wordt door de broeikasgassen weerkaatst en...
8. ... door hogere lagen van de atmosfeer geabsorbeerd
9. De rest verdwijnt in de ruimte

Opvallende stijging van broeikasgassen sinds de industriële revolutie

Sinds de industriële revolutie – ongeveer vanaf 1750 – heeft de mens een steeds grotere behoefte aan energie. Het overgrote deel daarvan wekken we op door de verbranding van fossiele brandstoffen zoals bruinkool, steenkool, aardolie of gas. Hierdoor zijn grote, bijkomende hoeveelheden CO_2 in de atmosfeer terecht gekomen. Die uitstoot versterkt het natuurlijke broeikaseffect en verstoort het evenwicht. Alhoewel de atmosferische CO_2 -concentraties de voorbije honderdduizenden jaren sterk fluctueerden, is de stijging sinds 1750 opvallend: van 278 ppm naar waarden tot meer dan 407 ppm (*parts per million*).

Behalve CO_2 , dat verantwoordelijk is voor 66% van het broeikaseffect, spelen ook andere broeikasgassen een belangrijke rol. Methaangas (CH_4) ontstaat bij de ontbinding van plantaardig materiaal in vochtige gebieden zoals moerassen, en bij de darmgisting van herkauwers. De concentratie van methaan is sinds 1750 met 159% gestegen van 722 naar 1869 ppb (*parts per billion*) in 2018 en is verantwoordelijk voor ongeveer 17% van het broeikaseffect. Ook lachgas (N_2O) en een aantal industriële gassen zoals gefluoreerde koolwaterstoffen (CFK's, HCFK's, HFK's, PFK's), zwavelhexafluoride (SF_6) of stikstoftrifluoride (NF_3) hebben een niet te verwaarlozen aandeel in het broeikaseffect.

Opwarmend vermogen (stralingsforcering in W/m^2) van broeikasgassen in de atmosfeer



Hoe warm wordt het op aarde?

Hoe sterk de aarde in de toekomst precies zal opwarmen weten we niet. Veel hangt af van het mondiale beleid, en dan vooral van de ambities en de mogelijkheden om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen of zelfs helemaal te bannen. Daarnaast zijn er nog veel andere onbekende factoren, zoals de mate van technologische innovatie (voor bijvoorbeeld het omschakelen naar hernieuwbare energie of zelfs het onttrekken van CO₂ uit de atmosfeer), de wereldwijde bevolkingsgroei en de economische groei. Nog een andere, onbekende factor is in hoeverre de natuurlijke buffersystemen van de aarde een rol kunnen blijven spelen.

Die vele onzekerheden in gedachten, brachten de wetenschappers van het klimaatpanel van de Verenigde Naties (het *Intergovernmental Panel on Climate Change* of het IPCC)* ertoe om vier verschillende klimaatscenario's uit te rekenen, de zogenaamde *Representatieve Concentratiepaden* of RCP's. De scenario's bestrijken vier mogelijke trajecten voor de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer tot het jaar 2100. De RCP's variëren van een forse reductie (RCP 2.6) tot een scenario van aanhoudende toename van de uitstoot (RCP 8.5) en alles wat daartussen zit.

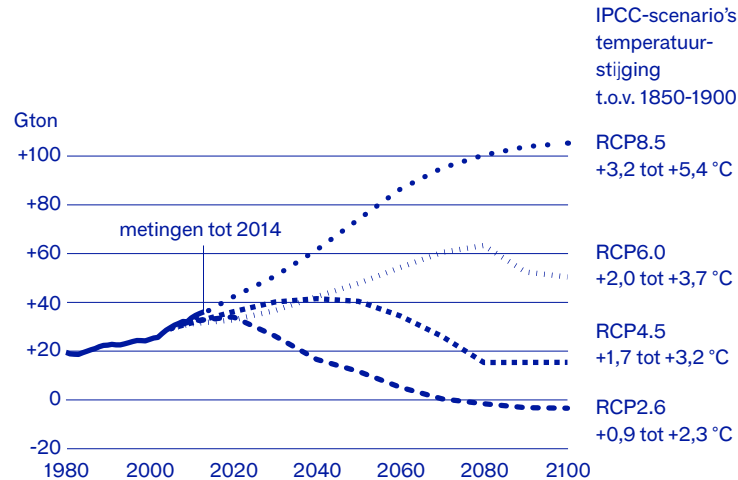
Het meest ambitieuze scenario (RCP 2.6) is het enige scenario waarmee de wereldwijde opwarming onder de 2°C kan worden gehouden. Daarvoor is op heel korte termijn een aanzienlijke verlaging van de uitstoot van broeikasgassen nodig: tegen 2050 zouden we 40 tot 70% minder mogen uitstoten

dan in 2010, om vanaf 2070 te komen tot een uitstoot gelijk aan nul. Dit scenario gaat uit van een gematigde groei van de wereldbevolking tot ongeveer negen miljard in 2100. Aan het andere uiterste staat het *business-as-usual*-scenario zonder doortastend klimaatbeleid (RCP8.5). In dit scenario blijft de uitstoot stijgen, groeit de wereldbevolking aan tot ongeveer twaalf miljard in 2100 en is er een lage technologische ontwikkeling.

Op basis van de huidige wetenschappelijke kennis is er een hoge waarschijnlijkheid (95%) dat de opwarming van de aarde zich de komende honderd jaar binnen de bandbreedte van de vier RCP's bevindt. Maar wanneer we de meest recente data van de mondiale uitstoot van broeikasgassen vergelijken met RCP-scenario's uit 2014, blijkt de uitstootcurve bijna naadloos aan te sluiten bij het meest pessimistische scenario (RCP8.5). Dat wil zeggen dat de waarschijnlijkheid steeds groter wordt dat we afstevenen op een opwarming van 3,2 tot 5,4°C tegen 2100.

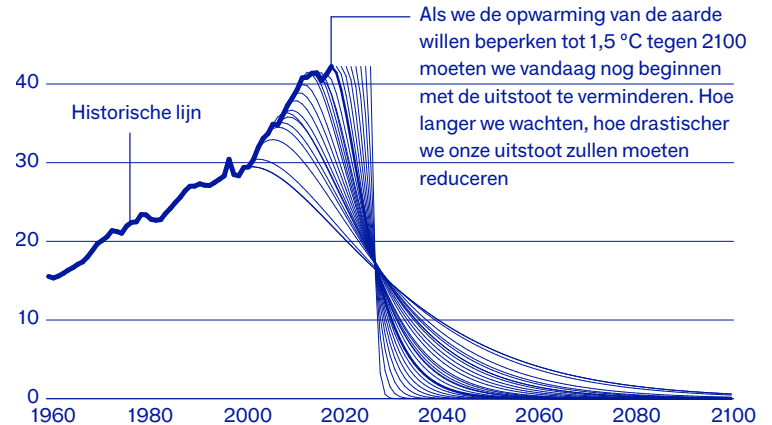
Mogelijke scenario's voor de opwarming van de aarde

Mondiale CO₂-emissie door gebruik van fossiele brandstoffen, in Gton



Benodigde vermindering van CO₂-uitstoot

In Gton CO₂ in de atmosfeer



* Wat is het IPCC?

Het *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) werd in 1988 opgericht door de Verenigde Naties als een onafhankelijk orgaan met als opdracht periodiek de wetenschappelijke kennis te evalueren met betrekking tot de klimaatverandering. De rapporten van het IPCC vormden de basis voor verschillende internationale afspraken zoals het Klimaatverdrag van de wereldmilieutop in Rio de Janeiro (Brazilië, 1992) en het protocol van Kyoto (1997), dat voor het eerst bindende verplichtingen oplegt voor de reductie van broeikasgassen. In 2001 volgde een derde en in 2007 een vierde evaluatierapport. De RCP-scenario's liggen aan de basis van het nieuwste, vijfde IPCC-rapport, dat verscheen in 2013 en 2014 (Fifth Assessment Report of kortweg AR5). Dit rapport geldt tot op vandaag als de wetenschappelijke referentie over klimaatverandering.

HOOFDSTUK 2

IMPACT VAN DE KLIMAAT- VERANDERING

De gevolgen van de klimaatverandering zijn vandaag al duidelijk meetbaar, ook in ons land. Sinds het begin der metingen in de eerste helft van de 19de eeuw tonen de statistieken significante verschuivingen in onder meer temperatuur, hoeveelheid neerslag en zeeniveau. De klimaatmodellen waarschuwen Vlaanderen voor verhoogde risico's op hittegolven en overstromingen, een toenemende droogte en ingrijpende veranderingen van onze ecosystemen.

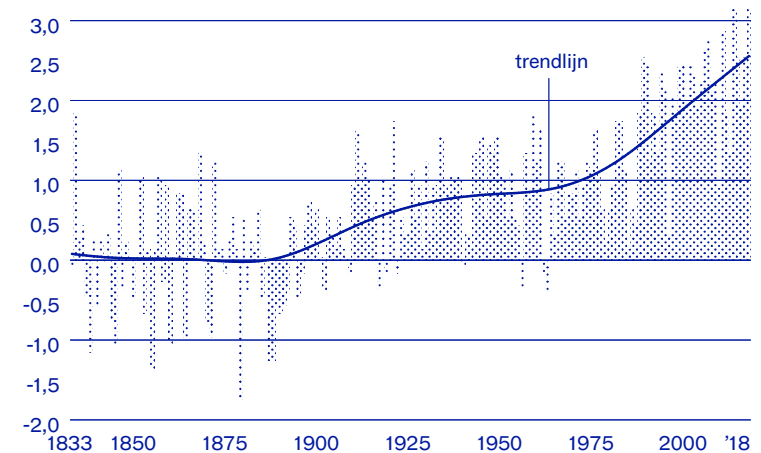
TEMPERATUUR

Stijging van de gemiddelde jaartemperatuur

De gemiddelde mondiale jaartemperatuur is sinds de industriële revolutie gestegen met 1°C. Maar de temperatuur stijgt niet overal op aarde even snel. Boven land is de stijging sterker dan boven de oceanen. Het noordelijk halfrond lijkt sneller op te warmen dan het zuidelijk halfrond. Ook de temperatuur in België – gemeten in Ukkel – neemt sterker toe dan het Europese gemiddelde. Sinds het begin van de metingen in 1833 is de gemiddelde temperatuur in Ukkel gestegen met bijna 2,5°C. Dat is niet enkel te wijten aan een versterkt broeikaseffect: ongeveer een kwart van die toename is gerelateerd aan de toenemende verstedelijking rond Ukkel en het bijbehorende *hitte-eilandeffect*.

Steeds warmer in België

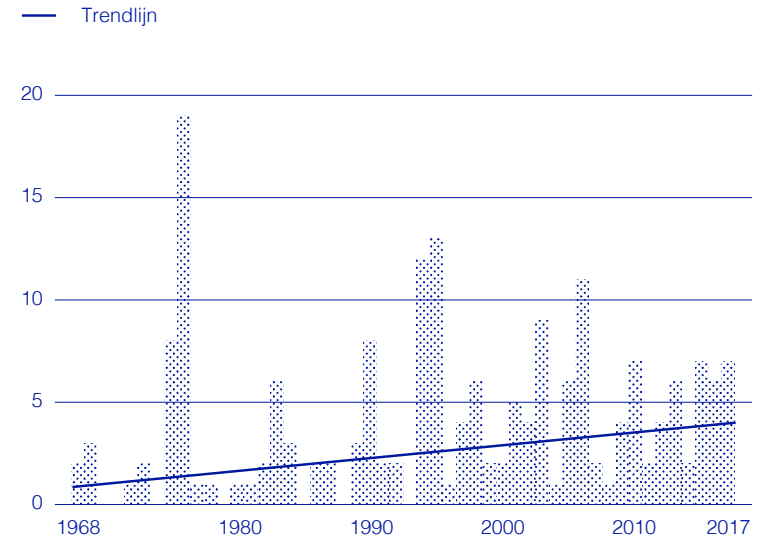
Jaargemiddelde temperatuur in Ukkel, in °C, afwijking van de referentieperiode 1850-1899



Meer extreem warme en tropische dagen

In ons land waren de zomers van 2003, 2018 en 2019 de warmste ooit. *Hittegolven* komen steeds vaker voor en ze duren ook langer. Sinds de jaren 1970 is de gemiddelde lengte van hittegolven verdubbeld en pieken de temperaturen op zulke dagen steeds hoger. Als die trendlijn zich voortzet zal Vlaanderen in de toekomst steeds vaker kreunen onder hittegolven. Periodes van extreme koude komen daarentegen steeds minder voor.

Aantal tropische dagen* in Ukkel



*maximumtemperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$

Het stedelijk hitte-eilandeffect

Vooral in steden staan mensen bloot aan hittestress. Steden zijn *hitte-eilanden*. Het wordt er veel warmer dan in de omliggende, landelijke gebieden. Beton, asfalt en stenen houden de warmte vast. Door de bebouwing is er minder wind. En door de geringe aanwezigheid van vegetatie en waterpartijen is er een verminderde koeling door de verdamping of *evapotranspiratie* van water. Vooral tijdens de nacht loopt het temperatuurverschil met landelijke gebieden erg op.

Mogelijke recepten om het hitte-eilandeffect te temperen zijn: zorgen voor minder verharding, meer groen, meer wind en meer (stromend) water in de stad. In de steden aan de kust is, dankzij de milderende werking van de zee, het hitte-eilandeffect minder sterk. Maar ook hier is hittestress in de toekomst niet langer uit te sluiten.

NEERSLAG EN EVAPOTRANSPIRATIE

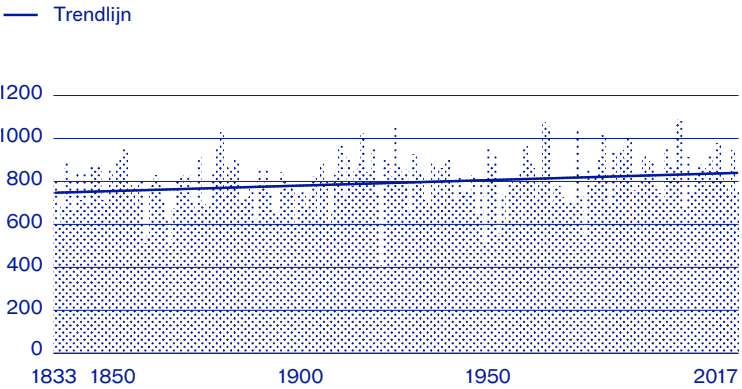
Nattere winters, drogere zomers

De temperatuurstijging heeft een impact op de hoeveelheid en intensiteit van de neerslag. Warmere lucht kan immers meer waterdamp bevatten. De impact verschilt sterk van continent tot continent en van land tot land. In Noord- en Centraal-Europa regent het steeds vaker en harder. Het RCP8.5-scenario voorspelt er een neerslagtoename van 30% tegen 2100. Het zuiden van Europa daarentegen krijgt af te rekenen met meer en langere periodes van droogte. De neerslag zal er, althans volgens hetzelfde scenario, afnemen met maar liefst 40% tegen 2100.

België en Vlaanderen liggen in een tussenzone. Weliswaar wijzen de metingen sinds 1833 op een lichte toename van de jaarlijkse neerslag met 5 mm per decennium, maar kunnen we de komende decennia vooral een *vernatting in de winter* en een *verdroging in de zomer* verwachten. De klimaatmodellen voor ons land geven aan dat (over een periode van 100 jaar) een toename van de hoeveelheid winterneerslag kan plaatsvinden met 29% en een afname in de zomerneerslag met 38%. Uit de statistieken blijkt dat de toename van de winterneerslag niet alleen te maken heeft met een stijging van het aantal regendagen, maar ook en vooral te wijten is aan een toename van de dagelijkse hoeveelheid neerslag. In de winter zal het niet alleen vaker maar ook harder regenen.

In de zomermaanden neemt het aantal natte dagen af, maar stijgt de neerslagintensiteit. Het regent minder vaak, maar we hebben steeds vaker te maken met korte maar intense onweersbuien. Zomeronweders met zware neerslag (minstens 20 mm/dag) zijn bijna verdubbeld ten opzichte van de jaren 1950.

Er valt steeds meer neerslag
Jaarlijkse neerslag in Ukkel, in mm



Drogere zomers, nattere winters

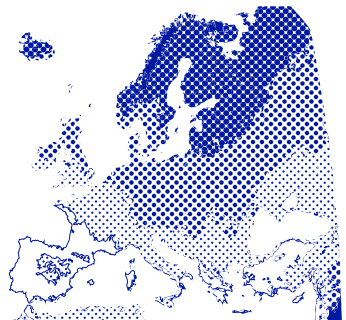
Toe- en afname van neerslag over honderd jaar ten opzichte van nu*



Neerslag gedurende het gehele jaar



Neerslag gedurende de zomer



*referentieperiodes 1971-2000 en 2071-2100

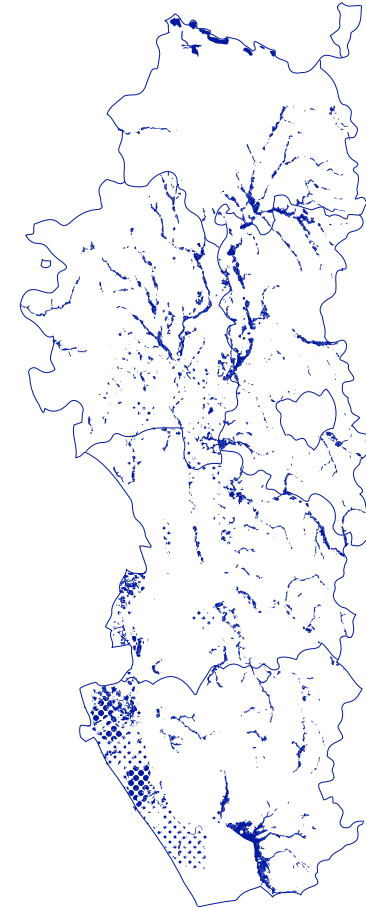
Verhoogd risico op overstromingen

Door de wijzigingen in de hoeveelheid en de intensiteit van de neerslag zullen er vaker overstromingen voorkomen, ook op plaatsen die tot nog toe niet overstroonden. Er worden hogere overstromingspeilen en dus meer schade verwacht. In Vlaanderen is het risico op overstromingen nog eens extra groot omwille van onze ruimtelijke ordening. In het dichtbebouwde Vlaanderen zijn grote oppervlakken verhard (momenteel is ongeveer 14% van het Vlaamse grondgebied verhard). Daardoor kan het water niet overal voldoende in de bodem sijpelen, en komt het vaak, via rioleringen, in het oppervlaktewatersysteem terecht.

Overstromingen kunnen grote materiële schade aanrichten aan gebouwen en infrastructuur, maar ook aan het milieu. Wanneer rioleringssystemen overbelast geraken, moet het overtollige en ongezuiverde water overstort worden in het oppervlaktewatersysteem (rivieren en kanalen).

De laaggelegen polders in het kustgebied zijn extra gevoelig voor overstromingen. Aan de kust heerst bovendien een dubbel overstromingsgevaar: het kustgebied moet zowel het overtollige regenwater van het achterland verwerken (zie Hoofdstuk 6), als zich wapenen tegen een stijgende zeespiegel (zie Hoofdstuk 3).

Kans op overstroming



Stijging van de evapotranspiratie

Als het regent, sijpelt een deel van het regenwater in de bodem, een ander deel vloeit af naar rioleringen, sloten en rivieren, nog een ander deel verdampt en nog een ander deel wordt opgenomen door planten, die het op hun beurt 'uitzweeten'. De *evapotranspiratie* is de som van de *evaporatie* of de verdamping van water in en op de bodem of van het oppervlak van het plantendek en de *transpiratie* door planten. Het omvat alle neerslag die terug in de atmosfeer terechtkomt. De evapotranspiratie is sterk afhankelijk van de aard van de ondergrond en de aard van de begroeiing. In een verstedelijkt gebied zal het regenwater snel wegvloeien in de rioleringen en is de verdamping geringer.

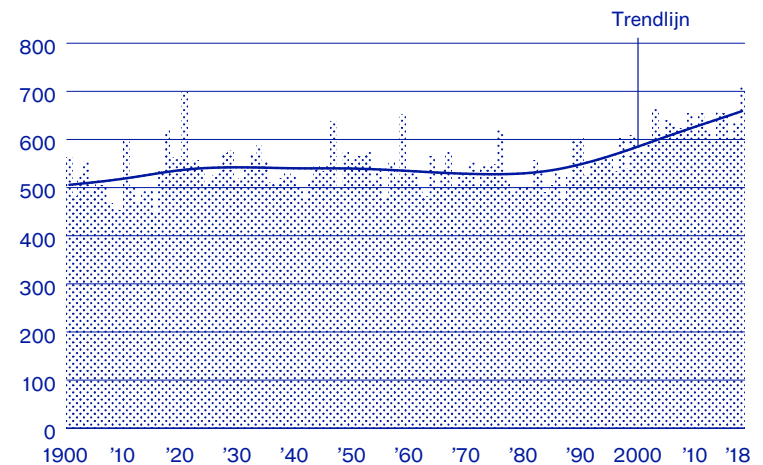
Niet toevallig houdt de evapotranspiratie gelijke tred met de temperatuurstijging. Hoe warmer, hoe sneller water verdampt. De *potentiële evapotranspiratie** ligt inmiddels een kwart hoger dan eind jaren 1970, en zal naar verwachting ook de komende decennia blijven stijgen. Een hoge evapotranspiratie tijdens de zomermaanden kan leiden tot lage laagwaterdebieten in rivieren en kanalen, een droge bodem en hittestress bij planten, dieren en mensen.

* Potentiële evapotranspiratie (PET)

Omdat de evapotranspiratie sterk verschilt van plek tot plek, spreekt men van de *potentiële evapotranspiratie* (PET, uitgedrukt in mm neerslag per jaar). Dat is de maximaal mogelijke evapotranspiratie die optreedt indien er steeds voldoende water beschikbaar zou zijn aan de oppervlakte of in de bodem. Indien dit laatste niet het geval is, zoals tijdens droge zomerperiodes, is de werkelijk optredende evapotranspiratie lager dan de potentiële.

