

Oppolderen

Verkenning van de mogelijkheden om meer te doen met het sediment dat door rivieren en zee naar Nederland wordt gevoerd, om gebieden te laten meegroeien met de stijgende zeespiegel.

Frank Stroeken
Alphons van Winden

| Terra Incognita
| Bureau Stroming

Projectnummer 1308.
's Hertogenbosch Januari 2009



Inhoudsopgave

1. Inleiding en vraagstelling. Nederland en de rijzende zee.
2. Verkenning van de potenties van natuurlijk sediment.
3. Historische veerkracht van Laag Nederland.
4. Sedimentstromen.
5. Mogelijkheden om mee te groeien met de zee.

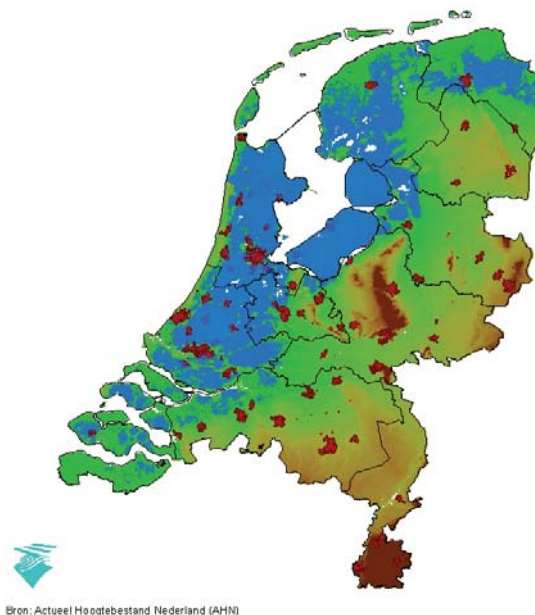
1 | Inleiding en vraagstelling. Nederland en de rijzende zee.

Bijna de helft van het Nederlandse land-oppervlak ligt op of onder het zeeniveau (zie *figuur 1*). Met de op handen zijnde stijging van de zeespiegel zal dit oppervlak nog groter worden. Ook neemt het volume toe van de ruimte onder NAP, met ca. 150 miljoen m³ per cm zeespiegel-stijging.

Met zeespiegelrijzing hebben we niet alleen nu te maken. Ook in het verleden zijn er periodes geweest van zeespiegelrijzing. De natuurlijke reactie van een delta die onder de zeespiegel raakt, is dat dit gebied overstroomt. Met het water mee bereikt dan ook sediment het gebied waardoor het oppervlak weer kan stijgen (het zgn opwassen). In Nederland is dit, op enkele kleine buitendijkse gebieden na, nu niet meer mogelijk omdat vrijwel al het land achter dijken ligt. De vraag die door InnovatieNetwerk is gesteld, is of het mogelijk is de natuurlijke opwas van land door sedimentatie te herstellen en of daar in Nederland geschikte gebieden voor zijn aan te wijzen. Deze vraag is bovendien gesteld vanuit de constatering dat er "enige spanning gezien wordt tussen ons rivierenbeheer, waarbij de rivieren actief verlaagd worden om meer water te kunnen af-voeren, terwijl er tegelijk sprake is van zeespiegel-stijging."

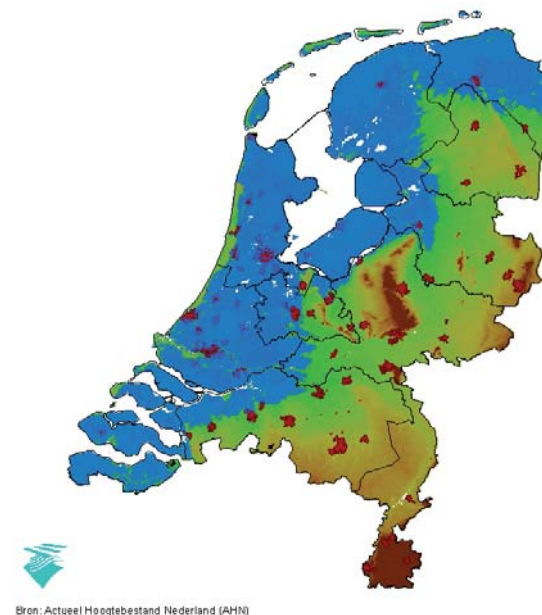
Deze notitie is een weerslag van de probleemanalyse die heeft plaatsgevonden. De analyse is gemaakt door Alphons van Winden van bureau Stroming en Frank Stroeken van Terra Incognita. Er is gebruik gemaakt van de input van enkele betrokkenen waaronder Michiel van der Meulen (TNO/Deltares) en Wilfried ten Brinke (Bureau Blueland). Daarnaast is er geput uit het materiaal van een bijeenkomst in Juli 2008 die toen door Frank Stroeken, vanuit Royal Haskoning werd georganiseerd.

Nederland onder zeeniveau
Bij 0 NAP



Bron: Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)

Nederland onder zeeniveau
Bij een stijging van 1,5 m



Bron: Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)

Figuur 1. Nederland onder zeeniveau.

2 | Verkenning van de potenties van natuurlijk sediment.

Een snelle berekening laat al meteen zien dat er nooit voldoende sediment is om heel Nederland op hoogte te krijgen en te houden. Alleen al om de actuele zeespiegelstijging van 3 mm/jr bij te kunnen houden is voor het gebied dat nu onder de zeespiegel ligt (opp ca 15.000 km²) 45 Mm³ sediment nodig. Dat is bijna 4 keer het volume van wat jaarlijks vanuit de rivieren (2,5 Mm³) en de zee (10 Mm³) beschikbaar is. Van het inlopen van de in de afgelopen eeuwen opgelopen achterstand kan dan al helemaal geen sprake zijn. Het Nederlandse laagland (het gebied onder de zeespiegel) is blijkbaar veel groter dan het gebied waarvan de

rivieren en de Noordzee de jaarlijkse daling met de aanvoer van zand en klei kunnen bijhouden. Hiervoor zijn een aantal oorzaken aan te wijzen:

- Laag Nederland is geen gewone delta, in de geografische zin van het woord. Volgens die definitie zijn delta's laaggelegen gebieden in de monding van een rivier in zee, die geheel door de aanvoer van sediment zijn ontstaan én worden onderhouden. Het Nederlandse laagland heeft echter een andere ontstaansgeschiedenis, het is grotendeels ontstaan als lagune die door een strandwal van de zee werd afgeschermd. De rivieren hebben in het ontstaan daarvan geen rol

gespeeld en ook na het ontstaan van de lagune hebben zij maar een zeer beperkt deel ervan opgevuld met sediment (zie figuur 2 links). Voor de rest is de lagune voor een iets groter deel opgevuld met sediment vanuit de Noordzee (zie figuur 2 midden), maar voor het grootste deel vond de opvulling plaats door veengroei (zie figuur 2 rechts). Een deel van dit veen is later weer weggeslagen of met zeelei bedekt, waardoor de huidige verspreiding veel kleiner is (donkerbruin in figuur 2 rechts).

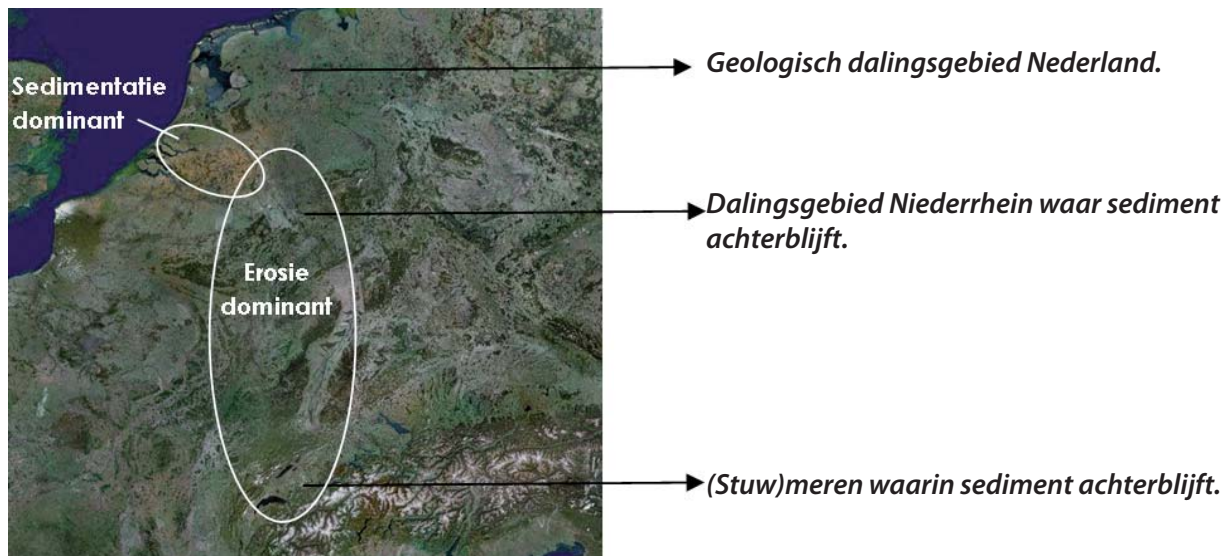


Figuur 2. Bodems in laag Nederland. Links de ligging van riviersediment. In het midden het sediment vanuit de Noordzee. Rechts opvulling van laagtes door veengroei.

- Een andere oorzaak voor het kleine aandeel van de rivieren in de opvulling van de delta is dat er relatief weinig sediment vanuit het stroomgebied komt. De vele meren, zowel natuurlijke (gletsjermere) als door de mens gemaakte (stuwmeren) houden veel (grof en fijn) sediment achter. Ook de recente bodemdaling in de bedding van de Niederrhein in Duitsland houdt tegenwoordig veel (met name grof) sediment achter (zie figuur 3).
- Heel Laag Nederland is een geologisch dalingsgebied. Alleen al om die daling van gemiddeld 5 cm per eeuw (uiteenlopend van 0 cm in het ZW en NO tot 10 cm in het NW) bij te houden is al bijna al het sediment nodig dat door Rijn, Maas en Noordzee wordt aangevoerd.

Er vanuit gaande dat de sedimentaanvoer altijd ca 12,5 miljoen m³ groot is geweest, dan is sinds het ontstaan van Laag Nederland 6000 jaar geleden 75 miljard m³ sediment aangevoerd. Dat is ca 30% van het totale volume van de lagune. De rest is dan opgevuld met veen of is water gebleven.

Het aanbod aan sediment is dus veel kleiner dan wat nodig is om het beschikbare oppervlak op te hogen en op zeeniveau te houden. De verhouding is ongeveer 1 op 3 à 4. Dit verklaart ook dat Nederland de laatste 2500 jaar gaandeweg terrein heeft verloren op de zee. Toen de strandwal verzwakte, drong de zee eerst in de Waddenzee en later ook in de Zeeuwse delta naar binnen en ruimde daar veel land op, voornamelijk bestaande uit veengrond. In deze binnenzeeën was daarna veel sediment in beweging en ontstonden ook weer opwassen, die boven de zeespiegel uitgroeiden. Een groot deel van het materiaal was echter afkomstig uit een herverdeling van het sediment dat zich vanuit het verleden in de bodem bevond. De zich uitdiepende zeearmen leverden het sediment voor het ophogende land er omheen. Zo is in Zeeland in de afgelopen 1700 jaar sinds het doorbreken van de strandwal ca 5 Miljard m³ sediment herverdeeld. Het gebied waar zeeklei aan de oppervlakte ligt werd daar gaandeweg groter (zie figuur 4) en het veen verdween. Ondanks de vele inpolderingen en landwinst is de gemiddelde hoogte van Zeeland (als daar ook de waterbodems in zijn meegerekend) er in die tijd nauwelijks op vooruit gegaan.



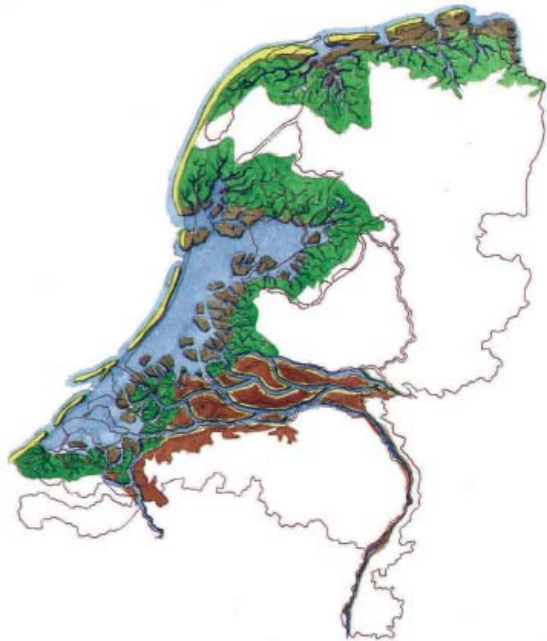
Figuur 3. Invloeden in het stroomingsgebied van de Rijn op erosie en sedimentatie.

Het openbreken van de kustlijn is een natuurlijk proces in kustgebieden met een sedimenttekort. Het sediment in de bodem, dat in de eeuwen daarvoor door rivieren in het gebied is neergelegd, komt dan weer in beweging en wordt herverdeeld over het land dat overstromd. Na verloop van tijd blijft er dan een kleiner gebied over met een grotere hoogte. Dit proces van openbreken en herverdelen blijft zich herhalen tot er een nieuw evenwicht is gevonden tussen de sedimen-

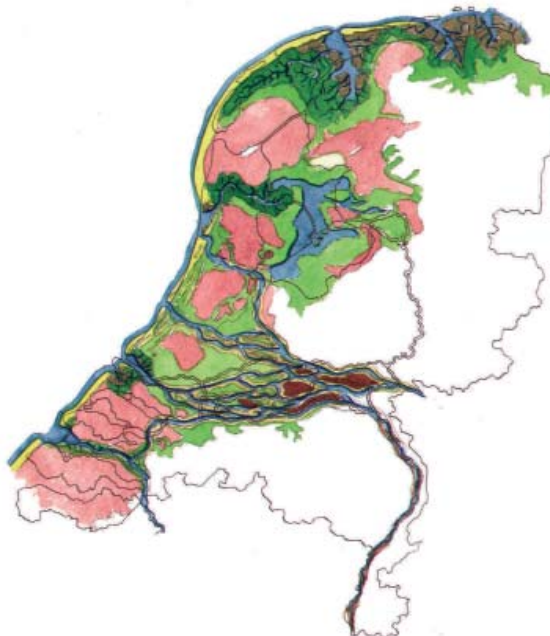
taanvoer en het landoppervlak. Vanwege het structurele sedimenttekort nam dit proces ook in Nederland ca 2500 jaar geleden een aanvang en verloor het land gaandeweg terrein op de zee. De laatste 1000 jaar is die tendens weer omgekeerd omdat de mens het afbraakproces een halt heeft toegeroepen en actief land is gaan winnen door bedijkingen. We zijn nu bij een situatie terechtgekomen dat vrijwel heel Nederland is ingedijkt om het risico op overstromingen te beperken.