Meer verdamping door de stijging van de temperatuur

Potentiële evapotranspiratie in Ukkel, in mm



Toenemende problemen van droogte

De afname van de zomerneerslag, gecombineerd met een verhoging van de evapotranspiratie of de verdamping van water, kan leiden tot een verhoogd risico op droogte. Europa en ook Vlaanderen werden de afgelopen decennia geteisterd door meerdere lange droogteperiodes, zoals tijdens de hittegolven van 2003, 2018 en 2019. In Vlaanderen zien we nu al dat in de zomer minder water in de rivieren staat. Langdurige droogte heeft ook een impact op de grondwatertafel en de drinkwatervoorziening. Nu al dreigt in de zomer op veel plaatsen in Vlaanderen een watertekort, zoals het geval was in de zomers van 2018 en 2019. Vooral landbouw en natuur zijn hier slachtoffers van.

In het kustgebied is de droogteproblematiek nog complexer. Door een tekort aan zoetwater in de polders kwelt het zoutwater in de ondergrond naar boven, zodat het in het oppervlaktewater terecht komt. De droogte- en verziltingsproblematiek zijn in de polders sterk met elkaar verbonden (zie Hoofdstukken 6 en 7).

WIND

Geen significante wijzigingen in de frequentie en intensiteit van stormen

Wetenschappers verwachten dat in de loop van de 21ste eeuw de frequentie en de kracht van stormen overal ter wereld, en ook in Europa, zullen toenemen. Uit de metingen in ons land blijkt dat de jaargemiddelde windsnelheid aan de kust geen duidelijke trend vertoont, evenmin als het aantal dagen met een windstoot boven de 70 km/u en de hoogst gemeten windsnelheden. Ook de scenario's voor de komende decennia geven aan dat we in Vlaanderen geen wijziging in de jaargemiddelde windsnelheid hoeven te verwachten. Enkel in de wintermaanden valt een stijging van de gemiddelde windsnelheid met circa 10% (bv. van 5,8 naar 6,4 m/s in Oostende) niet uit te sluiten.

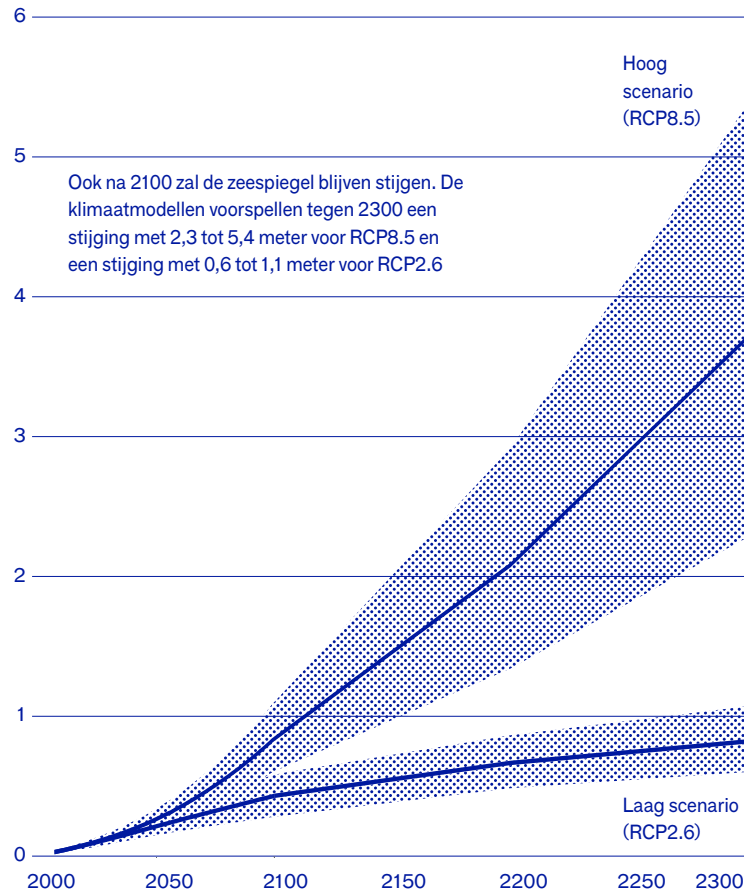
ZEEKLIMAAT

Oceanen en zeeën warmen op

De oceanen absorberen een groot deel (tot 93%) van het energieoverschot veroorzaakt door de opwarming van het klimaat. Wereldwijd is het oceaanoppervlak (tot 75 meter diep) sinds 1971 ieder decennium ruim 0,1°C warmer geworden. Inmiddels is het oceaanwater al tot op een diepte van minstens 3000 meter opgewarmd. Omdat de warmteoverdracht tussen de oppervlakte van de oceaan en de diepe oceaan heel traag gebeurt, zal de opwarming van de oceanen nog

Zee kan vele meters stijgen

Hoogte van de zeespiegel ten opzichte van nu, in meter



eeuwenlang aanhouden. De zeeën en oceanen warmen niet overal even snel op. De stijging is afhankelijk van de ligging van de zeeën, de zeestromingen en de diepte van het water. De temperatuur van het Noordzeewater bijvoorbeeld, stijgt met een snelheid tussen 0,023°C per jaar in de noordelijke Noordzee en 0,053°C per jaar in de centrale Noordzee en de zuidelijke Noordzee. In het gebied het dichtst bij de Belgische kust bedraagt de toename ongeveer 0,034°C per jaar of 3,4°C per eeuw.

De zeespiegel stijgt

De stijging van de zeespiegel heeft verschillende oorzaken, met als voornaamste de stijging van de temperatuur van het zeewater (water zet immers uit wanneer de temperatuur stijgt) en het afsmelten van ijskappen en gletsjers. Tussen 1901 en 2015 nam het gemiddelde zeeniveau op aarde jaarlijks toe met 1,7 mm en met 19,5 cm in totaal. Sinds de jaren 1950 blijkt bovendien een significante versnelling van de wereldwijde zeespiegelstijging ingezet. De klimaatmodellen van het IPCC verwachten tegen 2100 een stijging van het zeeniveau met 61 cm tot 110 cm in het warme RCP 8.5-scenario. Volgens expertenstudies kunnen we een zeespiegelstijging met 2 meter tegen 2100 echter niet uitsluiten. Dat zijn gemiddelde cijfers. De zeespiegel stijgt niet overal ter wereld even sterk. Lokale verschillen hebben te maken met tal van factoren, zoals verschillen in waterdichtheid, de impact van de oceaancirculatie, de aantrekkingskracht die land- en ijsmassa's uitoefenen op het water of op- en neerwaartse bewegingen van de aardkorst.

In Oostende is het gemiddelde zeeniveau in 2017, in vergelijking met 1951, gestegen met 12,9 cm. Aanvankelijk steeg het zeeniveau hier vrij langzaam (met 1 mm/jaar), maar sinds het midden van de jaren 1960 nam de stijging gestaag toe tot 2,6 mm/jaar eind jaren 1990.

Ook na 2100 zal de zeespiegel blijven stijgen. De klimaatmodellen voorspellen tegen 2300 een stijging met 2,3 tot 5,4 meter voor RCP 8.5 en een stijging met 0,6 tot 1,1 meter voor RCP 2.6. Dat betekent dat heel wat kustgebieden ter wereld ernstig bedreigd worden en onder water kunnen verdwijnen.

ONTWRICHTING VAN ECOSYSTEMEN

Verlies van biodiversiteit en ontwrichting van ecosystemen

De klimaatverandering bedreigt de biodiversiteit en ontwricht ecosystemen. In veel delen van de wereld is de soortensamenstelling de voorbije eeuw veranderd en zijn soorten uitgestorven aan een snelheid die 100 tot 1000 keer hoger ligt dan normaal. Dat is natuurlijk niet alleen op conto te schrijven van de klimaatverandering. Menselijke activiteiten zoals vervuilende industrie, verstedelijking, ontbossing, introductie van uitheemse organismen, enzovoort, dragen een grote verantwoordelijkheid.

Tussen 1971 en 2000 zien we in Europa een vervroeging van de lente met 2,5 tot 4 dagen per decennium, waardoor de interacties tussen de soorten in de war gestuurd worden en ecosystemen uit evenwicht geraken. Sommige planten- en diersoorten hebben in reactie op de klimaatverandering hun verspreidingsgebieden naar het noorden of naar hoger gelegen gebieden verschoven. Andere soorten kunnen zich niet snel genoeg aanpassen of migreren en sterven uit. Tegen het einde van de 21ste eeuw zal de verspreiding van Europese plantensoorten waarschijnlijk enkele honderden kilometers naar het noorden zijn opgeschoven. In het zuiden van Europa zullen dan waarschijnlijk minder bossen zijn, in het noorden meer.

Biodiversiteit in zee

De oceanen absorberen een groot deel van de CO_2 die de mens uitstoot in de atmosfeer. Water neemt immers CO_2 op, zodat koolzuur (H_2CO_3) ontstaat. Het resultaat is dat de oceanen verzuren. De pH-waarde van het oceaanwater is sinds het begin van het industriële tijdperk gedaald van 8,2 naar 8,1 en zal, volgens de modellen, tegen 2100 wellicht verder opschuiven tot 7,7 of 7,8. Deze verzuring heeft nefaste gevolgen voor talrijke organismen (vooral als ze calciumcarbonaat of kalk gebruiken, zoals schelpdieren en koralen).

Het leven in het water is ook bijzonder gevoelig voor de temperatuurstijging. In de Noordzee zien we nu al een verschuiving in het verspreidingsgebied van organismen. In de afgelopen veertig jaar zijn bepaalde soorten dierlijk plankton uit de Noordzee en ten zuidwesten van de Britse eilanden zo'n 1100 km verder naar het noorden gemigreerd. In onze wateren zien we almaar meer warmwatersoorten zoals sardienen of ansjovis. De soorten die in koudere wateren leven (kabeljauw, schelvis, heilbot, grijze garnaal, verschillende week- en schaaldieren) migreren verder naar het noorden.

HOOFDSTUK 3

ZEEWERING

Een linie van stranden, duinen, dijken, kades, stormmuren en waterkeringen beschermt onze kust en het laaggelegen achterland tegen overstromingen vanuit zee. Tegen 2100 verwachten we een stijging van het zeeniveau tussen 61 cm en 110 cm. Bijkomende maatregelen zijn nodig om de zeewering te versterken.

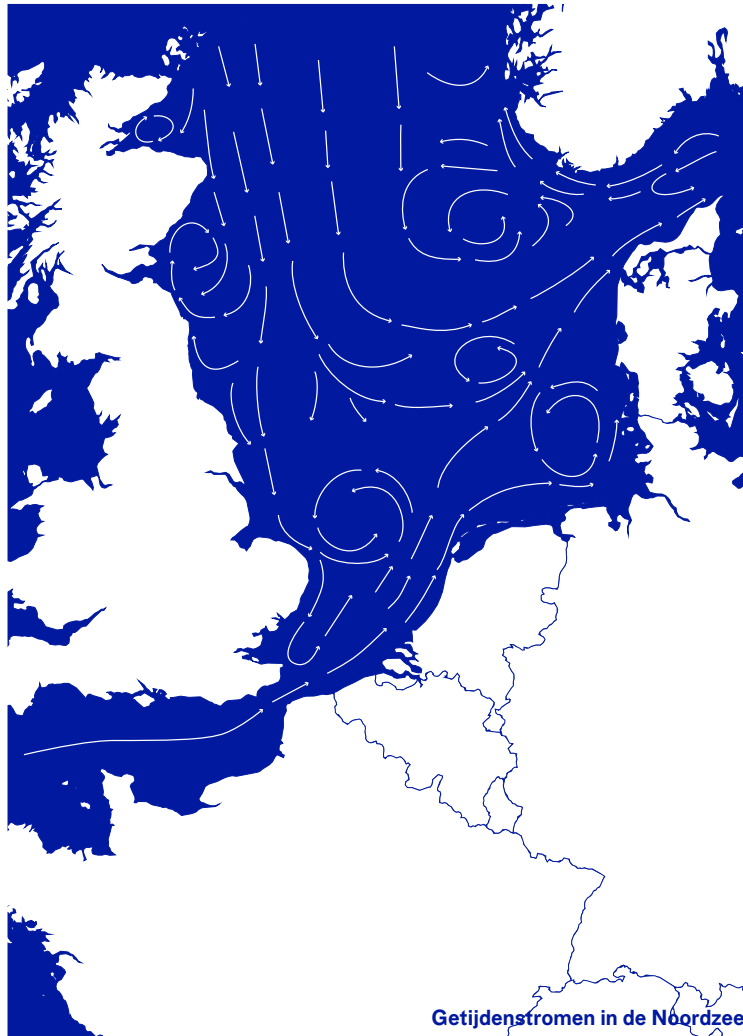
De Vlaamse kust is bijzonder kwetsbaar voor de stijging van de zeespiegel

In Europa is de Vlaamse kust, samen met die van Nederland, het meest kwetsbaar voor zee-overstromingen. Het grootste deel van de polders achter de zeewering ligt lager dan het peil van *een jaarlijkse stormvloed* (+5,5 m TAW)*. Dat is een stormvloed die zich gemiddeld één keer per jaar voordoet. De Vlaamse kust is bovendien de meest bebouwde en meest dichtbevolkte van Europa. Ruim 30% van de zone tot 10 km landinwaarts en bijna 50% van de strook tot 1 km van de kustlijn is bebouwd. Zee-overstromingen kunnen dan ook heel wat materiële schade aanrichten en zelfs mensenlevens kosten. Vandaag tellen de tien kustgemeenten (zonder de stad Brugge) samen meer dan 220.000 inwoners. Tijdens de zomermaanden huisvesten appartementen, campings en hotels tot wel 500.000 toeristen. Op topdagen lokt de kust soms meer dan 150.000 extra dagjestoeristen. Aan de kust spelen grote economische belangen, in de eerste plaats omwille van het toerisme, maar ook omwille van de havens van Zeebrugge en Oostende.

Kwetsbare polders

Gebied dat lager ligt dan +5,5 meter TAW. Zonder zeewering zou dit gebied overstromen bij een éénjarige stormvloed





Eb en vloed

Als we niet verder kijken dan 2100, lijkt een stijging van de zeespiegel met pakweg één meter al bij al behapbaar. Maar het water van de zee staat natuurlijk niet stil. Eb en vloed en wind oefenen grote krachten uit op het water. De getijden ontstaan door de aantrekkingskracht die de maan, en in mindere mate de zon, uitoefenen op de watermassa op aarde. In de Noordzee komen eb en vloed twee maal per dag voor. Twee maal per maand, bij volle en nieuwe maan, staan zon en maan op één lijn en is de aantrekkingskracht maximaal. Bij *springtij* is het verschil tussen hoog- en laagwater het grootst. Niet alleen het hoogwater is dan hoger dan gemiddeld, ook het laagwater is lager dan gemiddeld. Als zon en maan in een hoek van 90° op de aarde staan, is het *doodtij*. Het hoogwater is dan minder hoog dan gemiddeld en het laagwater is minder laag dan gemiddeld.

Eb en vloed gedragen zich niet overal op aarde hetzelfde. Aan de Vlaamse kust bedraagt de *getijdenamplitude* – of het verschil tussen hoog- en laagwater – ongeveer 4 meter, bij springtij zelfs 5 meter. Meer naar het noorden, aan de Nederlandse kust, neemt het verschil langzaam af tot 2 meter. In de baai van de Mont-Saint-Michel daarentegen, bedraagt het verschil tussen eb en vloed maar liefst 15 meter. In gesloten zeegebieden zoals de Middellandse Zee is het getijverschil amper 30 centimeter. Tal van factoren bepalen het getij, zoals de afstand tot de evenaar, de diepte van het water of de aanwezigheid en vorm van landmassa's. Aan de Vlaamse kust is de getijdenamplitude relatief groot omdat het getij

grote hoeveelheden water van de Atlantische Oceaan door de versmalling van het Kanaal perst, eerst richting de Noordzee en vervolgens weer terug. Daarom is het ook eerst hoogwater in de meest westelijke kustgemeente (De Panne), en een klein uurtje later in de meest oostelijke (Knokke-Heist).

***De Tweede Algemene Waterpassing (TAW)**

In België drukken we het zeespiegelniveau uit in TAW of *Tweede Algemene Waterpassing*. De TAW is een update van de *Algemene Waterpassing*. De AW-hoogte van 0 meter was gelijk aan het gemiddelde zeeniveau bij laagwater in Oostende zoals gemeten tussen 1834 en 1853. Maar omdat het oorspronkelijke peilmerk in het Handelsdok van Oostende niet meer bestond, baseert men de TAW sinds 1947 op het ijkpunt GIKMN van de Koninklijke Sterrenwacht in Ukkel. Dit punt heeft een gedefinieerde hoogte van +100,174 meter TAW. Het gemiddelde zeeniveau bij eb in Oostende zo'n kleine honderd jaar geleden geldt dus als nulpeil. Voor de goede verstaander: moest het merkteken in het 19de-eeuwse Handelsdok vandaag nog bestaan, dan zou het enkel boven water komen bij eb bij springtij.

Stormopzet

Behalve het getij oefent ook de wind een belangrijke invloed uit op de waterstand. Stormweer kan zorgen voor golven die de kust bereiken en over de dijken slaan. Daarnaast gaan zware stormen gepaard met een verhoging van de waterstand door de 'opwaaiing' of 'opstuwing' van het water in de richting van het land. Dit verschijnsel heet *stormopzet*. Bij een combinatie van springtij en stormopzet door hoge windsnelheden spreken we van *stormvloed*. Dan overschrijdt de waterstand het niveau van springtij.

De stormopzet is afhankelijk van de windrichting en de windkracht. In ons deel van de Noordzee zijn vooral stormen uit het noorden en het noordwesten gevaarlijk, niet alleen omdat ze loodrecht op de kust invallen, maar ook en vooral omdat de wind dan de gelegenheid heeft om een grote watermassa op te stuwen. Bij een sterke westenwind daarentegen verhindert de landmassa van de Britse eilanden een al te grote opstuwing van het water. Sterke zuidwestenwinden zorgen dan weer voor een opwaaiing van het water vanuit de Atlantische Oceaan en kunnen de getijdenstroom versterken die van west naar oost door het Kanaal stroomt.

De 1000-jarige stormvloed

Bij studies van de zeewering duiden we de kracht van een storm niet aan met de Beaufortschaal maar wel met de *terugkeerperiode*. Men spreekt bijvoorbeeld van een 100-jarige, een 1000-jarige of een 17.000-jarige stormvloed. De term is enigszins misleidend. Een 1000-jarige stormvloed

is geen stormvloed die zich slechts één keer per millennium voordoet, maar een stormvloed die zich elk willekeurig jaar kan voordoen met een kans van 1 op 1000.

De Watersnood van 1 februari 1953 – de zwaarste stormvloed die de Lage Landen in de 20ste eeuw geteisterd heeft – was een 250-jarige stormvloed. Een stevige noordwestenstorm beukte in op de kusten van Nederland en België. In Oostende bereikte het water een hoogte van +6,6 m TAW. De binnenstad van Oostende liep onder water. Acht mensen verdrinken. In de rest van België kwamen nog eens twintig mensen om het leven. Vooral het Scheldebekken was getroffen. De trechtervorm van de Scheldemonding versterkt immers de opstuwning van het water. In Nederland, dat voor het grootste deel onder de zeespiegel ligt, was de situatie veel dramatischer. De dijken braken en meer dan 1800 mensen verdrinken. De ramp gaf in Nederland aanleiding tot de bouw van de befaamde Deltawerken. De geschiedschrijving heeft nog zwaardere stormen opgetekend, zoals de Sint-Vincentius-storm van 22 januari 1394, die de stad Oostende (toen nog op het eiland Testerep gelegen) van de kaart veegde. Amper tien jaar later, op 19 november 1404, teisterde de Sint-Elisabethvloed Vlaanderen en Zeeland. De zee drong tot 15 kilometer het land in. Het landverlies bedroeg zo'n 3000 hectare. De Sint-Elisabethvloed leidde tot het verdwijnen van het eiland Wulpen voor de kust van Cadzand.

Risico = Kans x Gevolg

Het overstromingsrisico is het product van de kans dat er een overstroming plaatsvindt en de gevolgen die zo'n overstroming kan hebben. In het verzekeringswezen (en in het beleid) hanteert men de formule: *Risico = Kans x Gevolg*. Een superstormvloed kan enorme economische schade toebrengen en mensenlevens kosten. De gevolgen zijn dus groot. Om het risico in te perken is het belangrijk om slechts een lage kans toe te laten. Vlaanderen heeft beslist om aan de kust slechts een kans van 1 op 1000 toe te laten. Dat wil zeggen dat onze kust beschermd moet zijn tegen een duizendjarige stormvloed (ongeveer +7 m TAW).

Masterplan Kustveiligheid en Complex Project Kustvisie

In 2011 keurde de Vlaamse overheid het *Masterplan Kustveiligheid* goed. Het plan schrijft maatregelen voor die de Vlaamse kust tot minstens 2050 moeten beschermen tegen een 1000-jarige stormvloed. Het houdt rekening met een zeespiegelstijging bij stormvloed van 30 cm tegen 2050 en 80 cm tegen 2100 ten opzichte van het jaar 2000. Ondertussen, anno 2020, is de uitvoering van het Masterplan Kustveiligheid al ver gevorderd. Zowel 'zachte' (strandsuppletie, duinsuppletie) als 'harde' zeeweringsmaatregelen (dijken, stormmuren, waterkeringen) zijn gerealiseerd of in de nabije toekomst gepland. In december 2017 besliste de regering om het *Complex Project Kustvisie* op te starten. Het beoogt een langetermijnaanpak voor de bescherming van de kust te ontwikkelen met tijdshorizon 2100. Dit plan is nog

in opmaak. Samen met een schare aan wetenschappers en studiebureaus onderzoekt de overheid binnen welke ruimte de kustverdediging in de toekomst vorm moet krijgen. Het Complex Project Kustvisie wil nagaan vanaf welke zeespiegelstijging de geijkte praktijk die op heden toegepast wordt (zachte suppleties waar het kan, aangevuld met harde maatregelen waar het nodig is) niet meer volstaat om de gevolgen van de zeespiegelstijging op te vangen, en op welke manier dit best ondervangen wordt.