Daarbij hebben we het land nu zo goed verdedigd dat er vrijwel nergens meer gebieden op natuurlijke wijze kunnen overstroom en opwassen. En het weinige sediment dat we wel nog beschikbaar hebben, wordt daar ook niet meer voor benut.

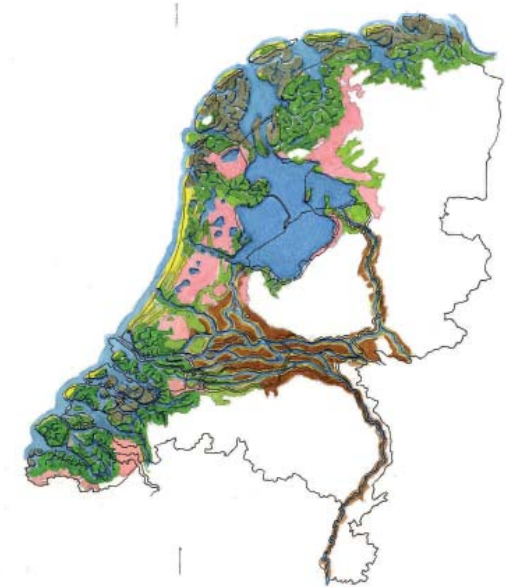
Dit is goed zichtbaar op kaartbeelden met de gereconstrueerde samenstelling van Nederland.



Ca 6500 jaar geleden: lagune vult zich met zand en klei; veengroei alleen alngs de randen.



Ca 3000 jaar geleden. Lagune is geheel opgevuld met veen. Alleen in de Waddenzee is nog gedeelte van de lagune over.



Ca 1000 jaar geleden. In het zuidwesten en noorden slaat steeds meer veen weg.

Figuur 4. Historische opbouw van Nederland. Groen is getijdegebied (wad). Paars is veen.

3 | Historische veerkracht van laag Nederland.

Niet overal in het Nederlandse landschap is door de mens op dezelfde manier ingegrepen om het verlies van land als gevolg van het tekort aan sediment het hoofd te bieden. Er zijn in laag Nederland vijf deelgebieden te onderscheiden waar sediment een rol:

Langs de kust

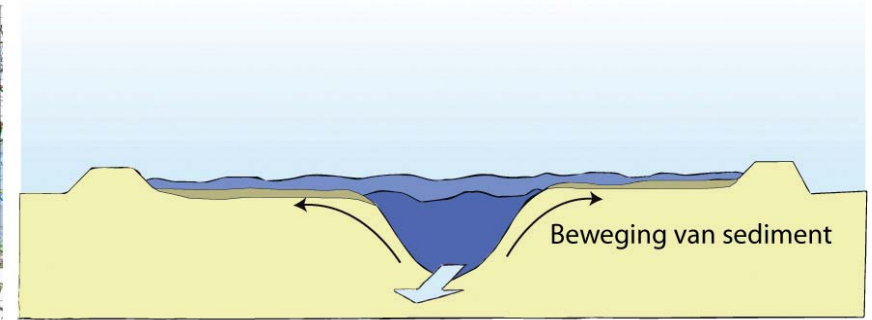
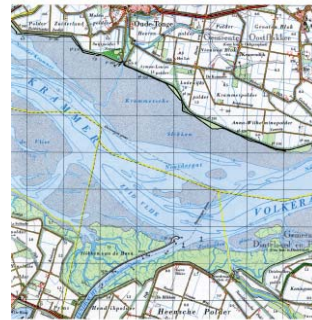
Vanaf 2500 jaar geleden begon de zandige strandwal op tal van plaatsen door te breken en drong de zee het land binnen. Pas sinds de Middeleeuwen is de mens echter in staat om de strandwal en duinenrij actief te beheren. Zo kon een deel van de strandwal worden hersteld en op andere plaatsen werd hij in ieder geval versterkt. Daar waar de strandwal nog in tact was, werden ingrepen gepleegd om het zand vast te houden (aanplant helm, aanleggen strekdammen). Daar waar zeegaten lagen werden dammen aangelegd om de kustlijn te herstellen. Een bekend voorbeeld is de Hondsbosse, maar er zijn in totaal nog een tiental kleinere kustdammen die in de loop der eeuwen zijn aangelegd. Op de Waddeneilanden werden ook zandige dammen aangelegd (zgn stuifdijken) waarmee de strandwal en duinenrij werd versterkt. Ondanks de aanleg van dammen en de middelen om het zand vast te houden, bleef de zandige strandwal langzaam landinwaarts opschuiven. Door het suppleren van zand voor de kust is ook deze achteruitgang sinds een jaar of 15 een halt toe geroepen. Op enkele plaatsen bouwt de kust door het aangevoerde zand zelfs langzaam zeewaarts uit.

De Zeeuws-Zuid Hollandse delta

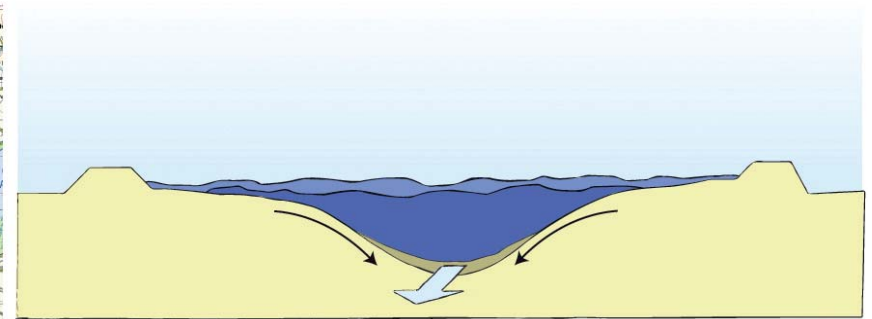
Ca 1700 jaar geleden brak de strandwal in ZW-Nederland op verschillende plaatsen door en het venige achterland viel ten prooi aan de zee. De mens was nog

niet in staat om in te grijpen en na een paar honderd jaar was er een uitgestrekte binnensee ontstaan, vergelijkbaar met de Waddenzee. De strandwal en duinenrij was ondertussen uiteen gevallen in een aantal (wadden)eilanden. Het water dat tussen de eilanden door de binnensee instroomde, vormde daar de huidige diepe zeegaten. Met het zeewater kwam ook weer sediment in beweging; deels vanuit zee en deels opgewerveld vanuit de nieuwe zeegaten. In de eeuwen die volgden vulde een groot deel van het gebied zich met dit sediment weer op tot boven de gemiddelde zeespiegel. De mens reageerde hierop door vanaf

ca 900 jaar geleden de hoog opgeslibde delen in te gaan dijken. Buiten de -eerst nog kleine - dijkkringen ging de opslibbing ondertussen door en tot 1850 werd dit opgeslibde land steeds weer ingedijkt. Hierdoor nam het areaal water, slikken en gorzen gaandeweg af en groeiden de eilanden steeds verder aan. De aanleg van de deltawerken betekende een einde voor de natuurlijke opslibbingsprocessen. De stroomsterkte in de wateren nam zo sterk af dat de sedimentvracht in het water sterk afnam en de opslibbing tot stilstand kwam (figuur 5). Door golfslag vind nu veelal zelfs erosie plaats van de platen.



Voor Deltawerken



Na Deltawerken

Figuur 5. Sedimenttransport en afzettingen in de Zeeuwse en Zuidhollandse Delta.

Het Noordelijk kustgebied

In het kustgebied van Friesland en Groningen pasten de eerste bewoners van het gebied zich aan, aan de invallen van de zee, door op terpen te gaan wonen. Zo woonden ze veilig terwijl de ophoging van het land door sedimentaanvoer gewoon verder ging. Pas vanaf de 11e eeuw stapte men over op het concept van dijkenbouw en werd het noordelijk kustgebied geheel ingedijkt. Buitendijks ging de opslibbing van het land (op de zgn de kwelders) ondertussen door en net als in zuidwest Nederland werd het nieuwe land na verloop van tijd ingedijkt. Om de opslibbing te bevorderen werden speciale landaanwinningswerken aangelegd bestaande uit schermen van rijshout waar tussen het water stil kon vallen en het slib versneld kon neerdalen. Sinds een aantal jaren worden de landaanwinningswerken niet meer onderhouden en staan de kwelders bloot aan de natuurlijke dynamiek. Sedimentatie en erosie wisselen elkaar daar nu af.

Veengebieden

De veengebieden hadden na de maximale verbreiding (zie *figuur 4*) sterk te lijden onder de zee die door de strandwal was gebroken en de zachte veengrond opruimde. In de loop der eeuwen werd vrijwel al het veen in Zeeland, het Zuiden van Zuid Holland, de Kop van Noord Holland, Noord – Friesland en Groningen opgeruimd door golfslag en overstromingen. Om de afslag het hoofd te bieden werden overal dijken aangelegd die de overstromingen vanuit zee tegen hielden. Binnen deze dijkringen stopte het verval van het veen echter niet. Vanaf de Middeleeuwen werd veel veen afgegraven voor brandstof en agv de drooglegging ten behoeve van de landbouw verteerde ook nog eens veel veen en klonk de bodem vele meters in. Veel veengrond is inmiddels gezakt tot tussen de 1 en 2,5 m onder de zeespiegel. Dit proces gaat door tot op de dag van vandaag en jaarlijks verdwijnt nog steeds veel veen. Buiten enkele natuurgebieden vindt vrijwel nergens veenherstel plaats, hoogstens wordt door het hoog opzetten van het grondwater de daling van het veen afgeremd.

Langs de rivieren

Het rivierengebied ligt buiten Laag Nederland, maar omdat sedimentatie er altijd een belangrijke rol heeft gespeeld in de vorming van het landschap, staan we er hier wel even bij stil. Vanouds is het stroomgebied van Waal, Rijn en IJssel een sedimentatiegebied. Sediment dat vanuit Duitsland wordt aan gevoerd, wordt binnen het stroomgebied van de rivieren afgezet, dat hierdoor langzaamaan steeds hoger komt te liggen. Dit gebeurt in een typisch patroon van licht zandige oeverwallen dicht bij de rivier en kleiige kommen verder van de rivier af. De eerste bewoners van het rivierengebied vestigen zich vooral op de hogere oeverwallen. Met lage kades konden zij daar have en goed voldoende beschermen. Met de komst van meer welvaart in de middeleeuwen worden ter bescherming doorgaande dijkringen aangelegd bovenop de oeverwallen. Het stroomgebied van de rivier neemt daardoor met ca 75% af en de waterstanden binnen het veel smallere winterbed nemen ook sterk toe. De stroomsterkte is er ook zo groot dat er alleen nog maar vrij grof zand neerslaat. Klei en fijn zand worden nu doorgevoerd naar benedenstrooms. Dat verandert weer als door de aanleg van zomerkades - vanaf de 18 eeuw - er weer stromingsluwe delen in de uiterwaarden ontstaan waar klei kan bezinken. Met een gemiddelde snelheid van ca 1 cm per jaar hogen de bekade uiterwaarden sindsdien op. Vanaf 1900 is de kleilaag voldoende dik om af te graven ten behoeve van de baksteenfabricage. In de afgelopen 100 jaar zijn de meeste uiterwaarden dan weer met 1 tot 2 meter verlaagd.

4 | Sedimentstromen.

Het sediment dat in laag Nederland is bezonken, is daar gekomen via de rivier en de zee. In tabel rechts-onder zijn de hoeveelheden aangegeven. De hoeveelheden in de rivieren variëren van jaar tot jaar en zijn afhankelijk van het optreden van hoogwater. Tijdens een flink hoogwater voert de Rijn ca 250.000 m³ zand aan; de helft van de gemiddelde jaarlijkse aanvoer. Hoe vaker hoogwater hoe meer sediment er het land binnen komt. In de loop van de vorige eeuw is de gemiddelde hoogwaterafvoer van de rivieren wel iets toe-genomen, maar het aantal grote hoogwatergolven niet. Op het totale sedimentaanbod heeft de toename van de gemiddelde hoogwaterafvoer maar weinig invloed gehad.

Het sediment dat via de Noordzee wordt aangevoerd is grotendeels afkomstig uit het Kanaal (oa afkomstig van de eroderende kustkliffen) en de zuidelijke Noordzee en wordt door de noordwaartse kuststroom meegevoerd. Gemiddeld schrijden de kusten langs het kanaal met ca 1 meter per jaar terug. Het gesteente wordt op het strand door de golfslag vermalen en komt als sediment in het water terecht. Deze sedimentstroom loopt van zuid naar noord langs de gehele Belgische en Nederlandse kust .

In totaal voeren de sedimentstromen jaarlijks ca 12,5 Mm³ zand en klei aan. Uitgaande van een zeespiegelstijging van 3 mm / jaar kan hiermee een oppervlak van ca 3750 km² jaarlijks voldoende worden opgehoogd om de zeespiegelstijging en bodemdaling bij te houden. Dit is ca 25% van het landoppervlak van laag Nederland, waar sediment nodig is om de zeespiegelstijging bij te houden. Als de zeespiegelstijging toeneemt tot 1 cm/jaar neemt deze oppervlakte af tot

1250 km². Dit is nog maar 8% van de oppervlakte; naarmate de zeespiegel sneller stijgt neemt de oppervlakte dus ook snel af (figuur 6).

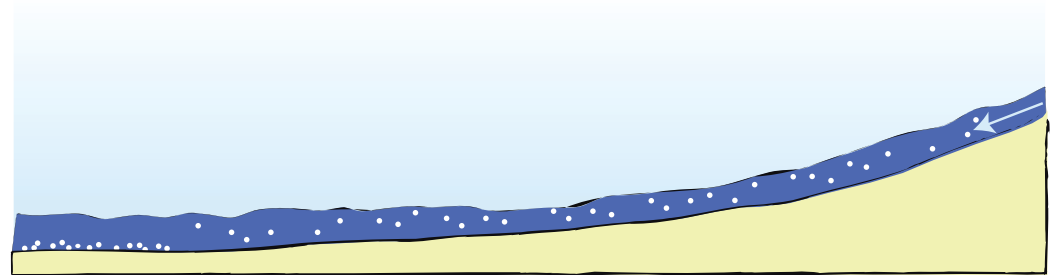
In werkelijkheid zal het overigens nooit mogelijk zijn om al het sediment in te zetten. Zo beweegt de kuststroom als een brede band voor de kust langs en kan slechts een gedeelte hiervan benut worden. Daarnaast zakt een fors deel van het aangevoerde sediment neer in havens en vaargeulen, waar het wordt uitgebaggerd en daarna verplaatst naar locaties waar de zee en de rivier er geen vat meer op hebben. Een andere factor die de aangroeimogelijkheden van het land mede bepaalt is het feit dat het sediment door het water ook nog op de plek van bestemming moet worden gebracht. Hiervoor moet er voldoende stroomsnelheid zijn – anders zakt het sediment vroegtijdig naar de bodem - en ook moet het waterpeil door getij of hoge rivierafvoer voldoende schommelen om het sediment op het land te krijgen. Dit laatste speelt met name in de Zuidwestelijke delta, waar door de aanleg van de deltawerken, de stroomsnelheden te gering zijn voor voldoende sedimentaanvoer.