Gezien de hoge onzekerheden over de stijging van het zeeniveau en de grote economische en maatschappelijke belangen die spelen aan de Vlaamse kust, houdt het Complex Project Kustvisie rekening met een zeespiegelstijging tot 3 meter. Dat wil niet zeggen dat er binnenkort overal aan de Vlaamse kust dijken of stormmuren gebouwd zullen worden van 3 meter hoog, wel dat er een plan is om dergelijke zeespiegelstijgingen, wanneer deze zich in de toekomst voordoen, op te vangen en het veiligheidsniveau aan de kust op peil te houden. Hierbij kunnen maatregelen die intussen genomen worden, rekening houden met dit toekomstplan op vlak van ligging en aanpasbaarheid, zodat ze in de toekomst mee kunnen evolueren met een verdere stijging van de zeespiegel.

HET KUSTPROFIEL: DRIE BASISTYPES

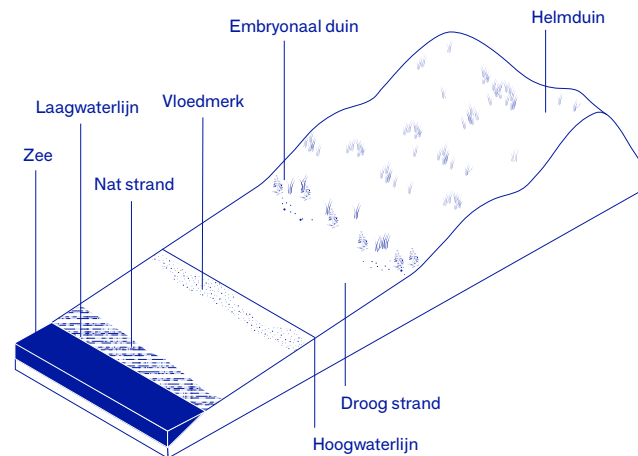
Duinenlandschap, badplaatsen en havens

De Vlaamse kust is uniek in Europa. Het is een min of meer rechte strook van 66,6 kilometer lang met brede zandstranden die met een lage helling in zee overgaan. De brede stranden met hun fijn zand maken onze kust zo geliefd bij toeristen. De bodem van de Noordzee is relatief ondiep (tot maximaal 46 meter) maar niet vlak. Voor de kust liggen uitgestrekte zandbanken, van elkaar gescheiden door diepe geulen. Die bijzondere geologische toestand strekt zich uit van de monding van de Westerschelde in Nederland tot Duinkerke in Frankrijk. Vanaf dan begint de kliffenkust van Hauts-de-France.

Wanneer we kijken naar het kustprofiel – de doorsnede van onze kust loodrecht op het land – kunnen we grosso modo drie basistypes onderscheiden. In het eerste type – het ‘duinenlandschap’ – zien we een strand dat langzaam overgaat in een duinengordel. Op het *nat strand* herkennen we het *vloedmerk* of de *hoogwaterlijn* (de lijn waar de zee bij hoogtij aanspoelsels heeft afgezet) en de *laagwaterlijn* (de grens van het laagwater bij eb). Het *droog strand* is de zone vanaf de hoogwaterlijn.

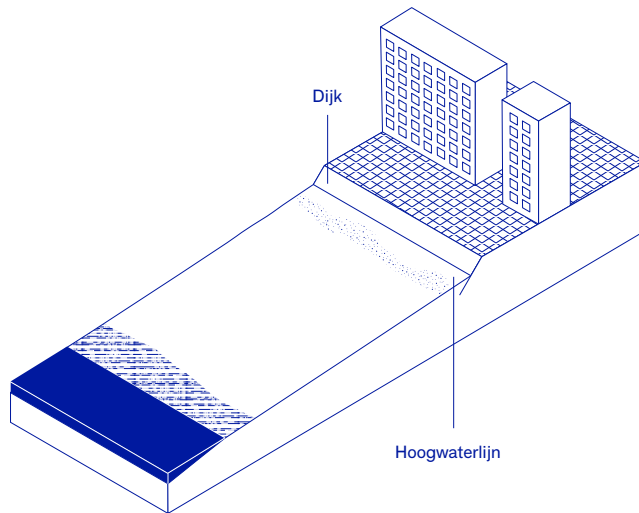
Op het droog strand heeft de wind vrij spel met het fijne zand. Het droog strand gaat langzaam over in de *duinvoet* en het steilere *duinfront*. De *zeereep* is het deel van de duinengordel dat grenst aan het strand en functioneert als *zeewerend duin*. Enkel bij zwaar stormweer reiken de golven tot aan de duinen. Onder de laagwaterlijn bevindt zich de *vooroever*: de voortzetting van het strand onder water. Het is het deel van het kustgebied waar de ondergrond de invloed van de golfwerking voelt. De vooroever rijkt tot ongeveer -5 m TAW.

Duinen



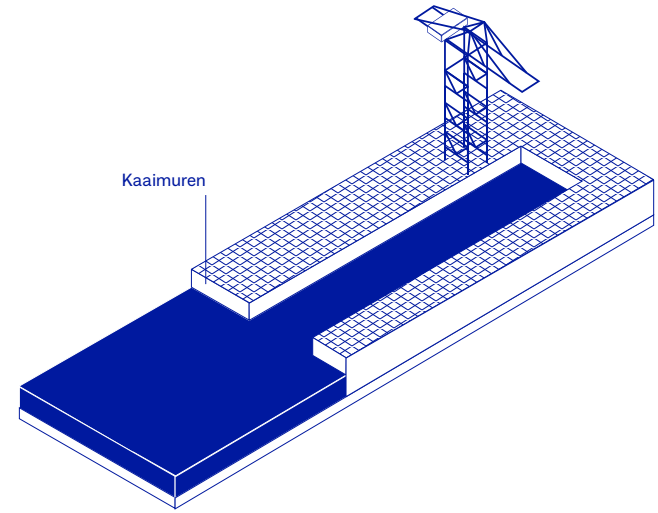
In het tweede type kustprofiel, de 'badplaatsen', heeft het zeewerend duin plaatsgemaakt voor een verharde zeedijk met een promenade, een rij hoge appartementsgebouwen en een achterliggende stad. Het derde type zijn de 'havens'. Hier reikt een verdiepte vaargeul tot de dokken, die tot diep in het binnenland kunnen reiken.

Badplaatsen



Elk van die basistypes vraagt om een andere manier van bescherming. In de verstedelijkte gebieden zijn zowel 'zachte' als 'harde' kustbeschermingsmaatregelen aangewezen. In de duinen zijn vooral zachte kustbeschermingsmaatregelen aan de orde en in de havens zijn enkel harde kustbeschermingsmaatregelen mogelijk.

Havens



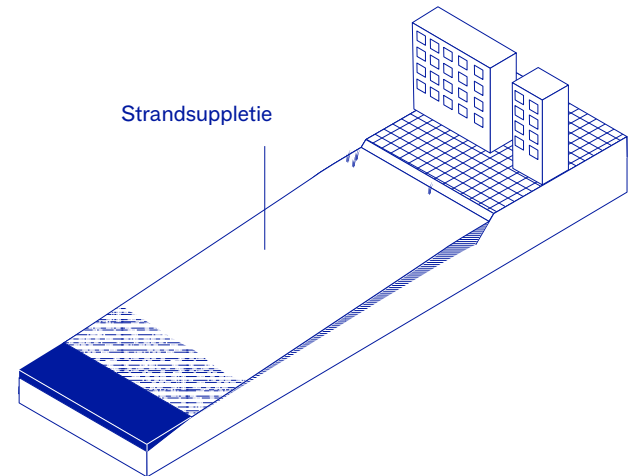
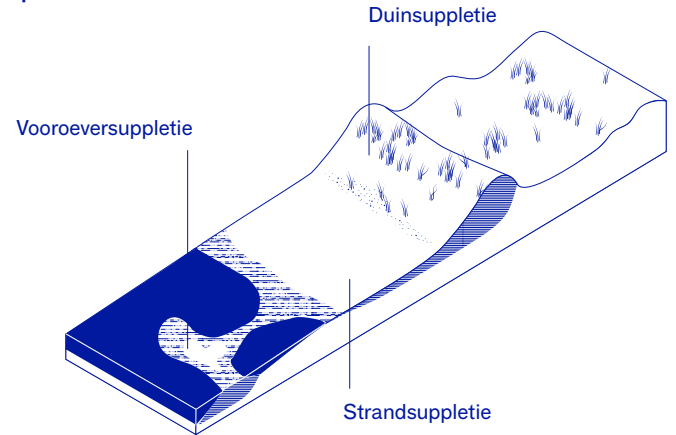
MOGELIJKE VORMEN VAN ZEEWERING (HARD EN ZACHT)

Zandsuppleties op strand en vooroever

De brede zandstranden die met een lage helling aflopen naar zee vormen een uitstekende zeewering. Doordat het water geleidelijk aan minder diep wordt, breken de stranden de kracht van de golven. De helling van de stranden is niet overal gelijk. Ze neemt geleidelijk toe van west naar oost. De Panne heeft de breedste stranden met een helling van nauwelijks 1%. Aan de middenkust bedraagt de helling ongeveer 2%. En in Knokke, het kortste en steilste strand, bedraagt de helling 3%.

Zandsuppleties op de stranden en de vooroever vormen vandaag een van de belangrijkste vormen van zeewering aan de Vlaamse kust. Stranden worden breder en hoger gemaakt met zand gewonnen op zee. Baggerboten brengen het zand tot voor de kust en spuiten het met persleidingen op het strand of storten het op de vooroever. Strandsuppleties vragen om een voortdurende monitoring van zwakke schakels en plaatsen waar erosie door de zee is opgetreden. Strandsuppleties gebeuren het best in de winter, niet alleen om het toerisme niet te verstoren, maar ook omdat de stranden in de lente en zomer de kraamkamers zijn van tal van vissen, weekdieren en micro-organismen.

Zandsuppleties op strand en vooroever



Strandsuppleties hebben het aanzien van onze stranden sterk veranderd. Wie voor 2004 Oostende bezocht, herinnert zich nog dat de zee bij hoogwater tegen de dijk aan het Kursaal klotste. Vandaag heeft Oostende een breed en droog strand dat bijna op dezelfde hoogte ligt als de zeedijk. Strandsuppleties kunnen dus ook bevorderlijk zijn voor het toerisme.

Strandhoofden

Op de meeste plaatsen aan de Vlaamse kust zijn (sinds de 19de eeuw) op regelmatige afstand van elkaar *strandhoofden* (in de volksmond ‘golfbrekers’) gebouwd. Ze dienen om de kustlijn te fixeren en erosie door de zee te voorkomen (zie Hoofdstuk 4). De strandsuppleties van de voorbije jaren hebben een deel van de strandhoofden begraven, zodat ze hun functie voor een deel verloren hebben.

Versterken van de duinengordel

Aan de westkust vinden we nog een uitgestrekte, natuurlijke duinengordel, met een breedte van 1,5 tot zelfs 3 kilometer en duinen die op sommige plaatsen een hoogte van 20 tot 30 meter bereiken. Aan de oostkust daarentegen is de duinenrij heel wat lager. Ook aan de middenkust bevinden zich, tussen de verschillende badsteden, nog duinen. Van de 66,6 km kustlijn bestaat vandaag nog ongeveer 40% uit duinen. In een kwart van de gevallen zijn de duinen afgeschermd van het strand door een verharde *duinvoet*. Zeewerende duinen in rechtstreeks contact met de zee komen dus nog ongeveer op een derde van onze kustlijn voor. Ook duinen kunnen versterkt worden met zandsuppleties.

Indien ze voldoende breed zijn vormen duinen een uitstekende bescherming tegen zee-overstromingen. Duinen zijn bovendien *actieve, levende systemen*: dankzij *mariene en eolische sedimentatie* (aanvoer van zand door de zee en de wind) en een *biotische component* (de cruciale aanwezigheid van vegetatie zoals helm) groeien ze vanzelf aan en kunnen zich na verloop van tijd herstellen na stormen (zie Hoofdstuk 4). Duinen die afgesneden zijn van de natuurlijke dynamiek – bijvoorbeeld door het aanleggen van een *duinvoet* voor het duin – hebben een verminderd zelfhelend vermogen na een stormvloed.

Dijken en stormmuren

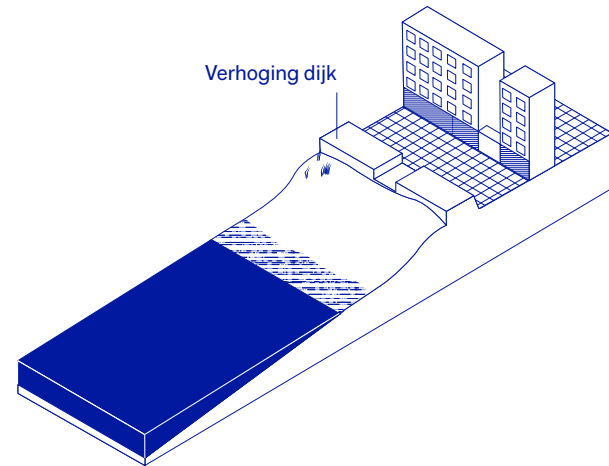
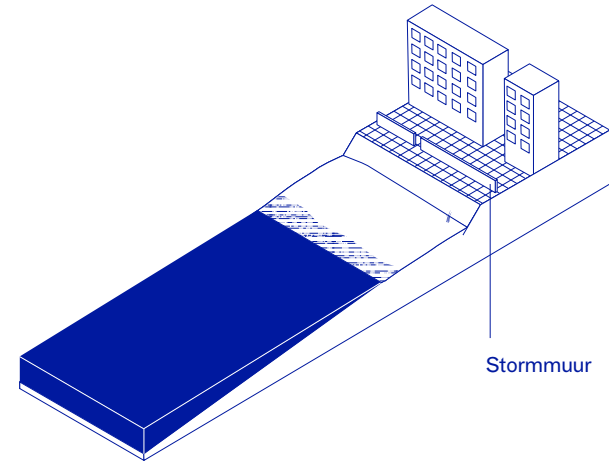
In het grootste deel van de kustlijn – ongeveer 60% – heeft het zeereepduin plaatsgemaakt voor een ‘lijnstad’ op en achter een dijk of promenade. Eigenlijk zijn de ‘dijken’ van onze badplaatsen geen echte dijken: we hebben geen artificieel reliëf gemaakt maar wel het bestaande duinenmassief versterkt en verhard. De badplaatsen zijn kwetsbaar. Samen met het strand beschermt de dijk de stad tegen de zee. Op veel plaatsen zijn zandsuppleties op strand en vooroever nodig, maar in sommige gevallen volstaan ze niet en zijn dus aanpassingen aan de zeedijk nodig. Met de stijging van de zeespiegel zal de zeewering op veel plaatsen bijkomend versterkt moeten worden.

Verschillende scenario's zijn mogelijk, zoals een *dijkverhoging*, het plaatsen van *stormmuren* op de dijk, of de bouw van een tweede, *golfdempende uitbouw* voor de dijk. In Mid-

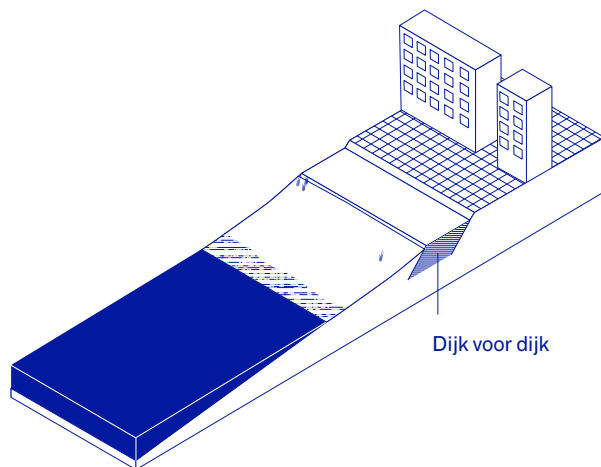
delkerke bijvoorbeeld, zal een tweede, lagergelegen dijk voor de dijk gebouwd worden. Die breekt de golven bij stormweer en biedt bovendien een belangrijke toeristische meerwaarde omdat de promenade een stuk breder wordt gemaakt.

Het plaatsen van stormmuren en het verhogen van dijken zijn niet altijd even geliefde maatregelen. Grote troeven van de toeristische badplaatsen zijn het vrije uitzicht op zee en de onmiddellijke toegankelijkheid van het strand. In badplaatsen, zoals in De Haan-Wenduine, integreert men daarom de stormmuur als straatmeubilair op de dijk. De stormmuur neemt de vorm aan van een betonnen bankenrij die op verschillende plaatsen onderbroken is om de doorgang naar het strand te verzekeren. De onderbrekingen kunnen bij stormvloedvoorspelling eenvoudig gedicht worden met rolpoorten.

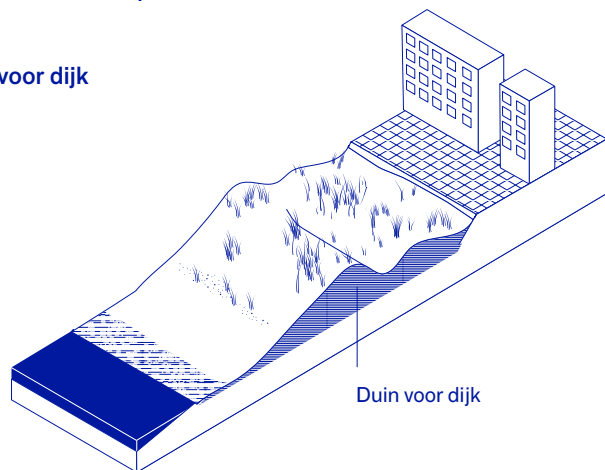
Dijken en stormmuren



Dijk voor dijk



Duin voor dijk



Duin-voor-dijk

Men kan badplaatsen ook op een meer ‘natuurlijke’ manier beschermen door de aanleg van een duingordel voor de dijk. Het *duin-voor-dijk*-principe biedt verschillende voordelen. Vooreerst vormen duinen een zandbuffer die zonder gevaar voor overstroming winterse erosie mogelijk maakt (zie Hoofdstuk 4). Het principe is gunstig voor de biodiversiteit en kan ook een toeristische meerwaarde hebben. Daarnaast biedt het een oplossing voor problemen met zandverstuiwing in stedelijke badplaatsen. Het opruimen van het zand in de straten of tussen de tramsporen jaagt de gemeenten en de openbare vervoersmaatschappij op kosten. Zeker bij strandsuppleties vergroot het volume droog, verstufbaar zand. Duinen vormen een optimale ‘zandvang’: het duin houdt het zand vast en verhindert dat het verder naar het binnenland verstuift.

Stormvloedbestendige gebouwen

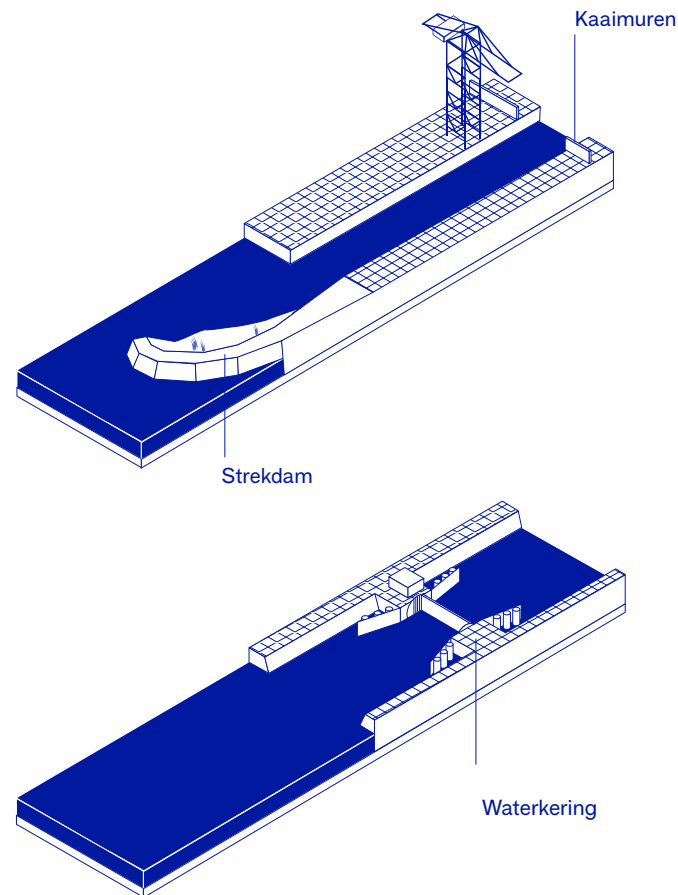
Op de dijk van de badplaatsen en steden staat meestal een lange, quasi onderbroken lijn van hoge appartementsgebouwen. Op lange termijn zouden ook die ‘klimaatbestendig’ kunnen worden gemaakt. Er zal extra onderzoek verricht moeten worden om na te gaan of de bestaande gebouwen bestand zijn tegen zwaar stormweer of stormvloed. Ook moet men nadenken over waar nutsvoorzieningen zoals elektriciteitsaansluitingen voorzien kunnen worden, zodat ze niet aangetast worden door het water.

In het Nederlandse Vliссingen denkt men nog een stap verder. De gemeente heeft een verordening uitgeschreven om de plafondhoogte van de benedenverdieping van gebouwen aan de kustlijn extra hoog te maken, zodat de ruimtes op straatniveau bij een stijging van de zeespiegel eenvoudigweg verhoogd kunnen worden. De gemeente onderzoekt ook de mogelijkheid om de benedenverdieping van gebouwen bij stormvloed te gebruiken als waterkering.