Maas:	200.000 m ³ zand	500.000 m ³ klei
Rijn:	500.000 m ³ zand	1.500.000 m ³ klei
Zee:	1.000.000 m ³ zand	9.000.000 m ³ klei

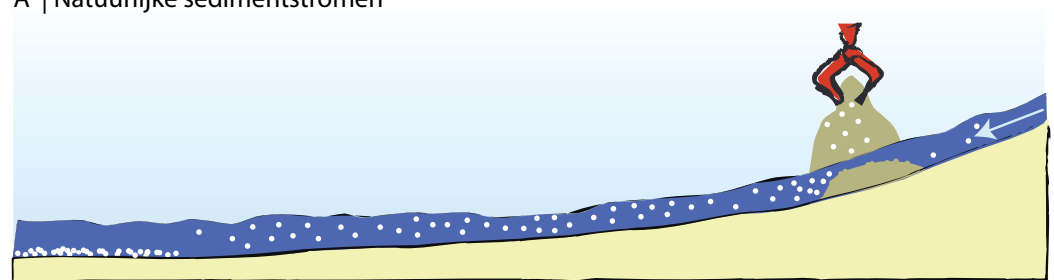
Tabel. Sedimentaanbod vanuit de grote rivieren en de Noordzee.



Figuur 6. Het jaarlijkse beschikbare volume sediment (12,5 Mm³) uitgebeeld in diktes van respectievelijk 3mm, 1cm en 1meter, met corresponderende oppervlaktes.



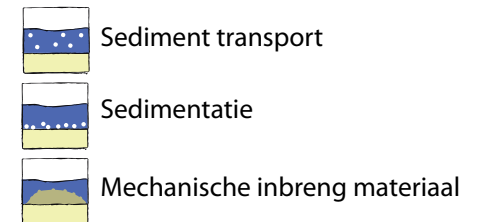
A | Natuurlijke sedimentstromen



B | Natuurlijk sedimentatieproces met extra aanvulling



C | Kunstmatige ophoging



Figuur 7. Mogelijkheden om sedimentstromen te gebruiken.

5 | Mogelijkheden om mee te groeien met de zee.

Uit bovenstaande is duidelijk dat de sedimenthoeveelheden beperkt zijn en dat ook de aanvoermogelijkheden soms te wensen over kunnen laten. De mogelijkheden voor natuurlijke aanwas van land zullen daarom zorgvuldig moeten worden bepaald. De vraag waar en hoe we de natuurlijke sedimentstromen het beste kunnen inzetten, zullen we hierna proberen te beantwoorden aan de hand van een ronde langs de verschillende gebieden waar sediment in Nederland beschikbaar is. Daarnaast zullen we voor plaatsen waar wel kansen liggen, maar onvoldoende sedimentaanvoer is, nagaan of de hoeveelheden op kunstmatige wijze kunnen worden vergroot. Dit levert dan de volgende drie mogelijkheden op (zie figuur 7):

Optie A. Gebieden waar we gebruik maken van de natuurlijke sedimentstromen.

Optie B. Gebieden waar we de sedimentstromen aanvullen (zandmotor, kleimotor) en wel gebruik maken van de natuurlijke processen.

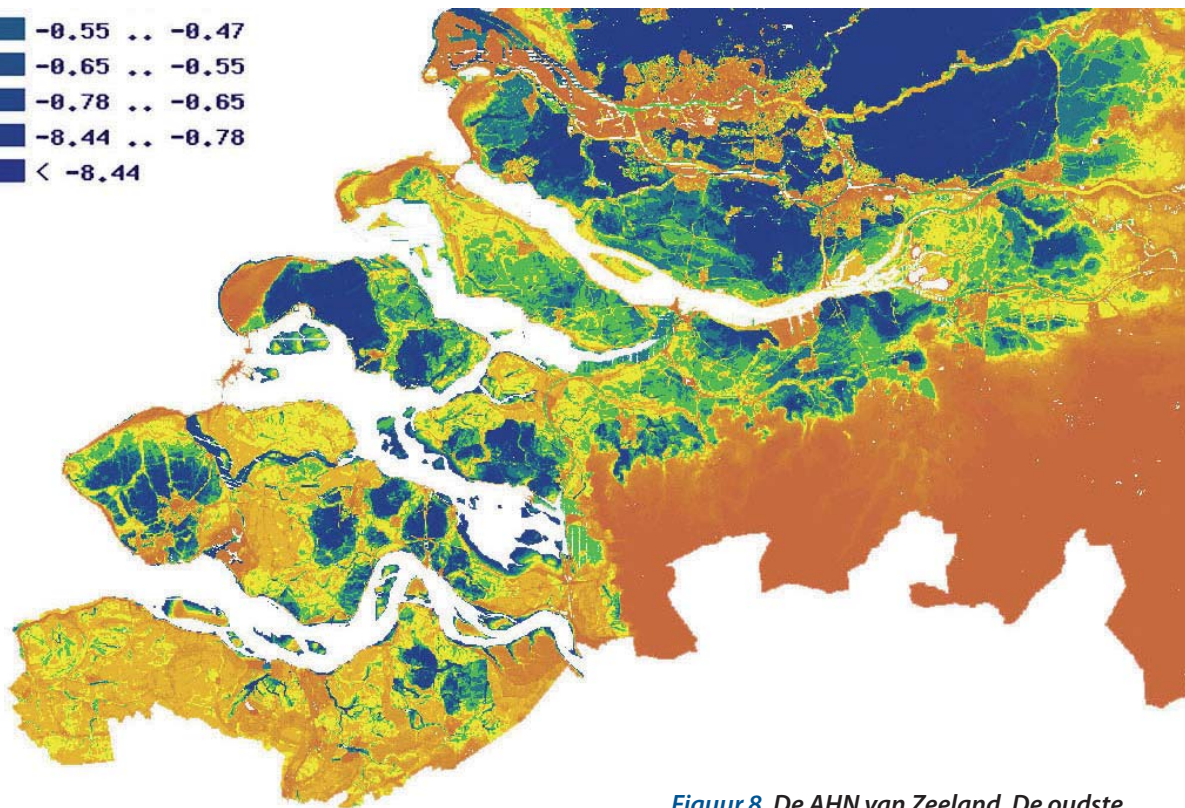
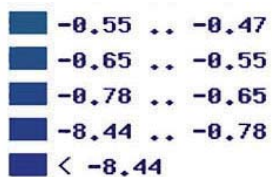
Optie C. Gebieden waar het sediment op kunstmatige wijze wordt aangevoerd om het land ermee op te hogen. Dit zijn bv terpen of andere grote kunstmatige ophogingen (hier gaan we in deze studie verder niet op in).

Kustzone

De kuststrook heeft al sinds duizenden jaren een zandtekort. De zandstroom voor de kust langs is niet groot genoeg om de strandwal en duinen op sterkte te houden. De kuststrook schrijdt daarom terug en is op verschillende plaatsen doorgebroken. Door suppletie worden de zandtekorten tegenwoordig aangevuld. Dit is een duidelijk voorbeeld van mogelijkheid B: het tekort aan zand wordt kunstmatig aangevuld en de natuurlijke processen doen het werk bij de verdeling van het zand. Het is geen optie om hier over te schakelen op optie A, omdat dat ten koste zal gaan van de kuststrook en dat wordt niet wenselijk gevonden. Hoogstens kan er meer diversiteit komen in het kustlijnbeheer, door te suppleren daar waar de kust smal en zwak is en niet te suppleren, en daarmee de kustlijn wat naar binnen te laten bewegen, waar die breed en sterk is.

ZW-delta

Hierboven is al beschreven hoe Zeeland na een periode van overstromingen (tussen 300 en 1000 na Cgr.) weer uit de zee is herrezen. Deze overstromingen werden gevreesd, maar ze leverden wel het sediment, waardoor Zeeland en de Zuid Hollandse eilanden nu een paar meter hoger liggen dan de veenpolders in Noord en Zuid Holland, die niet zijn overstroomd. Inmiddels zijn ook de oudste polders in Zeeland al weer zo lang verstoken van nieuw sediment dat ze tot 1 meter onder de zeespiegel liggen (zie figuur 8 op de volgende pagina). Wanneer het wenselijk is om deze gebieden op te hogen kan natuurlijke sedimentatie (mogelijkheid A) hiervoor worden aangewend. De gebieden moeten dan in open verbinding komen met een van de zee-armen, zodat er met het getij ook weer klei naar deze gebieden kan worden gevoerd. De verwachting is dat dit proces tientallen jaren zal duren, zodat alleen een natuurbestemming in die tijd mogelijk is. Na verloop van tijd ligt het gebied weer hoog genoeg en kan het weer voor enkele honderden jaren van de natuurlijke dynamiek worden afgekoppeld. Dit systeem van zogenaamde 'wisselpolders' is een interessante mogelijkheid om sediment voor in te zetten.



Figuur 8. De AHN van Zeeland. De oudste polders (blauw en groen) liggen vaak in het midden van de eilanden. Hier is de inpoldering van de Zeeuwse en Zuid Hollandse eilanden begonnen.

De oudste polders hebben bij elkaar een omvang van naar schatting 80 Mm² (8000 ha). Om deze polders tot aan de vloedlijn op te hogen, is ca 3 m sediment nodig, wat een volume betekent van ca. 250 Mm³. Dit is 25 maal de totale jaarlijkse sedimentaanvoer via de zee. Als al het sediment kon worden ingezet, zou het hele gebied in 25 jaar op hoogte zijn. Omdat maar een deel van het sediment beschikbaar is, duurt het langer, maar daar staat weer tegenover dat nooit alle gebieden tegelijk zullen worden ontpolderd. We verwachten dat het vanuit de natuurlijke processen bezien wel een haalbare optie is.

Rekenvoorbeeld: Uitgaande van een polder van 5 km² met een huidige hoogteligging van -1 m is 15 Mm³ sediment nodig om de polder 3 m op te hogen. Als het water gemiddeld ca 200 mg slib per liter water bevat en alle slib blijft in de polder achter, dan zijn ca 20.000 getijdeslagen nodig om die hoeveelheid aan te voeren; dit komt overeen met een periode van 27 jaar.

Foto. Natuurlijk sediment in het Verdronken Land van Saeftinghe aan de Westerschelde.



De Waddenzee en de Noordelijke kuststrook

De commissie Veerman geeft voor de Waddenzee aan dat deze waarschijnlijk zal verdrinken bij een hogere stijgsnelheid van de zeespiegel (1,5 m per eeuw). Op dit moment heeft de Waddenzee (opp 2.400 km²) voor het bijhouden van de zeespiegelstijging van 3 mm/jr al ruim 7 Mm³ zand nodig. De kuststrook is hier niet groot genoeg voor, maar samen met de suppleties, waarvan uiteindelijk een groot deel in de Waddenzee terecht komt, houdt de bodem de stijging nu nog net bij. Omdat de Waddenzee voor haar voortbestaan nu al afhankelijk is van suppleties, is wat de aanvoer en sedimentatie van zand betreft een optie B-gebied. Er is een alternatief voor deze onnatuurlijke aanvoer en dat is het weer vrijlaten van de kustlijn van de Waddeneilanden. Door de Waddeneilanden weer langzaam naar binnen te laten schuiven komt veel sediment vrij dat in de vraag van de Waddenzee kan voorzien. Een terugschrijden van slechts 30 cm per jaar van de kustlijn kan al voorzien in de zandvraag van de hele Nederlandse Waddenzee. Een vijf maal grotere zeespiegelstijging – waar de commissie Veerman van uitgaat - zou de zandbehoefte van de Waddenzee doen toenemen tot 35 Mm³ per jaar. Alleen een extreme toename van de suppleties zou hierin kunnen voorzien, of het accepteren dat de Waddeneilanden jaarlijks ca 1,5 m naar binnen opschuiven.

Wat de slibstroom betreft, die bijdraagt aan de opwas van kwelders, zijn de vooruitzichten voor de Waddenzee iets gunstiger. Momenteel blijft maar 5% van het slib dat de Waddenzee binnengaat bij vloed in het gebied achter, dus is er nog voldoende beschikbaar. Ook blijken met name de lagere kwelders snel te kunnen groeien, met wel 2 cm per jaar. Het is daarvoor van

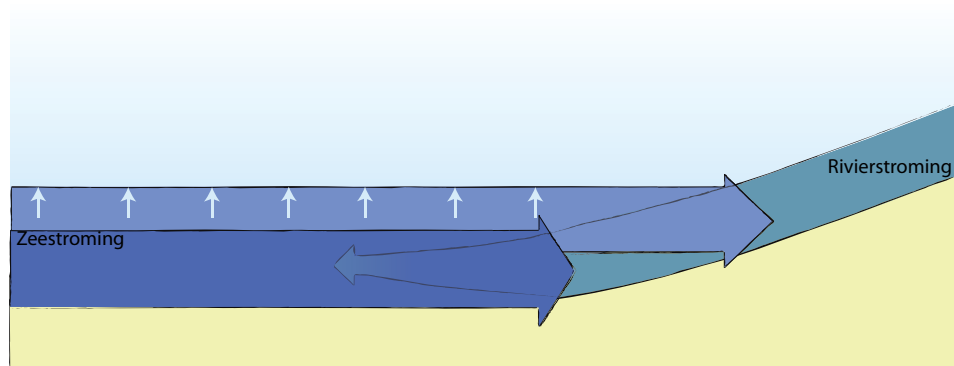
belang dat de kwelders in een goede ecologische toestand blijven verkeren, waarbij ze goed bereikbaar zijn voor het slibrijke water en er voldoende begroeiing is die het slib in kan vangen. Wat de slibstroom betreft is de Waddenzee nog steeds een optie A gebied.

Bij een hogere zeespiegel zal ook het watervolumes toenemen dat per getijdeslag de Waddenzee in- en uitstroomt. Dit betekent dat ook zeearmen dieper zullen uitslijten, waarbij zand en slib vrij komt. In hoeverre dit een bijdrage kan leveren aan het behoud van delen van de Waddenzee is onduidelijk.