Bescherming van de havens

De Vlaamse kust telt vier havens: de zeehavens van Oostende en Zeebrugge en de jachthavens van Nieuwpoort en Blankenberge. De havens vormen de zwakste schakels in de zeewering. De zee dringt hier via kanalen en dokken diep het binnenland in. Bij overstromingen is vooral de materiële schade erg groot. De havens en hun ommeland kan men beschermen door het verhogen van kades en dijken, het plaatsen van *stormmuren* rond de haveninfrastructuur of door het bouwen van een *stormvloedkering*. In de haven van Nieuwpoort is men momenteel bezig met het bouwen van een stormvloedkering die beschermt tegen een waterpeil van +7 m TAW (1000-jarige storm) plus 80 cm zeespiegelstijging.

Bescherming van de havens



Artificiële riffen als kustbeschermingsmaatregel

Zandbanken en zandsuppleties op de vooroever vormen een uitstekende zeewering. Ze dempen de kracht van de golven. Maar die zandlagen zijn onderhevig aan erosie en niet altijd even stabiel. Momenteel loopt aan de Vlaamse kust een proefproject om grote oppervlakken op de vooroever te ‘fixeren’ door gebruik te maken van organismen die zich vastzetten in de zeebodem. Verschillende mogelijkheden worden onderzocht. Een eerste experiment werkt met zeewier of zeegras dat aangeplant wordt op grote textielmatten die vastgemaakt zijn op de zeebodem. Een andere manier is het creëren van een mosselrif op een onderliggende textielmat. Mosselen klitten samen en creëren een natuurlijk rif met hun schelpen. Het derde experiment is er een met schelpkokerwormen. Kokerwormen nestelen zich in het zand en maken een kalken kokertje aan om zich te beschermen. Zo stabiliseren ze de bodem. Heel veel wormen samen zullen hun kokertjes steeds hoger bouwen, wat een rif kan creëren.

De voordelen van deze aanpak zijn divers: het zand sedimenteert op de riffen en is minder onderhevig aan erosie. Er ontstaan rijke ecologische habitats die ook als voedsel kunnen dienen voor andere organismen en dieren. De wieren en schelpdieren zouden ook kunnen dienen voor menselijke consumptie. Een eerste experiment van 100 vierkante meter is in 2017 opgestart voor de kust van De Panne onder de naam *Coastbusters*. Het is een initiatief van een aantal privébedrijven, het Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO) en gesubsidieerd door het Vlaams Agentschap Innoveren en Ondernemen (VLAIO). Samen testen ze de levensvatbaarheid van de drie organismen en onderzoeken ze wat de beste manier is om het zand vast te houden.

HOLD THE LINE?

Een vooruitgeschoven of teruggetrokken kustlinie

De hierboven beschreven maatregelen voor zeewering gaan uit van het behoud van de huidige kustlinie (*hold the line*), maar er zijn ook andere scenario's denkbaar, zoals een vooruitgeschoven kustlinie (*advance the line*) of een teruggetrokken kustlinie (*retreat the line*).

In het *advance-the-line*-scenario bouwt men een tweede, vooruitgeschoven kustlinie in zee, in de vorm van een dijk- of duinlichaam of een langgerekt eiland. Tussen de huidige kustlijn en het eiland kan dan, afhankelijk of het water nog in en uit kan stromen, een soort waddenzee of zoetwatermeer ontstaan, of een gebied dat ingepolderd kan worden. Een andere mogelijkheid is de aanleg van een *zandmotor*, waarbij de kustlijn een pak zeewaarts opschuift (zie Hoofdstuk 4). Het zijn manieren om bij een sterke stijging van de zeespiegel de huidige steden en badplaatsen en hun economisch en toeristisch potentieel te behouden. Een vooruitgeschoven kustlinie kan extra mogelijkheden bieden tot recreatie, natuurontwikkeling of energieopwekking. Daartegenover staat dat het een dure maatregel is die bovendien het aanzien van de Vlaamse kust zal veranderen.

In het *retreat-the-line*-scenario daarentegen geeft men stukken van de polders terug aan de zee. Op die manier kan er een slikken- en schorrengebied ontstaan, dat periodiek door zeewater wordt overspoeld. Dankzij de sedimenten die

de zee afzet, zal het land op langere termijn aangroeien (zie Hoofdstuk 5). Vandaag is het areaal van slikken en schorren sterk gereduceerd door inpoldering sinds de middeleeuwen. Onze kustvlakte is nagenoeg volledig onttrokken aan de onmiddellijke invloed van de zee. Enkel aan de IJzermonding, in de Baai van Heist en in het Zwin zijn momenteel nog slikken en schorren te vinden die in contact staan met de zee. Maar aangezien zij door zeewerende dijken gescheiden zijn van de ingepolderde kustvlakte is hun betekenis voor de zeewering relatief beperkt. Ze vormen wel een extra bescherming voor de dijken.

HOOFDSTUK 4

HET ZANDSYSTEEM

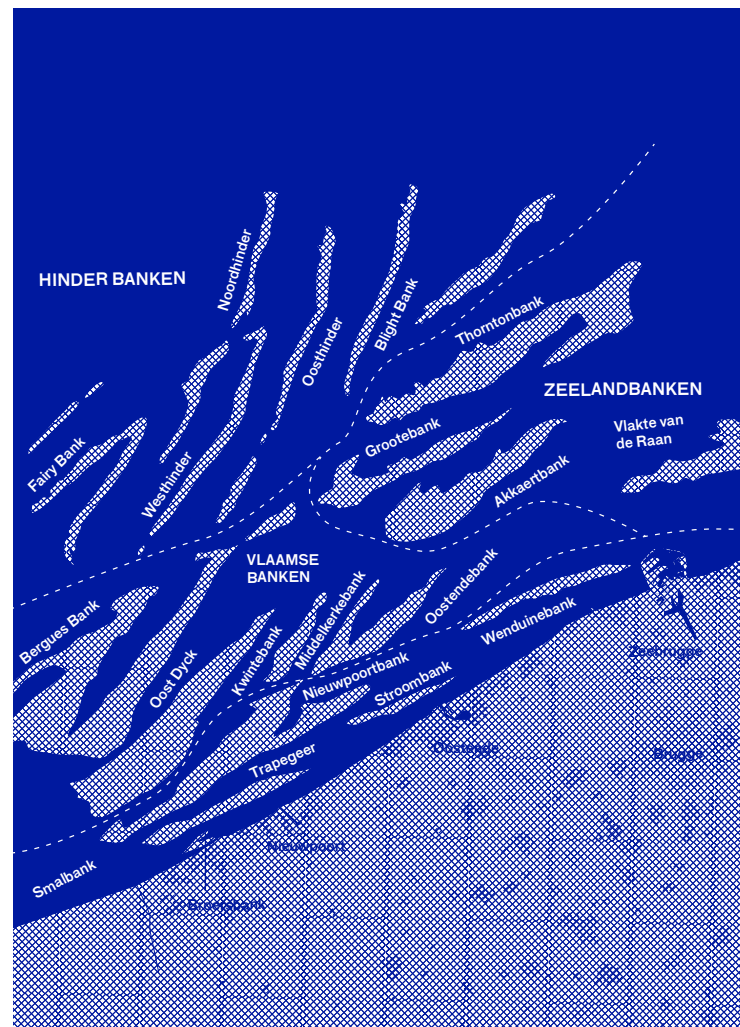
De Vlaamse kust is uniek omwille van haar brede zandstranden die met een lage helling in zee overgaan. Dat maakt onze kust ook zo geliefd bij toeristen. Zandsuppleties vormen vandaag de belangrijkste vorm van kustverdediging. Maar het zand ligt niet stil. Zeestromingen, golven en wind voeren het zand af en aan in een uiterst complexe dynamiek. Kennis van de dynamiek van mariene en eolische sedimentatie kan helpen om de kust te beschermen.

MARIENE SEDIMENTATIE

Zandbanken en geulen

De Noordzee is, althans ter hoogte van de Vlaamse kust, een relatief ondiepe zee. De diepte varieert tussen 0 en 46 meter. De afdaling vanaf het strand verloopt niet gestaag. Onder water bevinden zich een dertigtal *zandbanken*, sommige wel tientallen kilometer lang, met daartussen diepe geulen. De Kustbanken en de Zeelandbanken liggen parallel aan de kustlijn, terwijl de Vlaamse Banken en de Hinder Banken in een duidelijke hoek staan ten opzichte van de kustlijn. Het hoogteverschil tussen de top van de zandbank en de bodem van de geul bedraagt soms wel 30 meter. Sommige zandbanken liggen op slechts enkele meter onder water of komen bij extreem lage waterstanden zelfs even boven water. Op de Broersbank bijvoorbeeld is in het verleden menig schip met man en muis vergaan. De kustnabije zandbanken, die min of meer parallel aan de kustlijn liggen, breken de golven en beschermen het land tegen al te sterke inkomende golven.

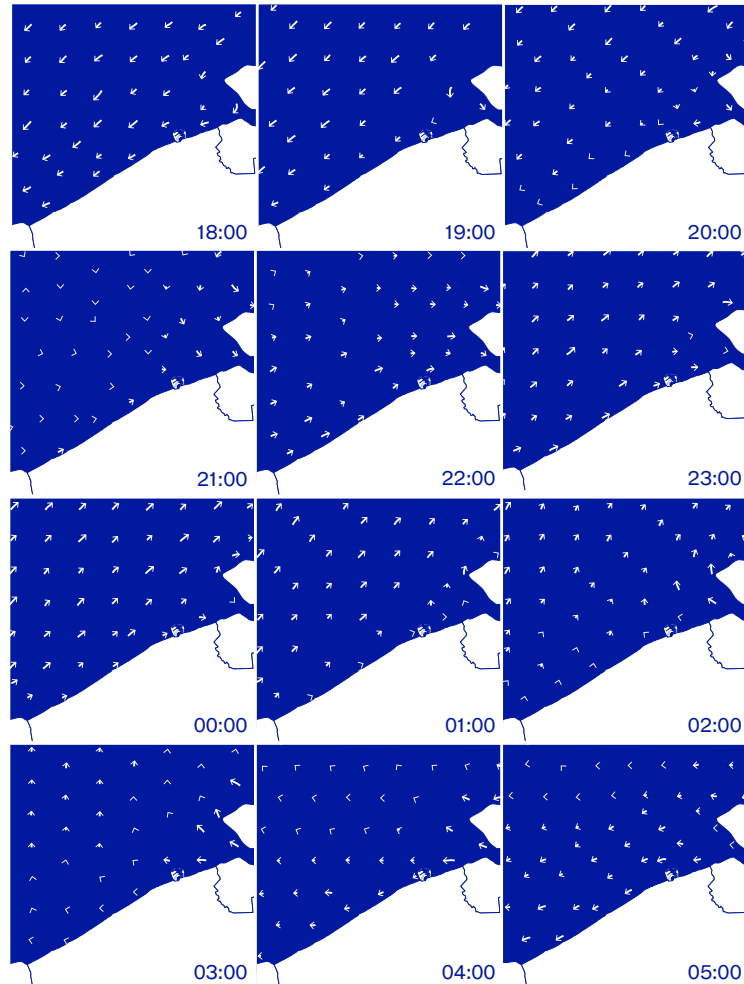
De grillige bodem, de sterke getijdenstromen en de grote getijdenamplitude (het verschil tussen hoog- en laagwater) zorgen voor een bijzonder complexe en turbulente waterstroming. Hierdoor voert het water heel wat zwevende deeltjes met zich mee, hoofdzakelijk zand en slib. Het voortdurend heen en weer gaan van getijden en golven leidt tot een onophoudelijk proces van sedimentatie en erosie.



Zandbanken voor de kust

Eb en vloed

Twaalf uur getijdenstromen aan de Vlaamse kust (van 21 tot 22 maart 2015)

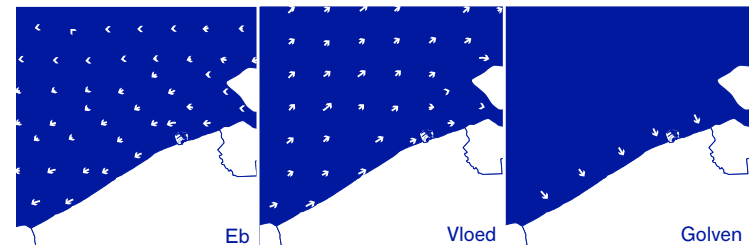
**Banken zijn transportpaden van zand**

De complexe waterstromen zijn moeilijk in kaart te brengen. Verschillende processen interfereren met elkaar, maar sterk vereenvoudigd kan men stellen dat de dominante stroming bestaat uit de *getijdenstroom* die vanuit de Atlantische Oceaan via het Kanaal de Noordzee binnenkomt. De hoofdstroom loopt van zuidwest naar noordoost (bij vloed) en weer terug (bij eb), waarbij de vloedstroom veel krachtiger is dan de ebstroom.

Terwijl de getijdenstroom hoofdzakelijk parallel aan de kust loopt, genereren golven waterbewegingen loodrecht op de kust. Het getij en de golven zijn de drijvende krachten van het zandtransport parallel aan de kust (overwegend noordoostwaarts). Golven en in mindere mate het getij zijn de drijvende krachten van het zandtransport loodrecht op de kust, van lager naar hoger (waardoor het strand aangroeit) of van hoger naar lager (waardoor het strand erodeert).

Twee stromingen

De getijdenstroom beweegt parallel met de kust. De golfenergie komt ongeveer loodrecht op de kust toe



De golfwerking reikt slechts tot op een zekere diepte (± 10 meter). Golven transporteren dus slechts zand in minder diepe zones. De kracht van de getijstroom reikt veel dieper. Vanaf een zekere zeediepte wordt het tij dominant in de verplaatsing van zand en is de impact van de golven verwaarloosbaar. In ondiepere wateren, zoals op de kustnabije zandbanken of nabij het strand, hebben de golven wél impact. Dat betekent dat de zandbanken en naastliggende geulen nabij de kust een soort 'transportpaden' zijn voor het zand naar of van het strand en de vooroever.

Netto-aanvoer van zand

Golven en getij zorgen voor een aan- en afvoer van zand in verschillende richtingen. Wetenschappers zijn er tot op heden nog niet in geslaagd de precieze dynamiek in kaart te brengen. Metingen van de afgelopen decennia wijzen echter uit dat er gemiddeld over de hele kuststrook een natuurlijke netto-aanvoer is van zand op onze stranden en vooroevers, vermoedelijk afkomstig van de kustnabije zeebodem.

Terwijl de zeespiegel de voorbije 30 jaar met ongeveer 2 mm per jaar is gestegen, heeft de hoeveelheid natuurlijk aangevoerd zand tot een gemiddelde verhoging van de actieve zone met bijna 1 cm per jaar geleid. Daarbovenop hebben we jaarlijks nog eens gemiddeld 1 cm zand gesuppleerd. Die natuurlijke voeding is niet vanzelfsprekend en op veel plaatsen in de wereld anders. We mogen dus van geluk spreken dat de natuur ons een handje helpt. Of eigenlijk is het andersom: door de zandsuppleties helpen wij de natuur een hand-

je en laten we het groeiproces twee keer zo snel gebeuren. Toch kunnen we niet op twee oren slapen. De netto-aangroei is slechts een gemiddelde. Er zijn grote lokale verschillen. Sommige gebieden groeien aan, andere eroderen.

Beperkte zandvoorraden

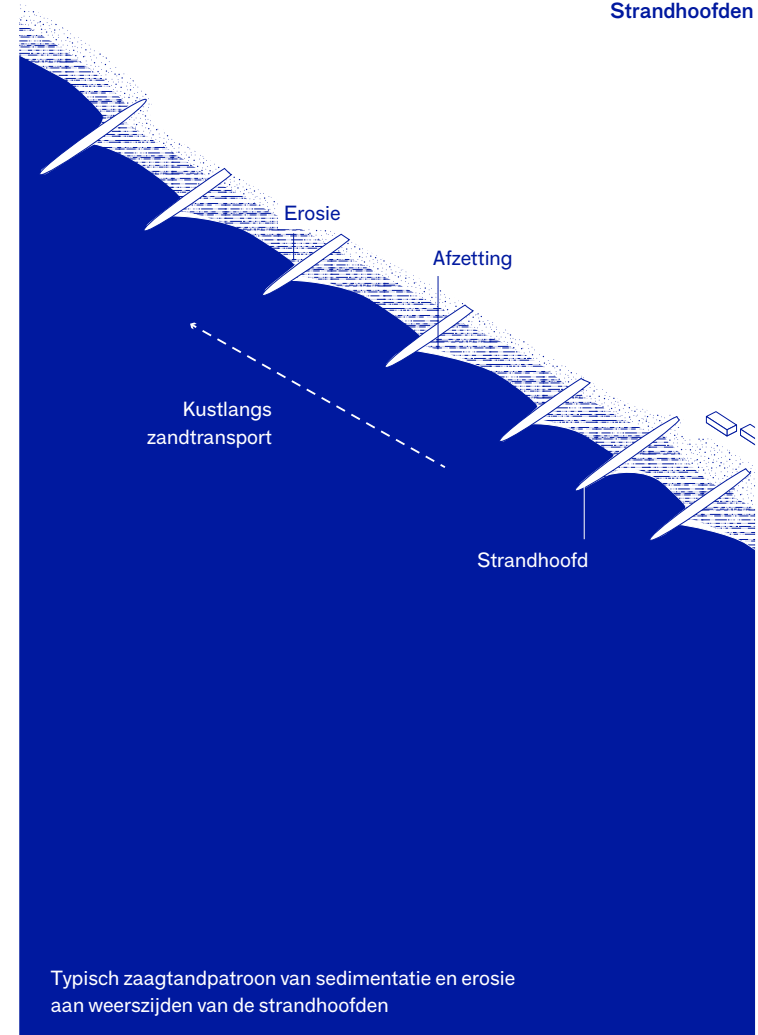
Zandsuppleties vormen vandaag de belangrijkste vorm van zeewering aan de Vlaamse kust. Onze zandvoorraden zijn echter niet onbeperkt. Hoe groot de voorraden zijn, is moeilijk in te schatten. De zandbanken in onze territoriale wateren variëren van 10 tot 20 meter dikte, met een uitschieter van 45 meter voor de kust van Oostende. Ook de kwaliteit van het zand is verschillend. Afhankelijk van de locatie zien we verschillen in korrelgrootte. Sommige zandbanken bestaan zelfs grotendeels uit grind. Nederland is beter bedeed en beschikt over een (quasi onuitputtelijke) deklaag zand van 100 tot 500 meter dikte.

Golfbrekers, strandhoofden en strekdammen

De Vlaamse kustlijn is *man-made*. De voorbije eeuwen heeft de mens de kust gefixeerd tot haar huidige quasi-rechte lijn. Een belangrijk instrument hiertoe waren de *strandhoofden*, harde structuren die op regelmatige afstand tot diep in de zee reiken. In de volksmond noemen we ze 'golfbrekers'. Die naam is niet juist. Strandhoofden breken de golven niet (de golven vallen immers loodrecht op de kust in). Het zijn eigenlijk 'zandvangers'.

Strandhoofden remmen de stroming parallel aan de kust af zodat het zand de kans krijgt te bezinken. Ze voorkomen dat er nabij het strand diepe geulen ontstaan die het zand zouden kunnen wegspoelen. Strandhoofden houden het zand vast, maar zorgen ongewild ook voor erosie. Aan hun westelijke zijde 'vangen' ze het zand dat meekomt met de vloedstroom, maar aan hun oostelijke zijde erodeert het zand. Op luchtfoto's zie je dan ook een typisch zaagtandpatroon van sedimentatie en erosie langs beide zijden van de strandhoofden. Vandaag zijn een deel van de strandhoofden bedolven onder zandsuppleties en hebben ze dus voor een deel hun functie verloren.

Strandhoofden



De *strekdammen* van de haven van Zeebrugge zijn 'golf- en stromingsbrekers'. Ze zorgen ervoor dat schepen ongehinderd door zware golfslag en getijdenstromen de haven kunnen binnenvaren. De westelijke strekdam is echter ongewild ook een 'zandvanger'. Sinds de bouw van de westelijke strekdam in de jaren 1980 is voor de kust van Zeebrugge een reusachtige zandbuffer ontstaan. Jaarlijks vangt hij 370.000 m³ zand.



De zandmotor

Zandbanken nabij de kust zijn ‘transportpaden’ voor de zand-aanvoer op onze kust. Men kan trachten die te versterken of te herstellen om op die manier een ‘natuurlijke’ voeding van de kustlijn te realiseren. Dat is het principe van de *zandmotor*. In plaats van het zand neer te leggen op de plaats waar men wil dat het komt, legt men het elders neer, bijvoorbeeld dieper in zee, of geconcentreerd op één locatie aan de kustlijn. Vervolgens laat men de natuur haar werk doen.

In 2011 bouwde Nederland een zandmotor voor de kust van Hoek van Holland. Hier nam de zandmotor de vorm aan van een schiereiland van ongeveer 5 kilometer lang en 1 km breed. Er was maar liefst 20 miljoen m³ zand voor nodig. Onder invloed van getijdenstroming, golven en wind zal het zand zich in de loop der jaren verder verspreiden langs de kust. De zandmotor zorgt ervoor dat er de komende decennia bredere en hogere stranden en duinen ontstaan in een zone van tientallen kilometers tussen Hoek van Holland en Scheveningen. Bijkomende zandsuppleties zouden voortaan overbodig zijn. Verder onderzoek moet uitwijzen of een zandmotor een volwaardig alternatief vormt voor klassieke zandsuppleties.