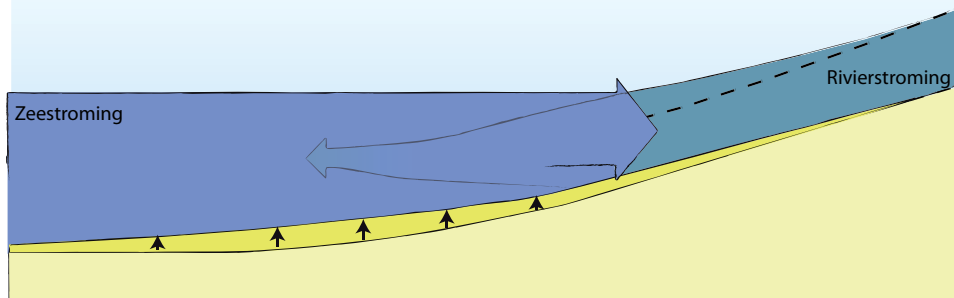
Voor de binnendijkse zeekeleigebieden van Noord Holland, Friesland en Groningen geldt hetzelfde principe als voor de zeekeleigebieden in de Zuidwestelijke delta. Door de aanvoer van slib, dat nog voldoende in de Waddenzee aanwezig is, kan een deel van het binnenland, na ontpoldering, mee blijven groeien met de zeespiegelstijging.

Veengebieden

Een groot deel van de Nederlandse lagune is ooit gevuld geweest met veen. Tussen 5000 en 2500 jaar geleden zijn metersdikke pakketten laag- en hoogveen afgezet. De bekende veenweidegebieden in Noord- en Zuidholland zijn daarvan het restant. De veengroei is deels gestopt omdat de zee weer toegang kreeg tot het noorden en zuidwesten van het land. In de andere delen van Laag Nederland is de veengroei echter gestopt door menselijk ingrijpen in de waterhuishouding. Herstel van veengroei is momenteel nergens aan de orde. Alleen in enkele natuurgebieden vindt accumulatie van plantenresten plaats, maar vaak worden die na verloop van tijd weer wegebaggerd, om de bodem niet te ver te laten stijgen en de bijzondere verlandingsvegetaties in stand te houden. De kansen voor verlanding op grotere schaal, bv in veenweidegebieden die permanent ca. 1 m onder water zijn gezet, zijn nog nooit doorgerekend. Verdere aangroei van het land, door een fase van hoogveenvorming bovenop het laagveen, is waarschijnlijk geen optie omdat hoogveen veel langzamer groeit. Daarom zou ingezet moeten worden op een optimale laagveensituatie waarin zoveel mogelijk plantenresten beschikbaar zijn die onder water worden afgezet. Na een fase van laagveenvorming zou het gebied dan weer in gebruik genomen kunnen worden voor menselijk gebruik.

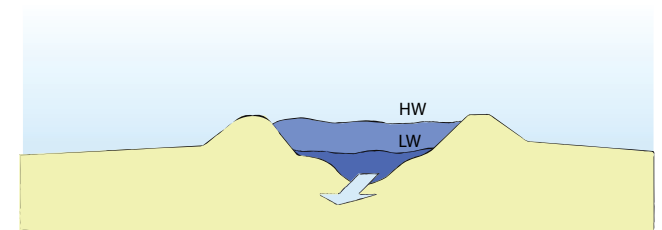


Stijging van de zeespiegel en landinwaartse verschuiving van de zone met getijdeninvloed.

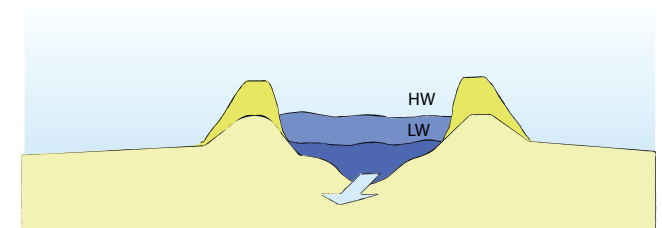


Meegroeien van de bodem in de stroomgordel en daardoor enige zeewaartse verschuiving van de zone met getijdeninvloed.

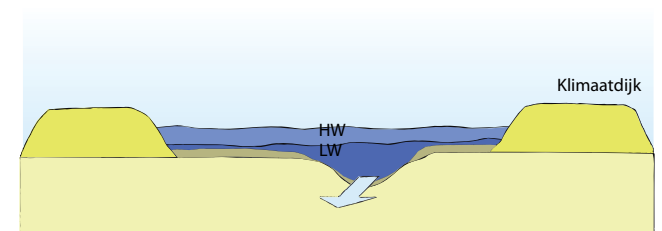
Figuur 9. Zeespiegelstijging en verschuiving van de zone met getijdeninvloed. Een lengtedoorsnede van het rivierengebied.



Huidige situatie



Oplossing Veerman



Onze oplossing: bredere stroomgordels

Figuur 11. Huidige situatie en oplossingsstrategieën voor grotere veiligheid in het benedenrivierengebied.

De Bovenrivieren

Door de grote rivieren wordt zand en klei aangevoerd, waarvan met name klei in de uiterwaarden wordt afgezet. Jaarlijks gaat het om ca 300.000 m³ die langs de grote rivieren wordt afgezet. De baksteenfabricage is een van de bedrijfstakken die profiteert van deze natuurlijke aanvoer. De klei die in de uiterwaarden wordt afgezet, wordt na verloop van tijd weer afgegraven. Uit berekeningen blijkt dat de aanvoer groter is dan de hoeveelheid die nodig is voor de fabricage. Omdat de voorraden op peil blijven, is klei dus een hernieuwbare grondstof. Met het afgraven van de klei voorziet de baksteenindustrie ook voor een deel in het beheer van de uiterwaarden, omdat de ruimte voor de rivier er door op peil blijft. Er is geen behoefte om iets aan dit systeem te veranderen.

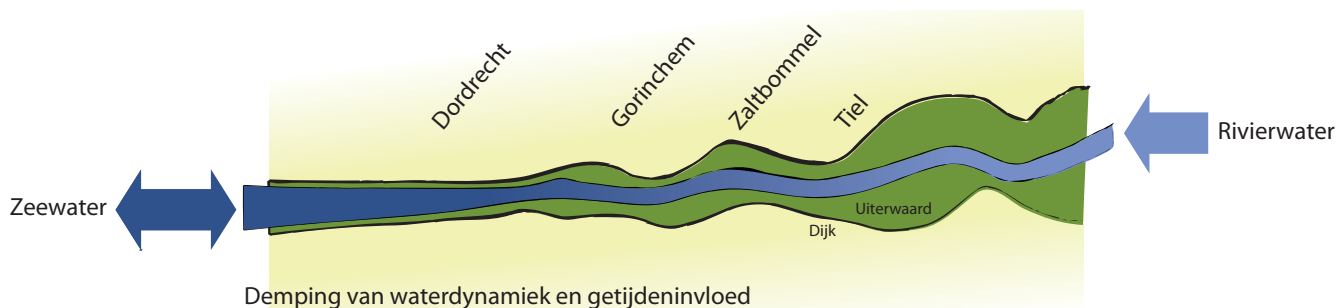
Voor de Zandwinning gaat het principe van de hernieuwbare grondstoffen niet op. De aanvoer van zand via de rivieren is namelijk vele malen kleiner dan de behoefte (< 5%). Omdat de zandaanvoer via de rivier niet kan worden vergroot, zal de zandwinning moeten blijven putten uit historische voorraden die in de ondergrond van Nederland aanwezig zijn. Als zandwinning in de uiterwaarden plaatsvindt heeft zij zelfs negatieve gevolgen voor de sedimentstroom in de rivier. In de diepe zandputten bezinkt namelijk veel klei die daarvoor uit het systeem verdwijnt en niet winbaar is voor baksteenfabricage of voor sedimentatie elders.