Zandmotor voor de kust van Zuid-Holland



Voorspelling na 5 jaar



Voorspelling na 10 jaar



Voorspelling na 15 jaar

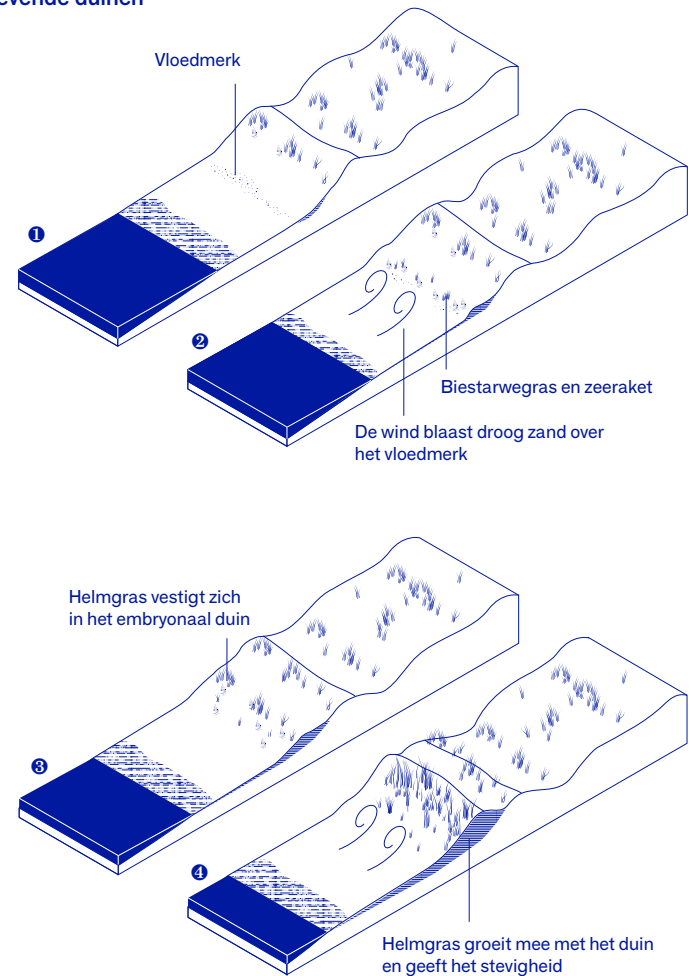
EOLISCHE SEDIMENTATIE

Levende duinen

De zee legt het zand neer op het strand (*mariene sedimentatie*). Vanaf dan neemt de wind het over (*eolisch transport*). De wind brengt het zand hogerop, naar het droog strand en vervolgens naar het duin. Aangepaste plantengroei zoals helm, duinzwenkgras, zandzegge en duindoorn houden het duin min of meer op zijn plaats.

Duinen zijn ‘levende duinen’. In een natuurlijke situatie kunnen duinen vanzelf ontstaan, groeien en herstellen. Daarvoor is meer nodig dan wind alleen. *Embryonale duinen* ontstaan in het vloedmerk van een hoger gelegen storm- of springvloedlijn. In het vloedmerk zet het water allerlei organisch materiaal af zoals afgestorven zeewier, schelpdieren of stukjes hout, die vervolgens bedolven worden onder het opstuivend zand. Het afval is de ideale voedingsbodem voor bijzondere pioniersplantjes zoals *zeeraket* en *biestarwegras*. Zeeraket is een eenjarige plant die zich verspreidt door middel van zaden die met het zeewater meegevoerd worden. Het kan ontkiemen en groeien in een zoute omgeving. Met zijn wortels geeft het stabiliteit aan het zand. Het stuivende zand dat zich rond de planten ophoopt, leidt tot de allereerste stadia van duinvorming.

Levende duinen



Vervolgens brengt biestarwegras de duinvorming op gang. Biestarwegras kan zich perfect in een zilte omgeving vestigen mits het zoutgehalte enigszins door de neerslag wordt verdund. Eens gevestigd is de soort zeer zouttolerant. Het uitgebreide maar ondiepe wortelstelsel houdt het zand vast dat met de wind komt aanwaaien. Het duintje wordt steeds steviger en groter. Als het duintje hoog genoeg is en niet meer overspoeld wordt door het zeewater, neemt een andere grassoort de rol van ‘zandbinder’ over: *helm*. Helm is een snelle groeier en een sterke plant die goed bestand is tegen droogte, warmte, harde wind en stuivend zand. Het enige waar helmgras niet tegen kan, is overstroming door zoutwater. Helmgras heeft een vertakt en diepgaand stelsel van wortelstokken (rhizoom) waarmee het een zandaanwas van 1 meter per jaar kan bijhouden. Helm is, met andere woorden, goed in staat om mee te groeien met de overstuiving van zand. Hierdoor kan het duin snel groeien.

Toerisme verhindert natuurlijke duingroei

Duinen zijn actieve systemen. Als er genoeg aanvoer is van zand vanuit de zee, kan het duin en dus ook de kustlijn zich zeewaarts uitbreiden. Dat vraagt natuurlijk dat onze kusten ongemoeid worden gelaten. Embryonale duinvorming is op bepaalde stukken kust moeilijk vanwege de recreatie op het strand en de machinale strandreiniging. Ook op plaatsen waar een dijk of een weg is aangelegd tussen strand en duinen, is de natuurlijke dynamiek verstoord.

Op de meeste toeristische stranden wordt het vloedmerk in de vroege ochtend mechanisch verwijderd met een grote zeef die achter een tractor wordt gesleept. Het vloedmerk bestaat immers voor een groot deel uit plantaardig en dierlijk afval, maar er zit ook veel ander afval tussen. Veel mensen vinden het maar een vuile boel. En als er in het voorjaar al jonge duintjes ontstaan, worden die bij de eerste warme dagen platgelopen door de badgasten. Zeeraket en biestarwegras krijgen nauwelijks nog de kans om te ontkiemen en het zand vast te leggen.

Op sommige plaatsen aan de Vlaamse kust, zoals in Oostende (zone tussen Raversijde en Mariakerke), loopt een project om nieuwe duinen te laten ontstaan. Het volstaat om een gedeelte van het strand af te sluiten voor het publiek en het twee jaar lang ongemoeid te laten. Eenmaal planten in het vloedmerk beginnen te kiemen is het systeem vertrokken.

Duinen zijn zelfhelende systemen

Duinen hebben een belangrijke functie als waterkering. Dat gebeurt niet dagelijks. Enkel bij zware stormvloed bereiken de golven de duinen. Op dat moment kunnen de golven een deel van het duin afslaan. Dat is niet zo heel erg. Het duin zal nadien vanzelf grotendeels weer aangroeien. In de zachtere zomermaanden voert de wind het zand opnieuw tot in het duin, waar helm het zand opnieuw vasthoudt. Waar duinen plaats gemaakt hebben voor dijken of waar een dijk of duinvoet voor de duinen liggen en het contact met de zee is verstoord, werkt de natuurlijke dynamiek van de zachte zeewering niet meer zo goed.

Klifvorming na een zware storm

In 2017 teisterde storm Dieter de Vlaamse kust. Nadat de storm was gaan liggen, bleek dat het water grote hoeveelheden van het zand had weggeslagen. Hoog op het strand of in de duinen waren kliffen ontstaan van soms wel 2 meter hoog. Bulldozers moesten uitrukken om het strand te nivelleren om nieuwsgierige bezoekers te behoeden voor instortingsgevaar. De metershoge kliffen voedden de perceptie dat de zandsuppleties een maat voor niets zijn. Het leek wel of het strand verdwenen was. Dat is echter niet noodzakelijk waar. Het zand is weliswaar meegenomen door de zee, maar het is niet weg. Je ziet het niet maar het is er nog. Het ligt uitgesmeerd op de vooroever. Het is niet uit het actieve systeem verdwenen en zal na verloop van tijd door de golven weer op het strand en vervolgens door de wind weer in de duinen gebracht worden. Klifvorming is een deel van de natuurlijke dynamiek van een zachte zeewering die zichzelf ook herstelt.

HOOFDSTUK 5

HET WATER- SYSTEEM IN DE POLDERS

Met een afdoende zeewering is het overstromingsgevaar nog niet geweken. De dreiging van het water komt immers niet alleen van de kant van de zee, maar ook vanuit het binnenland. Door de toename van de neerslag, vooral in de wintermaanden, zal het laaggelegen gebied achter de zeewering steeds meer water te verwerken krijgen. De polders, die een heel stuk lager liggen dan de vloedlijn, dreigen te overstromen. In de zomers daarentegen dreigt droogte.

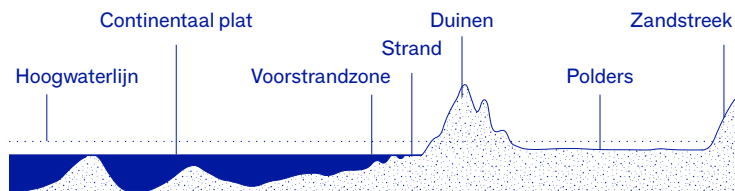
HET POLDERLANDSCHAP

De polders zijn man-made

De polders hebben niet altijd bestaan. Ze zijn door de mens gemaakt. In de vroege middeleeuwen was de huidige kustregio nog een landschap van schorren en slikken dat regelmatig overstroomde. De zee reikte via brede getijdengeulen tot kilometers diep in het binnenland. Het Zwin was zo'n getijdengeul. Zeeschepen konden er tot Brugge varen en de stad groeide in de 13de en 14de eeuw uit tot het economisch centrum van Noord-West-Europa.

De polders, een badkuip achter de zeewering

De zee zet geen sedimenten meer af. De polders komen lager te liggen dan de vloedlijn

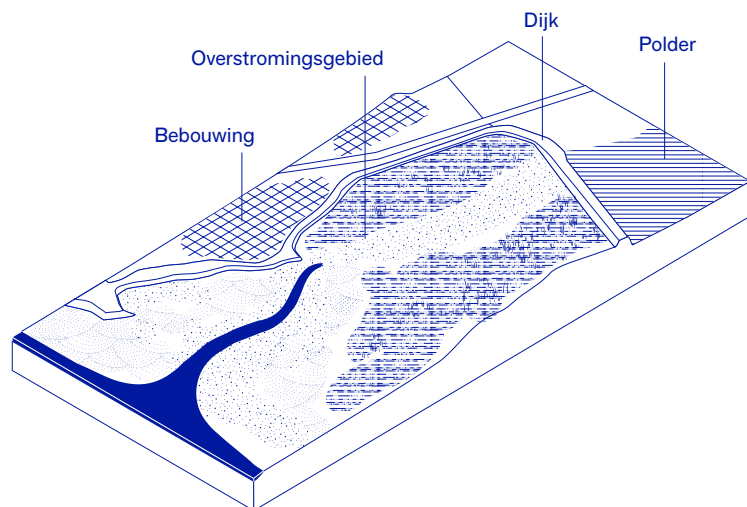


De middeleeuwse ontginning van de kustvlakte ging aanvankelijk niet gepaard met actieve of systematische inpoldering, maar wel met het in gebruik nemen van natuurlijk opgeslibde gebieden. Vanaf ongeveer het jaar 1000 begonnen boeren en landheren uit het graafschap Vlaanderen dijkes te bouwen, in eerste instantie langs de getijdengeulen (en dus dwars op de zee), later ook parallel met de zee. Beetje bij beetje maakten ze opgeslibde gronden geschikt voor de landbouw. Aanvankelijk werd er dus niet actief land gewonnen op de zee, veeleer werd nieuw, opgeslibd land beschermd tegen overstromingen.

Duizend jaar lang zijn de polders, dankzij de landbouw, een bron van rijkdom geweest. Hieraan was wel een prijs verbonden. Polders zijn artificiële landschappen die op een artificiële manier in stand gehouden moeten worden. Behalve het onderhoud en versterken van dijken en andere waterkeringen moet de mens voortdurend het juiste waterpeil regelen om aan landbouw te kunnen doen. Een uitgekiend en zeer dicht netwerk van grachten, sloten, kanalen, sluizen en stuwen voert het overtollige regenwater af naar zee. Zeker in de wintermaanden, met een hoog neerslagoverschot, moeten de laaggelegen polders een aanzienlijke hoeveelheid water zien kwijt te geraken.

Het Zwin

Het overstromingsgebied ligt hoger dan de polders

**De polders klinken in**

Eenmaal de zee niet meer over het land kan stromen, zet ze ook geen sedimenten zoals zand of slib meer af. Het gevolg is dat het land niet meer kan aangroeien of opslibben. Meer nog, doorheen de eeuwen is het niveau van de polders zelfs gedaald. Dat fenomeen heet het *inklinken* van de polders. Door het voortdurend afwateren of draineren van de polder daalt het grondwater en verliest de bodem aan volume. Het proces van klink wordt nog versterkt wanneer er veenlagen in de ondergrond aanwezig zijn. Veen bestaat uit afgestorven organisch materiaal dat is achtergebleven door eeuwenlange begroeiing. Wanneer het water uit het veen verdwijnt en het veen in aanraking komt met de zuurstof in de lucht, mineraliseert het organisch materiaal en neemt het sterk af in volume.

Het paradoxale gevolg hiervan is dat de polders vandaag heel wat lager liggen dan gebieden die regelmatig door zee worden overspoeld. De Zwinvlakte bijvoorbeeld, ligt vandaag zo'n halve meter hoger dan de aangrenzende polders. En het Verdrongen Land van Saeftinghe aan de oevers van de Westerschelde vormt vandaag het hoogste punt van Zeeuws-Vlaanderen.

De inversie van het landschap

Het vroegmiddeleeuwse kustlandschap van slikken, schorren en getijdengeulen is vandaag nog op een heel opmerkelijke manier zichtbaar. Het huidige landschap lijkt wel een *inversie* van het middeleeuwse landschap. Op de hoogtekkaart springen vooral de kreekruggen en de moeren in het oog.

Kreekruggen bestaan uit zandige formaties die tot meer dan een meter hoger liggen dan de omliggende venige en kleiige kom- of poelgronden. In vroegere tijden waren de kreekruggen de *getijdengeulen*, brede zeearmen die tot kilometers diep in het binnenland reikten. De diepste plekken in het landschap zijn vandaag de hoogste punten omdat hun bodem voornamelijk uit stabiel zand bestaat. In het schorrengebied langs de getijdengeulen zette zich geen zand maar meer fijnkorrelige klei af. De veen- en kleigronden zijn later, na het inpolderen, ingeklonken, zodat ze lager zijn komen te liggen dan de kreekruggen.

De laagste poldergebieden zijn vandaag de *moeren* van Adinkerke en Meetkerke. Duizend jaar geleden waren de moeren van Meetkerke net een van de hoogstgelegen punten in de kustvlakte. Het was een weelderig begroeid, weinig kustmoeras waar de zee nooit kwam. Het afgestorven plantenmateriaal dat doorheen de eeuwen is geaccumuleerd, heeft op die plaats een turflaag doen ontstaan. Die is na inpoldering door de mens gretig ontgonnen als brandstof, waardoor het land is gedaald. De moeren van Adinkerke waren oorspronkelijk een permanent onder water staande kustlagune, die later is drooggelegd. Deze bijzondere eigenschappen van reliëf en bodem zullen belangrijk blijken voor een toekomstige aanpak van de waterproblematiek in de polders.

De inversie van het landschap

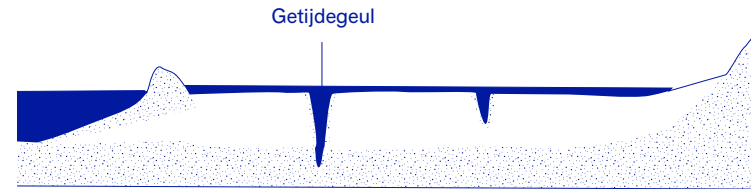
☐ Zand

■ Zeewater

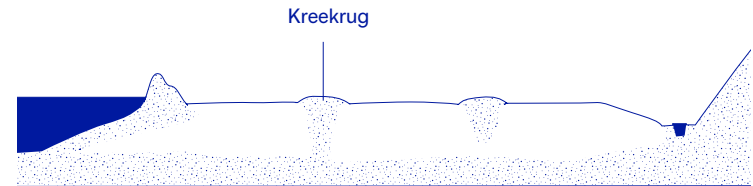
□ Veen/klei

⊠ Turf

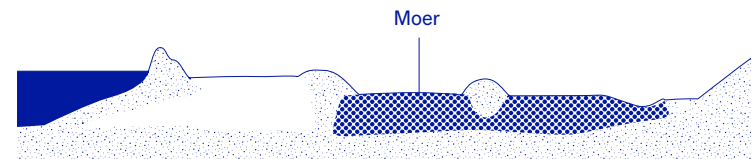
In de middeleeuwen overstroomde de kust regelmatig. Getijdengeulen drongen tot diep het binnenland in



Na inpoldering zetten zich geen sedimenten meer af. Het land groeit niet meer aan. Door het inklinken van de polders zijn de voormalige getijdengeulen (of kreekruggen) de hoogste formaties in het landschap

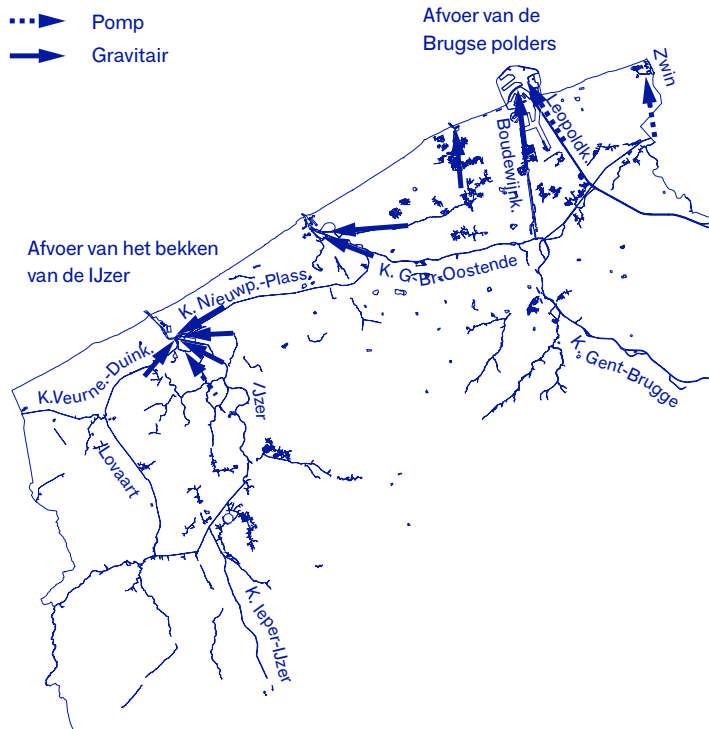


Op plaatsen waar turf is afgegraven, ligt het land nog lager



Lozing in zee

Het overtollige regenwater van het bekken van de IJzer en het bekken van de Brugse polders wordt op verschillende plaatsen afgevoerd naar zee



OVERTOLLIG REGENWATER

Gravitaire lozing van overtollig water

Overtollig regenwater dat op het land neervalt, komt uiteindelijk terecht in zee. De kustpolders moeten niet alleen het lokale regenwater, maar ook al het water uit de stroomopwaarts gelegen gebieden verwerken en afvoeren naar zee. Het kustgebied is georganiseerd volgens twee grote watersystemen: in het westelijke deel stroomt het water af via het bekken van de IJzer (en tal van kanalen zoals het kanaal Ieper-IJzer of het Lokanaal). In het oostelijke deel van het kustgebied, in het bekken van de Brugse polder, stroomt het water naar zee via onder meer het kanaal Brugge-Oostende, het Leopoldkanaal en het Schipdonkkanaal. Het kanaal Brugge-Oostende en het Schipdonkanaal voeren hoofdzakelijk het water van het achterland af naar zee, meer bepaald van het Schelde-Leiebekken. Het Leopoldkanaal watert de oostelijke polders af richting Zeebrugge. Het is gegraven kort na de onafhankelijkheid van België. Een van de bepalingen in het 'Scheidingsverdrag' was namelijk dat de Belgische polders niet meer mochten afwateren richting Nederland.

Zowel in het bekken van de IJzer als in het bekken van de Brugse polders wordt het water grotendeels *gravitair* naar zee onttrokken. Dat wil zeggen dat er geen pompen of gemalen gebruikt worden, maar dat het water gewoon van hoog naar laag stroomt. Slechts op een paar plekken, zoals aan de Noordvaart in Veurne-Ambacht, het Leopoldkanaal in de haven van Zeebrugge, en sinds 2019 ook aan het uitgebrei-

de Zwin, zijn bemalingsstations gebouwd die het water bij noodweer over de dijk pompen. De Vlaamse polders verschillen dus sterk van de Nederlandse polders, waar het water in hoger gelegen grachten opgepompt wordt om vervolgens af te wateren naar zee.

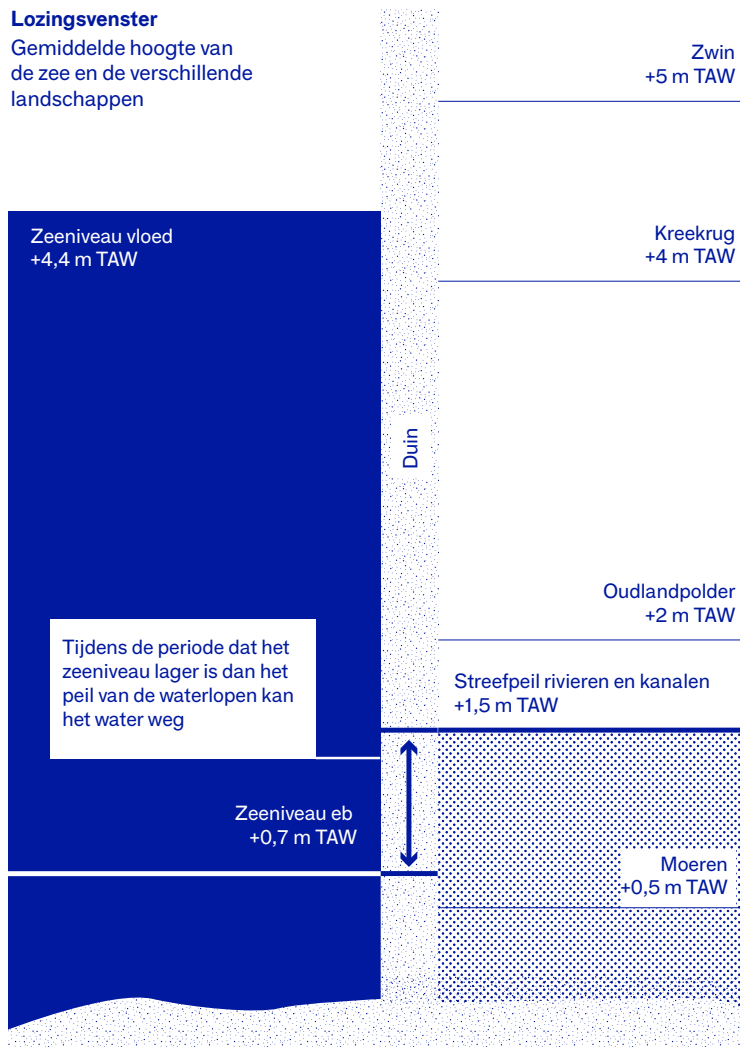
Getijgebonden lozing

Bij een gravitaire afwatering kan de lozing in zee enkel gebeuren bij eb. De polders liggen immers onder het niveau van de vloedlijn. Bij opkomend tij gaan de sluizen weer dicht zodat het zeewater niet het land in vloeit. Dat betekent dat het water slechts enkele uren per etmaal naar zee kan stromen. Dat is het zogenaamde *lozingsvenster*. Buiten de lozingsperiode moet het water gebufferd worden in de waterlopenstelsels van de polders.

Het lozingsvenster verschilt van waterloop tot waterloop. Het lozingsvenster van waterlopen die de polders draineren, of van de IJzer, de enige natuurlijke waterloop in de kustvlakte, is het kleinst. Andere kanalen zoals het Kanaal Brugge-Oostende en het Schipdonkkanaal lozen vooral water uit het hoger gelegen achterland. Deze kanalen zijn als het ware 'opgelegde' systemen. De kanalen liggen een stuk boven het maaiveld. Hun waterpeil ligt dus hoger dan het waterpeil van de omgeving. Ze hebben dan ook een groter lozingsvenster.

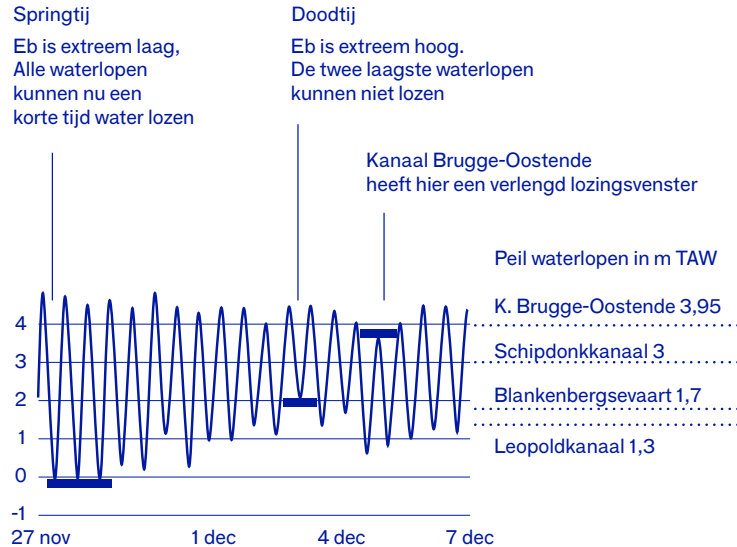
Lozingsvenster

Gemiddelde hoogte van de zee en de verschillende landschappen



Lozingsvenster afhankelijk van zeeniveau

Zeepeil te Oostende, in 2007



Het lozingsvenster is variabel en verschilt van dag tot dag, afhankelijk van de waterstanden op zee. Bij doortij bijvoorbeeld, is de lozingscapaciteit minimaal. Bij doortij is er namelijk nog maar een klein hoogteverschil tussen eb en vloed en ligt de laagwaterlijn veel hoger dan normaal. Ook een zware storm in combinatie met hevige neerslag vormt een bedreiging. Door de stormopzet verhoogt het waterpeil op zee en kan het regenwater niet meer wegstromen. Het overstromingsgevaar komt dan van beide kanten, zowel vanuit de zee als vanuit het achterland.

Als de zeespiegel stijgt verkleint het lozingsvenster

Door de klimaatverandering zijn de polders extra gevoelig voor overstromingen. Als de zeespiegel en dus ook de laagwaterlijn stijgt, zal het lozingsvenster – of de periode waarin het water naar zee kan stromen – steeds kleiner worden. Als het dan ook nog eens, zeker in de wintermaanden, meer en harder gaat regenen, moet men nieuwe oplossingen bedenken, zoals het installeren van pompsystemen of meer ruimte voorzien om meer water langer vast te houden in de polders (zie Hoofdstuk 7).

HET PEILBEHEER IN DE POLDERS

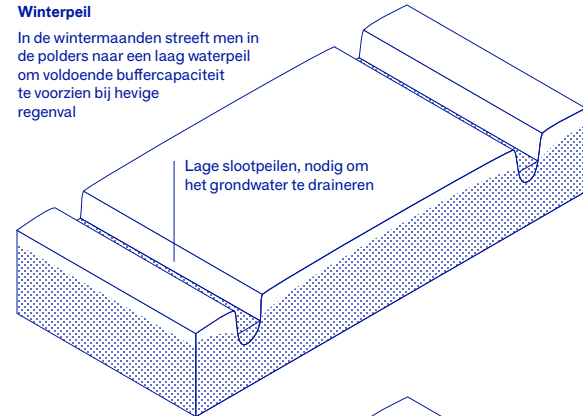
Lage winterpeilen, hoge zomerpeilen

De polders zijn *man-made* en vragen om een voortdurend beheer van de mens. Het waterpeil in het laaggelegen gebied moet kunstmatig geregeld worden. Het huidige peilbeheer in de polders streeft in principe naar *lage winterpeilen* en *hoge zomerpeilen*. Hiervoor bestaan verschillende redenen. Een kunstmatig laag waterpeil in de winter is nodig om voorbereid te zijn op zware en langdurige regenval. Een 'preventief' laag waterpeil creëert extra buffercapaciteit om het lokale regenwater te bergen. Bij te hoge waterstanden zouden de polders tijdens onze natte winters bij onverwachte regenval overstromen.

Ook de landbouw is vragende partij voor lage waterstanden in het vroege voorjaar en het najaar, zodat het land berijdbaar en bewerkbaar is met zware landbouwmachines. In de zomerperiode daarentegen, is een relatief hoog waterpeil nodig. Er is namelijk voldoende water nodig voor de groei van planten en als drinkwater voor het vee. Een andere belangrijke reden voor hoge waterstanden in de zomer is om *verzilting* van de bodem en het grachtensysteem tegen te gaan (zie Hoofdstuk 6).

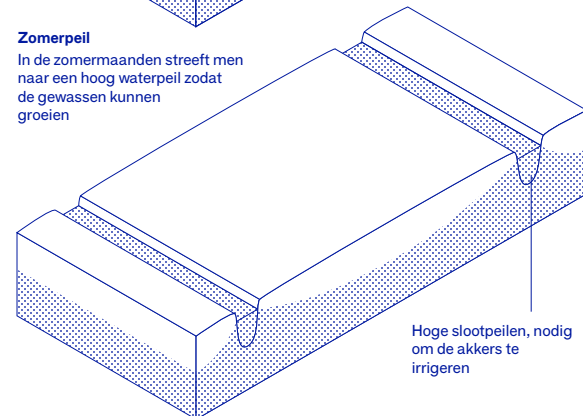
Winterpeil

In de wintermaanden streeft men in de polders naar een laag waterpeil om voldoende buffercapaciteit te voorzien bij hevige regenval



Zomerpeil

In de zomermaanden streeft men naar een hoog waterpeil zodat de gewassen kunnen groeien



De inversie van het peilbeheer

De vraag naar lage winter- en hoge zomerpeilen is zeer begrijpelijk vanuit de landbouwsector en de waterbeheersingssector, maar de natuurlijke situatie is precies omgekeerd. Onze winters zijn nat en onze zomers droog. Door de klimaatverandering zal dit contrast nog toenemen. De zomers worden flink droger en de winters heel wat natter. In de winter dreigt wateroverlast, in de zomer dreigt een zoetwatertekort.

Het basisprincipe van het peilbeheer in de polders (lagere winterpeilen, hogere zomerpeilen) is een relatief recent fenomeen. Het dient vooral de moderne landbouw en op sommige plaatsen ook de bescherming van woongebieden. Voor de jaren 1960 was de situatie anders. Er bestonden nog geen zware landbouwmachines, er was veel meer grasland dan akkerland en de landbouw was ook minder intensief. Lage winterpeilen waren helemaal niet nodig. In de winter stonden de polders dan ook regelmatig blank. Dat had als grote voordeel dat de grondwatervoorraden aangevuld werden, zodat er ook in drogere zomers voldoende zoetwater aanwezig was.

Toenemende droogte

In de winter dreigt overstromingsgevaar. Maar ook de toenemende droogte in de zomers vormt een probleem. Aanhoudende droogte kan leiden tot zoetwatertekorten voor de landbouw, de natuur en de winning van drinkwater. Ook de scheepvaart (de bevaarbaarheid van waterlopen) en de industrie (bijvoorbeeld koelwater) komen in het gedrang. De kunstmatig lage waterpeilen in het voorjaar versterken dit

probleem. Ze kunnen leiden tot een tekort aan grondwater in de zomer. We voeren water af in de winter, dat in de zomer erg van pas zou kunnen komen.

Daar komt nog bij dat droogte in toenemende mate leidt tot de *verzilting* van de polderbodems en de waterlopen. De klimaatverandering zorgt voor een dubbele uitdaging: de *kwaliteit* van water (te veel of te weinig) alsook de *kwantiteit* van het water (zoet of zout). Aan de Vlaamse kust zijn de droogte- en de verziltingsproblematiek sterk met elkaar verbonden.

HOOFDSTUK 6

ZOET EN ZOUT [DROOGTE]

De kust is de plek waar land en zee elkaar raken. Het is ook de plek waar zoet en zout met elkaar botsen. Met de klimaatverandering kijken we aan tegen langere periodes van droogte. Wanneer de zoetwaterlenzen (freatisch grondwater) uitgeput raken, kwelt het zoute water uit de diepere ondergrond naar de oppervlakte. De verzilting van de bodem kan ernstige problemen opleveren voor de landbouw en de drinkwatervoorziening. Aan de Vlaamse kust zijn droogte en verzilting twee keerzijden van dezelfde problematiek.

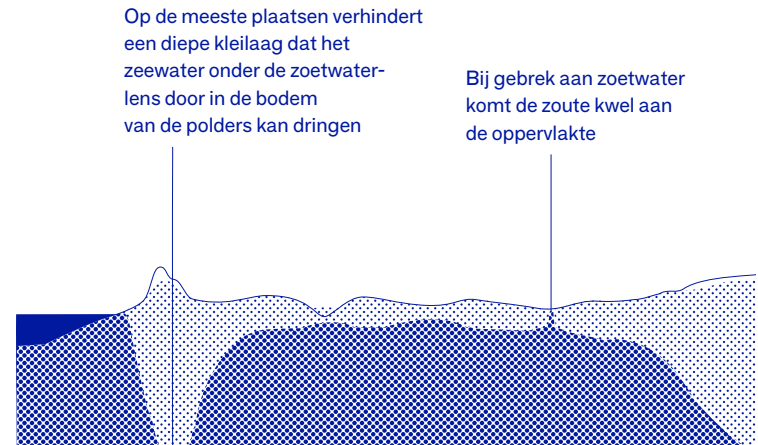
VERZILTING

Zoetwaterlenzen bovenop een zoute grondwaterlaag

Wat nu de polders zijn was zo'n 1500 jaar geleden nog een soort waddengebied. Door de natuurlijke groei van duinengordels, het dichtslibben van getijdengeulen en de bouw van dijken vanaf de middeleeuwen, kon de zee het land steeds minder vaak overspoelen. De kustvlakte kwam meer en meer onder zoete invloed te staan. In plaats van zout zee-water kon enkel nog zoet regenwater naar het grondwater doorsijpelen. Er vormde zich een *zoetwaterlens* bovenop de diepere zoute grondwaterlaag. Dit *freatisch grondwater* maakte het land geschikt voor landbouw. Tot op vandaag is het water in de diepere ondergrond van de polders nog steeds zout. Omdat zoutwater zwaarder is dan zoetwater mengt het zoete grondwater maar zeer beperkt met het zoute. Het zoetwater drijft dus als het ware boven het zoutwater. De diepte van de zoutwaterlaag varieert. Op sommige plaatsen ligt ze tot op 40 meter diepte, op andere plaatsen op nauwelijks 2 tot 3 meter.

Onder de zoetwaterlenzen in de polders bevindt zich een oudere zoutwaterlaag

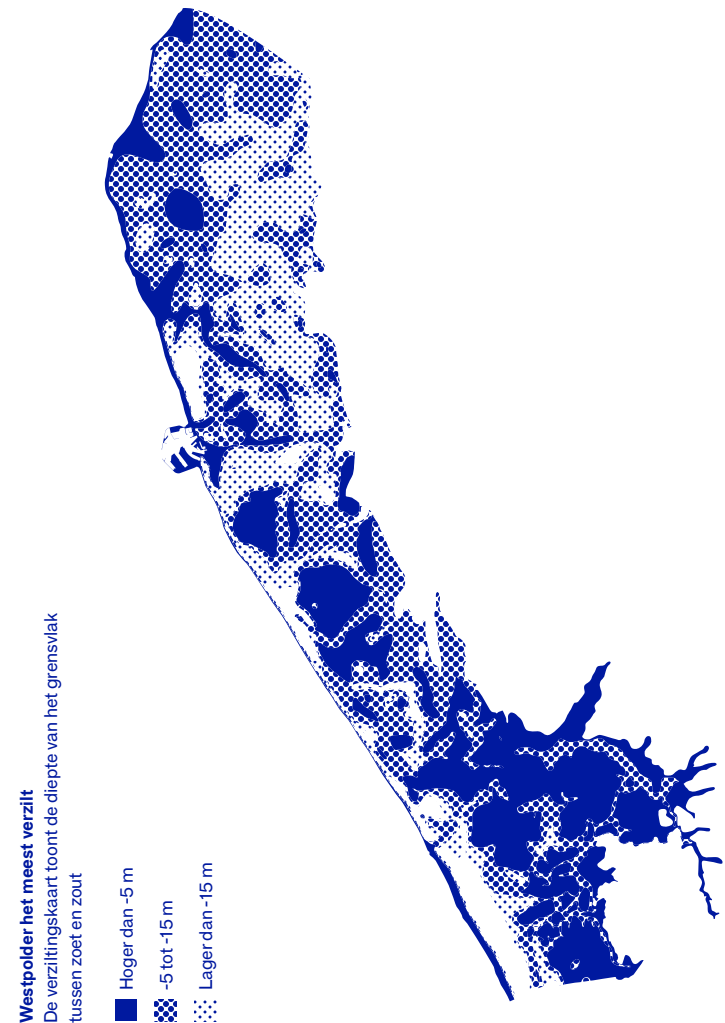
■ Zoutwater ■ Zoetwater



Verziltingskaart weerspiegelt bodemgesteldheid en reliëf

De *verziltingskaart* van de polders toont een schijnbaar chaotisch patroon, dat evenwel bepaald wordt door de eigenschappen van de bodem. Plaatsen waar het zoutwater ondiep ligt, vallen meestal samen met de *moeren* en de *poelgronden*. *Moeren* zijn turfrijke gronden die in de loop van de geschiedenis ontgonnen zijn. *Poelgronden* zijn laaggelegen gronden die bestaan uit slecht doorlatende sedimenten zoals klei of leem. Zulke gebieden moet men sterk draineren om ze droog te houden. Het grootste deel van het regenwater wordt zo snel mogelijk afgevoerd. Slechts een klein deel kan in de bodem infiltreren. Het gevolg is dat het zoutwater hier nu nog altijd ondiep voorkomt.

Op plaatsen waar er goed doorlatende sedimenten zoals zand voorkomen, meer bepaald op de *kreekruggen* (de vroegere getijdengeulen), hebben zich grote zoetwaterlenzen gevormd. Hier is een minder dicht netwerk aan drainagegrachten nodig omdat zand goed doorlatend is en omdat de kreekruggen hoger gelegen zijn. Daardoor kan er meer zoetwater in de bodem infiltreren. De vorming van een zoetwaterlens gaat relatief snel. In 200 tot 250 jaar tijd kunnen zich grote lenzen hebben gevormd.



Zoute kwel

Het zoete water drijft bovenop de zoute grondwaterlaag en duwt deze laag naar beneden. Wanneer de omvang van de zoetwaterlens afneemt – hetzij door droogte, hetzij door drainage van de polders – stijgt het diepere, zoute grondwater naar boven. Dat fenomeen heet *zoute kwel*. Op sommige plaatsen in de polders treedt vandaag al verzilting op door zoute kwel. Zoute kwel doet zich het eerst voor in de laagstgelegene delen van de polders, met name in de sloten en watergangen. Hier heeft zich een interessante (maar in de loop der eeuwen steeds zeldzamer geworden) zilt natuur kunnen ontwikkelen. Als de zoute kwel beperkt blijft tot de dieper gelegen sloten, hoeven landbouwers daar in principe weinig hinder van te ondervinden. Op de percelen zelf hebben zich immers neerslaglenzen ontwikkeld waarop gewassen kunnen groeien. Zoute kwel kan wel problemen opleveren voor de veeteelt. Het zoute slootwater kan immers niet dienen als drinkwater voor het vee. Dat is een reden waarom in de meest weilanden in de polders poelen zijn aangelegd. Zoute kwel wordt pas echt problematisch als het grensvlak tussen zoet en zout nog verder naar boven opschuift en het zoute grondwater in de wortelzone van de planten terecht komt.

Andere oorzaken van verzilting

Behalve door de stijging van het grensvlak tussen zoet- en zoutwater in de bodem of de verzilting van het water in sloten, zijn er nog andere oorzaken van verzilting aan te wijzen, zoals zee-overstromingen door dijkbreuken, de verstuiwing van fijne zeewaterdruppels door de wind vanuit de zee op het land,

of het binnendringen van zout zeewater via de zeesluizen van kanalen en waterlopen. De eerste twee oorzaken zijn verwaarloosbaar. Dijkbreuken komen in de recente geschiedenis nauwelijks voor in Vlaanderen en de verstuiwing van zeewater reikt niet al te diep het land in omdat de ‘zoute wind’ vooral in de duinen neerslaat. De derde oorzaak stelt vooral lokale problemen. In het Boudewijnkanaal bijvoorbeeld, dringt het zoutwater tot kilometers diep het binnenland in. Omdat het kanaal heel wat hoger ligt dan de omliggende polders, sijpelt het water de bodem in, waar het zout (in eerste instantie) de bomen aantast. Een vierde oorzaak van de verzilting van de bodem is de *beregening van gewassen* met zilt water uit de poldergrachten. Dat kan zich voordoen in te droge zomers, wanneer er te weinig zoetwater voorhanden is en het water in de poldergrachten een hoger zoutgehalte heeft.

Grachten doorspoelen met zoetwater

Het probleem van zoute kwel in het oppervlaktewatersysteem wordt sinds oudsher opgelost door de grachten en sloten *door te spoelen* of te verdunnen met zoetwater en het brakke water vervolgens af te voeren naar zee. Maar dan moet er natuurlijk voldoende zoetwater beschikbaar zijn. Door het draineren van de polders in de winter en het voorjaar is al veel zoetwater verloren gegaan. In heel droge zomers kan men via de kanalen zoetwater uit het achterland aanvoeren. Maar ook hier is de beschikbaarheid van grote zoetwatervoorraden niet altijd gegarandeerd. Als men in tijden van droogte te veel water van de kanalen naar de polders voert, kan de scheepvaart in het gedrang komen.

Tot voor kort vormde de verzilting van het oppervlaktewaterstelsel geen acuut probleem voor de landbouw in de polders. Maar daar komt stilaan verandering in. De zomers van 2017, 2018 en 2019 luiden de alarmbel. De zomers waren uitzonderlijk droog, terwijl de winters niet nat genoeg waren om het grondwaterpeil aan te vullen. Er was onvoldoende zoetwater beschikbaar om de grachten door te spoelen. In 2018 werden in de polderwaterlopen zoutwaarden gemeten boven 4000 mg/l, wat een risico inhoudt voor de volksgezondheid en de landbouw. Het water was ondrinkbaar voor mens en vee en ongeschikt voor irrigatie. Vanaf waarden boven 10000 mg/l is het water te zout en daardoor levensbedreigend. Door de klimaatverandering en toenemende droogte in de zomermaanden zal het probleem van de verzilting van het oppervlaktewaterstelsel alleen nog maar toenemen.

De verslemping van kleibodems

Zoute kwel vormt pas echt een probleem voor de landbouw als het zoutwater de wortelzone van de planten bereikt. Aangezien niet alle planten even diep wortelen is de verziltingsproblematiek van de bodem dus ook teeltafhankelijk. Bomen, die diep wortelen, sterven het eerst.

De verzilting van de bodem is nefast voor de kleibodems in de polder. Door een chemisch proces verandert zout de minerale structuur van klei, een verschijnsel dat *verslemping* wordt genoemd. Gewassen groeien minder goed op verslepte gronden. Eenmaal een bodem in contact is ge-

komen met zout of brak water duurt het jaren voor hij kan herstellen. Berekening van zandige bodems (zoals bijvoorbeeld de kreekruggen) met zilt water is daarentegen minder problematisch. De zoute mineralen binden zich niet aan de elektrisch neutrale zandkorrels en verdwijnen dus ook als het land opnieuw beregend wordt met zoetwater.

ZOETWATERLENZEN IN DE DUINEN

Duinen vormen buffer tegen verzilting

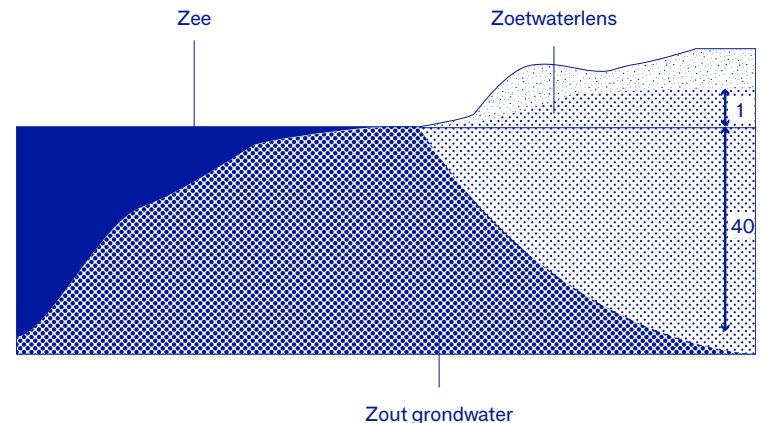
Net zoals in de kreekruggen hebben zich ook in de zandige duinen enorme zoetwaterlenzen gevormd. Door de neerwaartse druk van de zoetwaterlens raakt het onderliggende zoute grondwaterlichaam zelfs ingedeukt. Het zoetwater drijft het zoute water diep in de grond. In theorie (in de literatuur bekend als het *principe van Ghyben-Herzberg*) reikt de zoete grondwaterbel voor elke meter 'opbolling' boven zeeniveau maar liefst tot 40 meter diep. In de realiteit wordt deze diepte aan de Vlaamse kust niet gehaald, omdat er zich op de meeste plaatsen slecht doorlatende kleilagen in de ondergrond bevinden.

Op de plaats waar land en zee elkaar raken, is de situatie nog complexer. In de zeebodem, onder het strand, bevindt zich namelijk zoutwater. Het bevindt zich tot op de hoogte van het hoogwater en voert een ondergrondse druk uit in de richting van het land.

De zoetwaterlens in de duinen vormt een buffer tegen de invasie van zout zeewater in de polders. Als de duinen breed genoeg zijn, wordt de toegang van de zee tot het achterland als het ware afgeknepen. Aan de westkust is die buffer sterk ontwikkeld. De duinengordel is hier op sommige plaatsen tot 3 kilometer breed. Bovendien rust de zoetwaterbel er op een ondoordringbare kleilaag. Aan de oostkust daarentegen, is de duinenrij soms smaller en doorgaans minder hoog en reikt de zoetwaterlens niet tot de ondoordringbare kleilagen. Op sommige plekken aan de oostkust loopt de zee dus onder de duinen door. Ook hier ontstaan problemen met zoute kwel.

Principe van Ghyben-Herzberg

Volgens het principe van Ghyben-Herzberg reikt de zoete grondwaterlens in de duinen voor elke meter 'opbolling' boven zeeniveau maar liefst tot 40 meter diep. De ondergrondse instroom van zout zeewater wordt op die manier afgeknepen



Duinen zijn drinkwaterreservoirs

Door de aanwezigheid van zoute grondwaterlagen kan men in de polders, anders dan in andere gebieden in Vlaanderen, niet overal grondwater putten om drinkwater te produceren. Sinds de 20ste eeuw spelen de duinen – of wat er nog van overgebleven is – een belangrijke rol als drinkwaterreservoir. Vooral de bredere duingebieden tussen Nieuwpoort en de Franse grens en ten oosten van Knokke bevatten uitgebreide zoetwaterlenzen. Het zijn de belangrijkste plaatsen aan de kust voor het winnen van drinkwater.

De zoetwateronttrekking heeft in de loop der decennia geleid tot een afnemende zoetwatervoorraad in de duinen. Dat heeft gevolgen voor de natuur in de duinen. De natte *duinpannen* – dat zijn plekken in de duinen waar het zand uitgestoven is tot op het grondwaterniveau – zijn vandaag in veel gevallen al verdroogd geraakt, met verlies van zeldzame soorten (zoals *parnassia* en verschillende orchideeën) tot gevolg.

Ook de verstedelijking van grote delen van het duinmassief heeft een impact op de waterbalans van het zoete grondwater. Door bebouwing en verharding kan het regenwater immers moeilijker in de bodem sijpelen.

HOOFDSTUK 7

OPLOSSINGEN VOOR WATER, LANDBOUW EN NATUUR

Het watersysteem van de polders is uiterst complex. De polders kampen zowel met een tekort als met een teveel aan zoetwater, en er is bovendien een groeiend risico op verzilting. Door de klimaatverandering zal de water- en droogteproblematiek nog toenemen. Oplossingen kunnen we vinden in nieuwe samenwerkingen tussen landbouw, natuur, waterbeheer, industrie en verstedelijking.

WATER BERGEN [BOVENGRONDS EN ONDERGRONDS]

Ruimte geven aan water

De wateruitdaging in de polders is dubbel. Enerzijds moeten we voldoende buffercapaciteit in het systeem voorzien om het water bij sterke regenval tijdelijk te kunnen opslaan. Van daar de huidige preventieve lage winterpeilen. Anderzijds is het noodzakelijk om langere periodes van droogte te overbruggen en voldoende zoetwatervoorraden vast te houden.

Water vasthouden of water bergen betekent *ruimte geven aan water*. Dat kan op verschillende manieren. Bijvoorbeeld door het verbreden van grachten en sloten of door de oevers van waterlopen te ontharden. Dat schept bovendien kansen voor natuurontwikkeling. Een andere mogelijkheid is de aanleg van bufferbekkens en waterreservoirs. In natte periodes kunnen die aangevuld worden met overtollig regenwater, om in droge periodes te gebruiken om het land te bevoeien. Een nadeel van bufferbekkens is dat zij veel ruimte innemen, vaak ook kostbare landbouwgrond. Bovendien kan men aan de kust niet al te diepe waterbekkens graven omdat men al snel op het diepe zoutwater stuit. Nog een andere mogelijkheid is om laaggelegen gebieden zoals moeren of poelgronden in te richten als overstromingsgebied. Bij hevige regenbuien worden ze tijdelijk onder water gezet. Op die manier kunnen andere gebieden gevrijwaard worden van wateroverlast. Dat betekent in sommige gevallen dat de landbouw gronden zal moeten opgeven ten gunste van water en natuur, of dat er op die plaatsen vormen van overstromingsbestendige landbouw komen.

De kust versus het achterland

De kust kan niet klimaatadaptief zijn zolang ook het achterland niet de nodige maatregelen neemt. Vandaag wordt het overtollige regenwater van stroomopwaartse gebieden zo snel mogelijk doorgesluisd richting polders om uiteindelijk in zee te belanden. Ook hier is het van belang het water zo lang mogelijk op te sparen in bufferbekkens, of beter, te laten infiltreren in de bodem. Op die manier krijgen de polders in

de wintermaanden minder water te verwerken, terwijl in de droge zomers grotere voorraden verzekerd zijn.

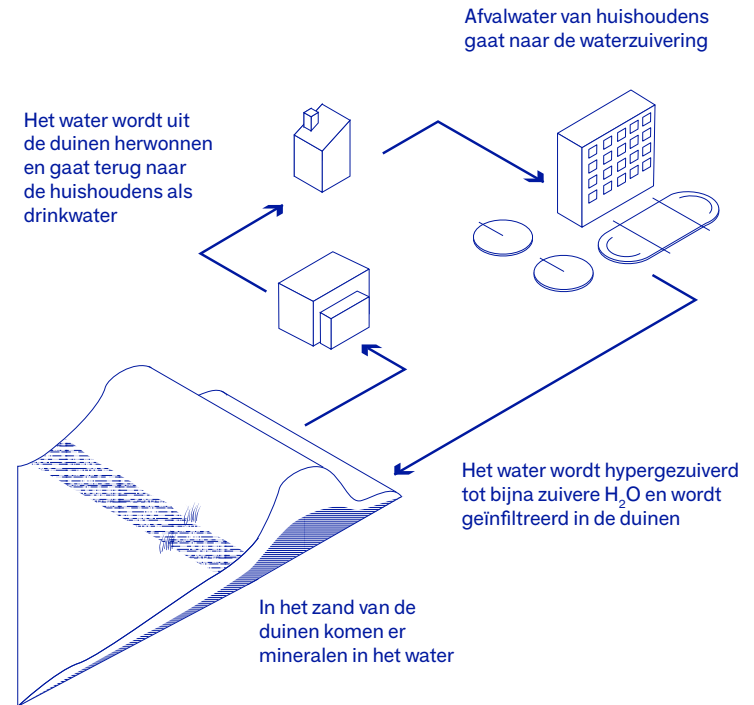
Duinen als natuurlijke waterreservoirs

De duinengordels zijn de belangrijkste zoetwaterreservoirs in het kustgebied. Maar door zoetwateronttrekking, polder-drainage en verstedelijking van het duinmassief situeert de watertafel zich op veel plaatsen een stuk lager dan in een natuurlijke situatie. Wanneer de zoetwaterlens kleiner wordt, krijgt het zoute zeewater de kans om op te stijgen, waardoor het zoetwater aangetast wordt.

De Intercommunale Watermaatschappij van Veurne-Am-bacht (IWVA) heeft sinds 2002 een oplossing gevonden voor het probleem van de verminderde zoetwatervoorraden. De drinkwatermaatschappij infiltreert jaarlijks 2,5 miljoen m³ sterk voorgezuiverd rioolwater-effluent uit de waterzuiveringsinstallatie van Aquafin in Wulpen in de duinen van Koksijde. De duinen slaan het water op, waarna het opnieuw opgepompt wordt voor consumptie.

De voorzuivering van het water gebeurt aan de hand van 'ultrafiltratie' of 'omgekeerde osmose'. Op die manier bekomt men water van een kwaliteit die vergelijkbaar is met gedistilleerd water. Zuiver, gedistilleerd water is echter niet drinkbaar. Het moet verrijkt worden met een minimum aan mineralen om het drinkbaar te maken en het een smaak te geven. Hierin spelen de duinen een belangrijke rol. Tijdens de passage door de zandbodem neemt het water opnieuw

Hergebruik van afvalwater via duininfiltratie



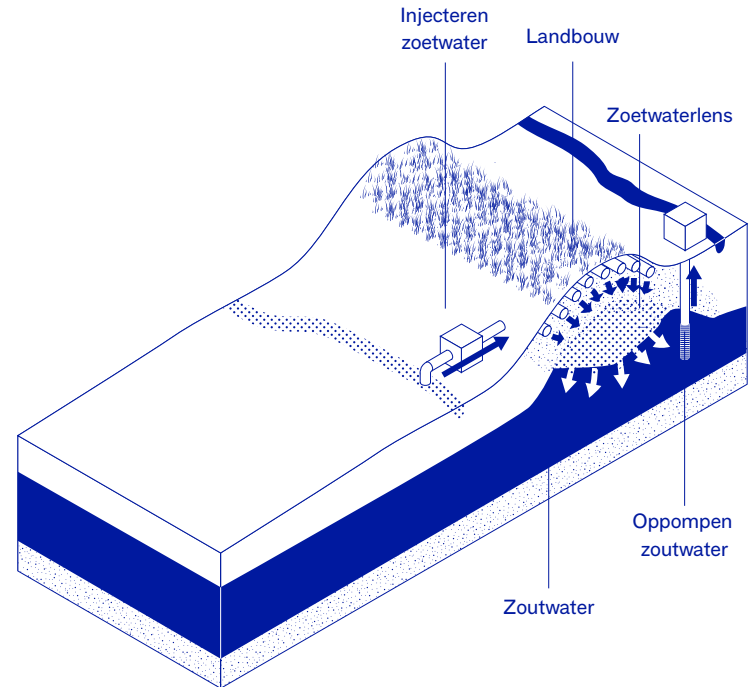
mineralen zoals calcium en ijzer op en wordt eventuele bacteriologische verontreiniging, bijvoorbeeld afkomstig van vogels, verwijderd. Dit procedé is een goed voorbeeld van een *circulaire* omgang met kostbaar zoetwater. Vroeger werd het grondwater eerst ontgonnen, vervolgens geconsumeerd en na klassieke rioolwaterzuivering finaal in zee geloosd. Die *lineaire* logica is nu doorbroken. Er ontstaat een gesloten watercyclus met minimaal verlies van zoetwater. Bovendien blijft de zoetwaterlens in de duinen op peil. Dat is goed voor de natuur en vormt een buffer tegen verzilting. Bijkomend voordeel is dat aan het drinkwater geen chloor toegevoegd moet worden. Een belangrijk nadeel is dat de waterzuivering via omgekeerde osmose veel energie kost.

Ondergrondse berging in kreekrukken

Behalve de duinen zijn ook de kreekrukken uitermate geschikt om water op te slaan. In de zandige bodem kunnen zich grote zoetwaterlenzen vormen. In het Nederlandse Zeeland lopen momenteel een aantal experimenten onder de naam *Freshmakers*. Het overvloedige regenwater uit de natte winters wordt er verzameld en *geïnjecteerd* in de ondergrond van de kreekrukken. Op die manier wordt de zoetwaterlens op kunstmatige wijze vergroot. Tegelijkertijd zuigen dieptepompen het onderliggende zoutwater weg. In droge zomers kan men het zoetwater opnieuw winnen. Het voordeel van deze technologische aanpak is dat de waterberging geen bovengrondse ruimte inneemt en de landbouw nog steeds de gronden kan bewerken.

Freshmakers

Opslag van zoetwater in kreekrukken.
Overvloedig regenwater wordt geïnfilteerd
of geïnjecteerd in de kreekrukken



NAAR EEN ANDER PEILBEHEER

Installeren van pompen

Vandaag geldt er één enkel peilprincipe voor het geheel van de polders. In de winter en de lente is het peil laag zodat er buffercapaciteit ontstaat om overtollig regenwater te stockeren in afwachting van lozing in de zee. In de zomer wordt het peil zo hoog mogelijk gehouden zodat de gewassen optimaal kunnen groeien. Wanneer men nu in plaats van gravitair af te wateren, pompen zou installeren die het overtollige regenwater afvoeren naar zee, is men niet langer afhankelijk van de beperkingen van het lozingsvenster. Men kan dan op het even welk moment van de dag water lozen in zee. Hierdoor is er niet langer zo veel buffercapaciteit nodig in het waterlopendsysteem. De polders hoeven niet meer zo nodig preventief laag gezet te worden en kunnen ook in de wintermaanden meer water stockeren. Hogere winterpeilen betekenen meteen ook meer waterreserves in de drogere zomermaanden.

Compartimentering van de polders

Vandaag is het polderlandschap sterk versnipperd. Natuur- en landbouwgebieden liggen er kriskras door elkaar. Maar het huidige peilbeheer, dat op maat gemaakt is van de landbouw, is niet altijd even gunstig voor de natuurgebieden. Als men erin slaagt om natuur- en landbouwgebieden meer bij elkaar te laten aansluiten – met ander woorden, grotere aaneengesloten landbouwgebieden én grotere aaneengesloten natuurgebieden te maken – kan elk van die gebieden een *eigen peilbeheer op maat* krijgen.

De compartimentering van de polders – of het omvormen van de versnipperde polders tot een samenhangend geheel van grotere compartimenten (met telkens één landgebruik en één peilbeheer) – is een manier om de kuststreek als geheel klimaatrobuust te maken. Momenteel bestudeert de Vlaamse Landmaatschappij hiervan de mogelijkheden bij het landinrichtingsproject Oudlandpolder.

SPAARZAAM ZIJN MET ZOETWATER

Aanboren van alternatieve zoetwaterbronnen

De toenemende droogte dwingt ons om zuinig om te springen met kostbaar water en water niet zomaar te laten wegstromen naar zee. Grote verbruikers zijn de landbouw, de huishoudens, het toerisme en de industrie. Drinkwater gebruiken om het toilet door te spoelen, de was te doen of het gazon te besproeien, is een enorme verkwisting. Met enkele eenvoudige structurele maatregelen zoals het opslaan van regenwater of het hergebruik van huishoudwater, kan men hier op korte termijn al grote winsten boeken. Ook de industrie en de landbouw kunnen inzetten op opslag, hergebruik en recyclage van water. Bedrijven kunnen bijvoorbeeld hun gebruikt water uitwisselen om het een tweede keer te gebruiken. Denk bijvoorbeeld aan proper proceswater uit de industrie dat een tweede keer gebruikt wordt voor de irrigatie van een serre. Water hergebruiken is ook een manier van water bergen.

Ook het effluent van afvalwaterzuiveringsinstallaties aan de kust kan een belangrijke bron zijn van zoetwater op het moment dat er grote tekorten zijn. Net in de warme, droge – en ook toeristische – periodes wordt er aan de kust immers het meeste water gebruikt. Vaak wordt het gezuiverde afvalwater in zee geloosd. In de droge zomers van 2018 en 2019 gingen landbouwers regelmatig zoetwater halen bij de afvalwaterzuiveringsinstallaties. Het gezuiverde afvalwater zou evengoed in het poldersysteem kunnen terechtkomen en de polders bevoeien op momenten van droogte.

OVERSCHAKELLEN OP ANDERE TEELTEN

Zilte en droogteresistente gewassen

Lukt het ondanks alle inspanningen niet om verzilting tegen te gaan, dan dringt een andere aanpak zich op: de landbouw die zich aanpast aan verzilting. Wereldwijd voeren wetenschappers onderzoek naar de zouttolerantie van *gangbare teeltsoorten* en hoe men die zou kunnen verbeteren door veredeling. Ze stellen bijvoorbeeld vast dat zilt water – bij wijze van tegenreactie – extra zoete tomaten of wortelen kan opleveren. Ook onderzoeken ze welke *nieuwe teelten* ingang kunnen vinden in een zilte omgeving. Quinoa, dat vandaag vooral in Zuid-Amerika geteeld wordt, en dat relatief recent maar met succes op de Europese markt is gekomen – is hier een goed voorbeeld van.

Zilte gronden kunnen ook dienen voor extensieve veeteelt. Een dieet van kweldergras levert bij schapenvlees een gewaardeerde smaak op, die in culinaire kringen bekend staat als *pré-salé*. De kweek van *halofyten* – dat zijn planten die kunnen groeien in een bodem met een hoog zoutgehalte – staat vandaag nog in de kinderschoenen. Sommige zeegroenten zoals lamsoor of zeekraal zijn nog nicheproducten, maar zouden in de toekomst aan belang kunnen winnen. Een belangrijk aandachtspunt is de vermarkting van zulke nieuwe producten: landbouwers zullen de gewassen pas telen als ze die ook kwijt kunnen. Ook de teelt van mariene organismen zoals algen, zeewieren of schelpdieren biedt alternatieven voor de landbouw. Zulke teelten zijn niet uitsluitend bestemd voor menselijke consumptie, maar kunnen ook dienen als veevoeder, nieuwe eiwitbron, biomassa, meststof, grondstof voor bioplastics, vezelgewas of bouw-materiaal.

Toch is het overschakelen op zilte teelten geen evidentie aan de kust. Het grootste deel van de poldergronden bestaat immers uit kleibodems, en die *verslempen* wanneer ze in aanraking komen met zoutwater. Verslemping is een chemisch proces waarbij zout de minerale structuur van klei verandert, waardoor de bodem onbruikbaar wordt voor de landbouw. Toch is het belangrijk om het wetenschappelijk onderzoek naar zilte landbouw voort te zetten om zich voor te bereiden op de toekomst. Veel zoutresistente of zilte teelten zijn immers ook meer droogtebestendig en hebben minder water nodig om toch een goede opbrengst te produceren.

Hoofdstuk 1 en 2

Beullens J. & Van Lipzig N.P.M. (2015). Actualisatie en verfijning klimaatscenario's tot 2100 voor Vlaanderen. Appendix 3: Ruimtelijke patronen voor België op basis van Europese en Belgische fijnmazige klimaatmodellen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2015/04, KU Leuven. Raadpleegbaar op www.milieurapport.be.

Brouwers J., Peeters B., Van Steertegem M., van Lipzig N., Wouters H., Beullens J., Demuzere M., Willems P., De Ridder K., Maiheu B., De Troch R., Termonia P., Vansteenkiste Th., Craninx M., Maetens W., Defloor W., Cauwenberghs K. (2015). MIRA Klimaatrapport 2015, over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen. Vlaamse Milieumaatschappij i.s.m. KU Leuven, VITO en KMI. Aalst. www.milieurapport.be.

Dauwe S., Verleye T., Devriese L., Belpaeme K., Maelfait H., Pirlet H., Mees J. (eds) (2019). Het KustInzicht 2019 – Compendium voor Kust en Zee. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

Devriese L., Dauwe S., Verleye T., Pirlet H., Mees J. (eds.) (2018). Kennisgids Gebruik Kust en Zee 2018 – Compendium voor Kust en Zee. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

Gulinckx H., Lierman S., Van Damme S., Van den Broeck P., Van Eetvelde V. (eds.) (2012). CcASPAR. Klimaat in Vlaanderen als ruimtelijke uitdaging. CcASPAR (Climate change And Changes in SPAtial structures in Flanders). Academia Press, Gent. <http://www.biw.kuleuven.be/klimaatpark>

Klimaatpanel (2019). Panel voor duurzaamheid. Om klimaatverandering en de ecosysteemcrisis echt aan te pakken is systeemverandering noodzakelijk en urgent. Klimaatpanel, Brussel. www.klimaatpanel.be

Maelfait H., Debergh H., Lescrauwaet A.-K. en Belpaeme K. (eds.) (2012). Het Kustkompas, indicatoren als wegwijzers voor een duurzaam kustbeheer. Coördinatiepunt Duurzaam Kustbeheer, Oostende.

Michels H., Alaerts K., Schneiders A., Stevens M., Van Gossum P., Van Reeth W., Vught I. (2018). Natuurverkenning 2050: Inspiratie voor de natuur van de toekomst. Syntheserapport. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2018 (3), Brussel.

Oppenheimer M., Glavovic B.C., Hinkel J., van de Wal R., Magnan A.K., Abd-Elgawad A., Cai R., Cifuentes-Jara M., DeConto R.M., Ghosh T., Hay J., Isla F., Marzeion B., Meyssignac B. and Sebesvari Z. (2019). Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: Pörtner H.-O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegría A., Nicolai M., Okem A., Petzold J., Rama B., Weyer N.M. (eds.). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.

Pirlet H., Verleye T., Lescrauwaet A.K., Mees J. (eds.) (2015). Compendium voor Kust en Zee 2015: Een geïntegreerd kennisdocument over de socio-economische, ecologische en institutionele aspecten van de kust en zee in Vlaanderen en België. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

Van den Eynde D., De Sutter R., De Smet L., Francken F., Haelters J., Maes F., Malfait E., Ozer J., Polet H., Ponsar S., Reyns J., Van der Biest K., Vanderperren E., Verwaest T., Volckaert A. and Willekens M. (2011). Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities 'CLIMAR'. Final Report Brussels: Belgian Science Policy Office.

Van der Aa B., Vriens L., Van Kerckvoorde A., De Becker P., Roskams P., De Bruyn L., Denys L., Mergeay J., Raman M., Van den Bergh E., Wouters J., Hoffmann M. (2015). Effecten van klimaatverandering op natuur en bos. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), Brussel.

Van der Biest K., D'hondt B., Schellekens T., Vanagt T., Kamermans P., Bonte D., Ysebaert T. en Meire P. (2017). Ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust. Deel I – Functionele beschrijving kustecosysteem en ecosysteemdiensten. eCOAST rapport 2014016-1. Studie in opdracht van Agentschap voor Natuur en Bos (ANB), Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW), Brussel.

van Lipzig N.P.M. en Willems P. (2015). Actualisatie en verfijning klimaatscenario's tot 2100 voor Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2015/01, KU Leuven i.s.m. KMI. Raadpleegbaar op www.milieुरapport.be.

Hoofdstuk 3 en 4

Alterra, BUUR (2013). Metropolitaaan Kustlandschap 2100. Verkennende en methodologische analyse van de Belgische Kust. Studie i.o.v. Team Vlaams Bouwmeester, Departement Ruimte Vlaanderen, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Brussel.

Architecture Workroom Brussels, H+N+S Landschapsarchitecten, Maat- ontwerpers, Xaveer De Geyter Architecten (2014). Metropolitaaan Kustlandschap 2100, Exploratief ontwerpend onderzoek. Studie i.o.v. Team Vlaams Bouwmeester, Departement Ruimte Vlaanderen, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Vlaamse Overheid, Brussel.

CcASPAR (2012), Compartimentering van de kust. A+, nr. 236, juni-juli 2012, CIAUD-ICASD, Brussel, p 40-43.

Dauwe S., Verleye T., Devriese L., Belpaeme K., Maelfait H., Pirlet H., Mees J. (eds) (2019). Het KustInzicht 2019 – Compendium voor Kust en Zee. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

De Waegemaeker J. en Van Acker M. (2014). Te land, ter zee en er tussenin. Een nieuw ontwerpperspectief vanuit verleden en toekomst. Ruimte, nr. 22, juni-juli-augustus 2014, VRP, Antwerpen.

De Waegemaeker J., Lierman S., Verhoestraete D., Foré P., Allaert G., Van Damme S. (2013). Een klimaatadaptatiestrategie voor de kust. Valorisation Rapport 7 (VR7). CcASPAR Climate change And Changes in SPAtial structures in Flanders, Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie [IWT], Brussel.

Deronde B., Houthuys R., De Wolf P. (2007). Het zandtransport langs de Vlaamse kust, opgevolgd vanuit de lucht. In: De Grote Rede 19. De Grote Rede: Nieuws over onze Kust en Zee, nr. 19: pp. 7-12. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

Devriese L., Dauwe S., Verleye T., Pirlet H., Mees J. (eds.) (2018). Kennisgids Gebruik Kust en Zee 2018 – Compendium voor Kust en Zee. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

Geldof Ch., de Bock K. (2014). Metropolitaaan Kustlandschap 2100. Een tussenopname. In Ruimte nr. 22, juni-juli-augustus 2014, VRP, Antwerpen.

Gulinck H., Lierman S., Van Damme S., Van den Broeck P., Van Eetvelde V. (eds.) (2012). CcASPAR. Klimaat in Vlaanderen als ruimtelijke uitdaging. CcASPAR (Climate change And Changes in SPAtial structures in Flanders). Academia Press, Gent. <http://www.biw.kuleuven.be/klimaatpark>

H+N+S Landschapsarchitecten, Deltares, Atelier 1:1 (2013) De ontwerpogaven. Metropolaan Kustlandschap 2100. Studie i.o.v. Team Vlaams Bouwmeester, Departement Ruimte Vlaanderen, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Brussel.

Klimaatpanel (2019). Panel voor duurzaamheid. Om klimaatverandering en de ecosysteemcrisis echt aan te pakken is systeemverandering noodzakelijk en urgent. Klimaatpanel, Brussel. www.klimaatpanel.be

Maelfait H., Debergh H., Lescrauwaet A.-K. en Belpaeme K. (eds.) (2012). Het Kustkompas, indicatoren als wegwijzers voor een duurzaam kustbeheer. Coördinatiepunt Duurzaam Kustbeheer, Oostende.

Michels H., Alaerts K., Schneiders A., Stevens M., Van Gossum P., Van Reeth W., Vught I. (2018). Natuurverkenning 2050: Inspiratie voor de natuur van de toekomst. Syntheserapport. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2018 (3), Brussel.

Oppenheimer M., Glavovic B.C., Hinkel J., van de Wal R., Magnan A.K., Abd-Elgawad A., Cai R., Cifuentes-Jara M., DeConto R.M., Ghosh T., Hay J., Isla F., Marzeion B., Meyssignac B. and Sebesvari Z. (2019). Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands,

Coasts and Communities. In: Pörtner H.-O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegría A., Nicolai M., Okem A., Petzold J., Rama B., Weyer N.M. (eds.). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.

Pirlet H., Verleye T., Lescrauwaet A.K., Mees J. (eds.) (2015). Compendium voor Kust en Zee 2015: Een geïntegreerd kennisdocument over de socio-economische, ecologische en institutionele aspecten van de kust en zee in Vlaanderen en België. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

Provoost S., Dan S., Jacobs S. (2014). Hoofdstuk 23 – Ecosysteemdienst kustbescherming (INBO.R.2014.1988082). In Stevens, M. et al. (eds.). Natuurrapport 2014 – Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen. Technisch rapport. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), Brussel.

Slabbinck B., Bauwens F., Dewolf A. en Seys J. (eds.). (2011). Moet er nog zand zijn: een wetenschappelijke kijk op de kustlijn van morgen. Referatenbundel van de studiedag. VLIZ Special Publication 51. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende. Tractebel, FABRICations, H+N+S

(2017). Stedelijk Systeem Kust? Studie 'LABO RUIIMTE' i.o.v. Departement Omgeving, Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM), Team Vlaams Bouwmeester, Provincie West-Vlaanderen, Brussel. <https://www.vlaamsbouwmeester.be/nl/stedelijk-systeem-kust>

Van den Eynde D., De Sutter R., De Smet L., Francken F., Haelters J., Maes F., Malfait E., Ozer J., Polet H., Ponsar S., Reyns J., Van der Biest K., Vanderperren E., Verwaest T., Volckaert A. and Willekens M. (2011). Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities 'CLIMAR'. Final Report Brussels: Belgian Science Policy Office.

Van der Biest K., D'hondt B., Schellekens T., Vanagt T., Kamermans P., Bonte D., Ysebaert T. en Meire P. (2017). Ecosysteemvisie voor de Vlaamse kust. Deel I – Functionele beschrijving kustecosysteem en ecosysteemdiensten. eCOAST rapport 2014016-1. Studie in opdracht van Agentschap voor Natuur en Bos (ANB), Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW), Brussel.

Vanden Abeele P., Van Hulle A. (2005). Een zee van ruimte. Naar een ruimtelijk structuurplan voor het duurzaam beheer van de Noordzee. Federaal Wetenschapsbeleid, Brussel.

Vervloesem E. (2015). Labo Ruimte. Metropolaan Kustlandschap 2100. In: Bouwmeester Rapport 2012-2015. Vlaams Bouwmeester, Brussel, pp. 174-184.

X (2006). Oostkust – Baai van Heist. Langjarige sedimentatie. Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium, Brussel.

X (2011). Masterplan Kustveiligheid. Maritieme Dienstverlening en Kust, Waterbouwkundig Laboratorium, Vlaamse Overheid, Brussel. <https://www.afdelingkust.be/sites/default/files/atoms/files/Masterplan%20Kustveiligheid.pdf>

X (2014). Het Masterplan Kustveiligheid. Vlaamse Overheid, Afdeling Kust, Brussel. www.afdelingkust.be

X (2016). De Zandmotor: Aanjager van innovatief kustonderhoud. Tussenresultaten 2011-2015. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Amsterdam.

X. (2012). Het Kappaplan in beeld. Naar een natuurlijke en veilige toekomst voor onze kust. Natuurpunt, Mechelen.

Hoofdstuk 5, 6 en 7

Alterra, BUUR (2013). Metropolietaan Kustlandschap 2100. Verkennende en methodologische analyse van de Belgische Kust. Studie i.o.v. Team Vlaams Bouwmeester, Departement Ruimte Vlaanderen, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Brussel.

Antea (2018). *Waterbehoefte, -gebruik en -aanbod. Analyse van de kuststreek*. Studie i.o.v. Provincie West-Vlaanderen, Dienst COOP.

Architecture Workroom Brussels, H+N+S Landschapsarchitecten, Maat- ontwerpers, Xaveer De Geyter Architecten (2014). Metropolietaan Kustlandschap 2100, Exploratief ontwerp onderzoek. Studie i.o.v. Team Vlaams Bouwmeester, Departement Ruimte Vlaanderen, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Vlaamse Overheid, Brussel.

Dauwe S., Verleye T., Devriese L., Belpaeme K., Maelfait H., Pirlet H., Mees J. (eds) (2019). *Het KustInzicht 2019 – Compendium voor Kust en Zee*. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

De Waegemaeker J. (2017). *Climate-proof through design, Research and design for climate adaptation in peri-urban territories*. Proefschrift voorgelegd tot het behalen van de graad van Doctor in de stedenbouw

en ruimtelijke ordening, Faculteit Ontwerpwetenschappen, Onderzoeksgroep voor Stadsontwikkeling, Universiteit Antwerpen, Antwerpen.

De Waegemaeker J. (2019). *SalFar framework on salinization processes. A comparison of salinization processes across the North Sea Region. A report by ILVO for the Interreg III North Sea Region project Saline Farming (SalFar)*.

De Waegemaeker J., Lierman S., Verhoestraete D., Foré P., Allaert G., Van Damme S. (2013). Een klimaatadaptatiestrategie voor de kust. *Valorisatie Rapport 7 (VR7)*. CcASPAR Climate change And Changes in SPAtial structures in Flanders, Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie [IWT], Brussel.

Devriese L., Dauwe S., Verleye T., Pirlet H., Mees J. (eds.) (2018). *Kennisgids Gebruik Kust en Zee 2018 – Compendium voor Kust en Zee*. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

Geldof Ch., de Bock K. (2014). *Metropolietaan Kustlandschap 2100. Een tussenopname*. In Ruimte nr. 22, juni-juli-augustus 2014, VRP, Antwerpen.

Gobin A., Van De Vreken Ph., Van Orshoven J., Keulemans W., Geers R., Diels J., Gulincx

H., Hermy M., Raes D., Boon W., Muys B., Mathijs E. (Klimaatpark Arenberg, Spatial Applications Division Leuven, KU Leuven) (2008). *Adaptatiemogelijkheden van de Vlaamse landbouw aan klimaatverandering*. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Departement Landbouw en Visserij, Afdeling Monitoring en Studie, Vlaamse Overheid, Brussel.

H+N+S Landschapsarchitecten, Deltares, Atelier 1:1 (2013). *De ontwerpogaven. Metropolietaan Kustlandschap 2100*. Studie i.o.v. Team Vlaams Bouwmeester, Departement Ruimte Vlaanderen, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Brussel.

Pirlet H., Verleye T., Lescrauwaet A.K., Mees J. (eds.) (2015). *Compendium voor Kust en Zee 2015: Een geïntegreerd kennisdocument over de socio-economische, ecologische en institutionele aspecten van de kust en zee in Vlaanderen en België*. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

Tractebel, FABRICations, H+N+S (2017). *Stedelijk Systeem Kust? Studie 'LABO RUIMTE' i.o.v. Departement Omgeving, Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM), Team Vlaams Bouwmeester, Provincie West-Vlaanderen, Brussel*. <https://www.vlaamsbouwmeester.be/nl/stedelijk-systeem-kust>

Vandenbohede, A. (2012). *Zoet en zout grondwater in het kustgebied, een verhaal van zeespiegelstijging en menselijke tussenkomst*. In: De Grote Rede 34. De Grote Rede: Nieuws over onze Kust en Zee, 34: pp. 17-22. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Oostende.

X. (2012). *Het Kappaplan in beeld. Naar een natuurlijke en veilige toekomst voor onze kust*. Natuurpunt, Mechelen.

X. (2018). *Topsoil. Resilient soil and water resources, understanding the water beneath your feet. The Topsoil mid-term catalog*. Interreg North Sea Region. Region Midtjylland. <https://northsearegion.eu/topsoil>

Zwaenepoel E., Danckaert S. & Van Gijseghe D. (2016). *Klimaatverandering in de polders. Kiezen voor zoet of zilt?*, Departement Landbouw en Visserij, Vlaamse Overheid, Brussel.

Verantwoording

Voor de inhoud van deze gids werd grotendeels geput uit bestaand materiaal, waaronder de vele onderzoeken van de afgelopen jaren. De belangrijkste aandacht ging uit naar het voor een bredere groep toegankelijk maken van wat veel experts nu reeds weten. Dit bestaande materiaal vergde vanzelfsprekend een goede selectie, ordening en weging om niet alleen tot een sprekend, maar ook tot een juist informatief kader te leiden.

Deze gids is onder meer tot stand gekomen op basis van gesprekken met Johan Brouwers, Hans Pirlet, Sam Provoost, Patrick Willems, Hannelore Maelfait, Steve Timmermans, Jeroen De Waegemaeker, Toon Verwaest, Patrick Meire, Matthias Van Den Bulcke, Stijn Vanderheiden, Julie Mabilde, Sofie Troch, Peter Cabus, Kathy Belpaeme en Ewout Zwaenepoel. Een bijzonder dankwoord gaat naar hen.

Een redactieraad, samengesteld uit de verschillende overheden, agentschappen en departementen, stuurden gezamenlijk op de inhoudelijke samenstelling en het strategisch inzetten van deze gids. De leden van de redactieraad zijn gekozen omwille van het perspectief dat zij meebrengen vanuit hun dagelijkse praktijk. De groep werd

samengesteld vanuit diverse organisaties en expertisevelden om zo een voldoende brede kijk op het thema te hebben. De Provincie West-Vlaanderen, het Departement Mobiliteit en Openbare Werken, het Agentschap Natuur en Bos, het Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek, het Vlaams Instituut voor de Zee, het Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust en de Vlaamse Landmaatschappij maakten deel uit van de redactieraad die onder leiding stond van het Departement Omgeving en Team Vlaams Bouwmeester.

De redactieraad werd aangevuld met experts die op individuele basis en op basis van hun persoonlijke kennis gevraagd werden om bij te dragen aan de inhoud als nalezer van een of meerdere hoofdstukken. Deze groep bestond uit Johan Brouwers, Hans Pirlet, Sam Provoost, Steve Timmermans, Peter Van Besien, Toon Verwaest, Wim Van Isacker en Jeroen De Waegemaeker. Ook aan hen richten we een bijzonder dankwoord.

Colofon

Tekst

Public Space
Joeri De Bruyn

Kernredactie

Departement Omgeving
Team Vlaams Bouwmeester

Sofie Troch
Julie Mabilde
Stijn Vanderheiden

Reviewers

Johan Brouwers (VMM)
Hans Pirlet (Vliz)
Sam Provoost (Inbo)
Steve Timmermans (MDK)
Peter Van Besien (MDK)
Toon Verwaest (WatLab)
Wim Van Isacker (VLM)
Jeroen De Waegemaeker (Ilvo)

Illustraties

Zone5 Design
Els Engel
Saro Van Cleynenbreugel

Grafisch ontwerp

Atelier Sven Beirnaert

Druk

Die Keure, Brugge

ISBN 9789040304156

D/2020/3241/175

© Vlaamse overheid, juli 2020.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door print-outs, kopieën, of op welke manier dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

VU: Peter Cabus, Departement Omgeving,
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel

DEPARTEMENT
OMGEVING

TEAM
VLAAMS
BOUWMEESTER

INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK

DEPARTEMENT
LANDBOUW
& VISSERIJ

AGENTSCHAP
MARITIEME
DIENSTVERLENING en
KUST

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

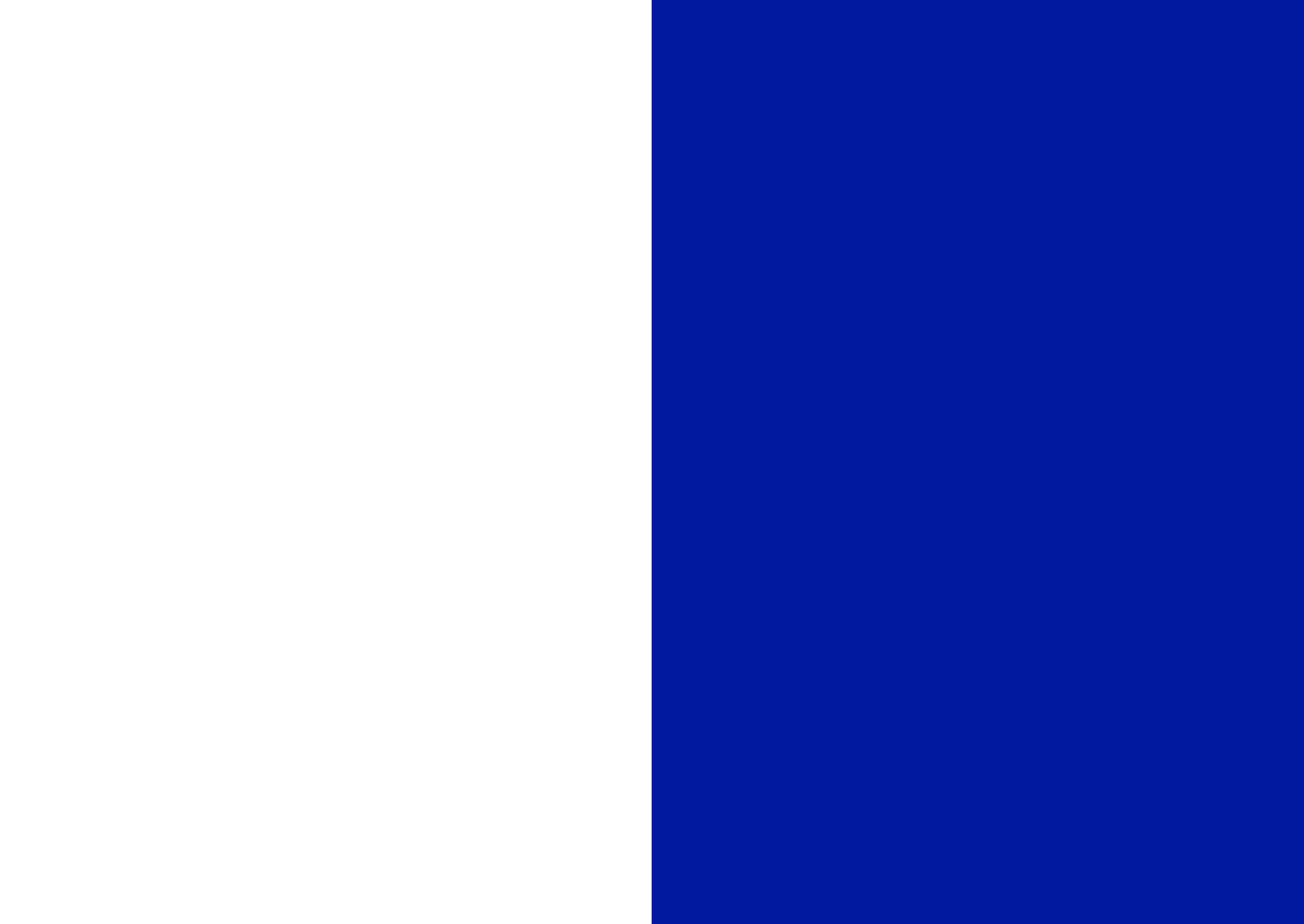
AGENTSCHAP
NATUUR & BOS

VLAAMSE
LAND
MAATSCHAPPIJ

VLAAMSE
MILIEUMAATSCHAPPIJ



www.omgeving.vlaanderen.be
www.vlaamsbouwmeester.be





De Vlaamse kust is een uniek gebied. Ze is gekend en geliefd als toeristische trekpleister, maar de bredere kustzone, die zich uitstrekt van het strand tot in de polders, is ook van strategisch belang omwille van haar havens en industrie, haar vruchtbare landbouwgronden en haar waardevolle natuur.

Het laagstgelegen gebied van Vlaanderen is erg kwetsbaar voor de klimaatverandering. De kust is de plek waar land en zee elkaar raken en zoet en zout met elkaar botsen. Door de zeespiegelstijging en heviger neerslag neemt de kans op overstromingen toe. Langere periodes van droogte, en de verzilting die ermee gepaard gaat, kunnen ernstige gevolgen hebben voor landbouw, drinkwatervoorziening, toerisme en industrie.

Deze gids geeft een overzicht van de gevolgen van de klimaatverandering in het kustgebied en reikt mogelijke oplossingen aan. Ze is een uitnodiging aan alle sectoren en beleidsniveaus, aan middenveld en bedrijven, om samen te werken aan een wervend toekomstperspectief voor de Vlaamse kust.