De Benedenrivieren

In het benedenrivierengebied zullen de effecten van de klimaatverandering het hardst worden gevoeld, omdat het waterpeil hier zowel de invloed ondervindt van de zeespiegelstijging als van de grotere rivierafvoeren. In een natuurlijke situatie reageert het riviersysteem hierop door haar oevers te gaan ophogen, waardoor de verhanglijn van de rivier zal veranderen (zie figuur 9).

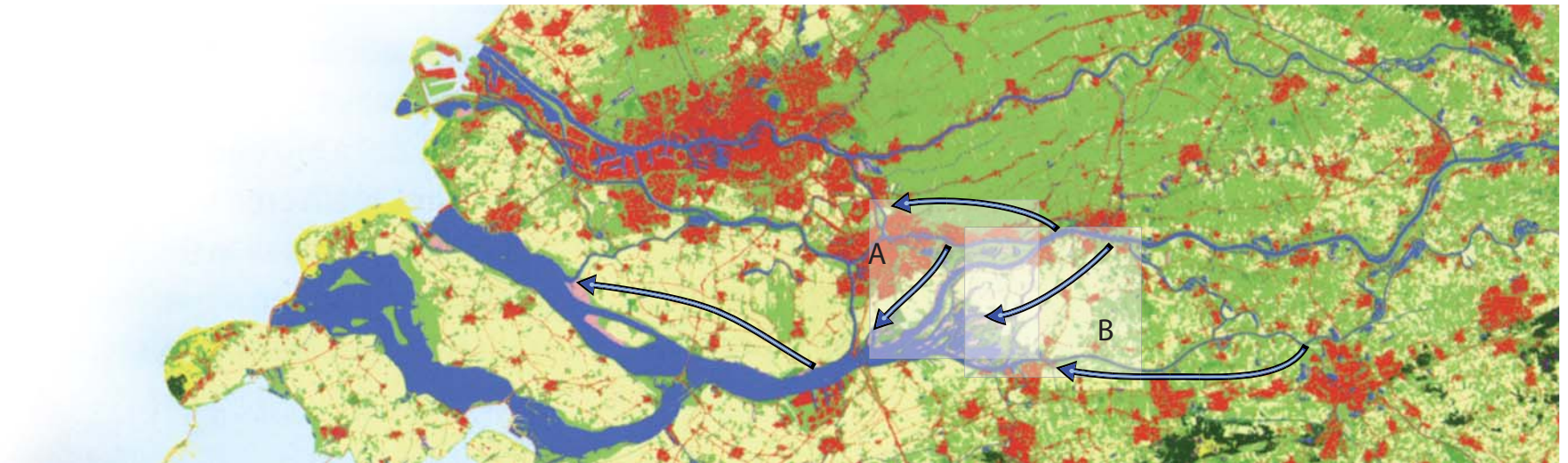
In de huidige situatie is het niet mogelijk dat de verhanglijn van de rivier zich aanpast; de dijken liggen in het benedenrivierengebied vanouds namelijk zeer dicht langs de rivier, zodat er vrijwel geen uiterwaarden beschikbaar zijn. Voor natuurlijke sedimentatie is daarom geen plaats. Om natuurlijke sedimentatie

mogelijk te maken zal er dus eerst sedimentatiegebied beschikbaar moeten komen. Het terugleggen van de dijken langs de huidige benedenrivieren is geen optie, omdat er woningen op de dijken staan en veel dorpen en steden direct achter de dijken liggen. De enige mogelijkheid is dan om een geheel nieuwe bedding aan te leggen, met voldoende ruimte aan weerszijden om de natuurlijke aanslibbingsprocessen de ruimte te bieden. De gehele stroomgordel is aan weerszijden begrensd door brede dijken (bv klimaatdijken). Op de dijken kan worden gewoond en kunnen ook steden en dorpen worden aangelegd. Ook in de uiterwaarden kan worden gewoond, maar dan op terpen (zie figuur 11).




Figuur 10. Aanduiding karakteristiek benedenrivieren en bovenrivierengebied.

Mogelijke locaties voor nieuwe stroomgordels




Legenda

 Nieuwe stroomgordel

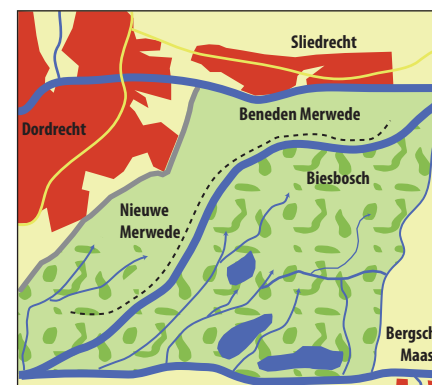
Figuur A,B: voorbeelduitwerkingen van mogelijke nieuwe stroomgordels

 Verwijderde dijk

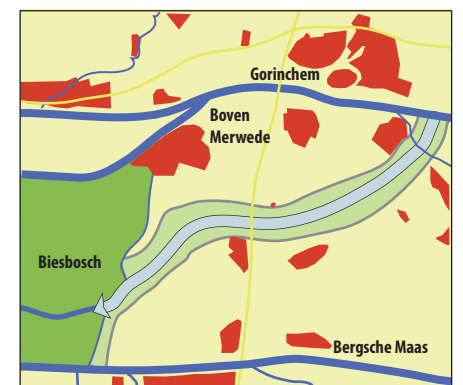
 Nieuwe dijk

 Nieuwe uiterwaard

 Nieuwe riviergeul



A Wijde Merwede



B Nieuwe Alm

Figuur 12. Oplossingsstrategie nieuwe stroomgordels. Voorbeelden en mogelijke locaties.

De rivieren in het benedenrivierengebied gaan daarmee ook wat meer op de bovenrivieren lijken, met brede uiterwaarden waar klei en zand kunnen bezinken. Dit sediment is allereerst bedoeld om het gebied mee te laten groeien met de zeespiegelstijging, maar eventuele overschotten aan sediment die neerslaan, kunnen ook worden gebruikt voor bakstenen of andere bestemmingen.

De locatie voor zo'n nieuwe 'meegroeïende stroomgordel' ligt bij voorkeur ten zuiden van de Randstad (figuur 12). Mogelijk kan de Nieuwe Merwede er voor worden omgebouwd, of een loop nog zuidelijker, ongeveer waar nu de Amer loopt, waar dan ook het water van de Maas gebruik van kan maken. Wanneer we uitgaan van een nieuwe waterloop van 30 km lang met in totaal 1000 m brede uiterwaarden dan is 30 Mm³ sediment nodig om deze uiterwaarden ca 1,5 m op te hogen. Uit metingen is bekend dat uiterwaarden tot ca 1 cm per jaar kunnen opwassen. De snelheid varieert van nog groter in het begin als de uiterwaard vaak overstroomt, tot veel langzamer, als de overstromingen vanwege de hoogte, minder vaak optreden. De ruimte voor berging van hoogwater blijft ondertussen bestaan, want de kleilaag zal nooit de hoogte van extreem hoogwater bereiken.

Omdat zowel van de natuurlijke aanvoer van sediment gebruik gemaakt kan worden (er bevindt zich voldoende zand en klei in de Benedenrivieren) als van de natuurlijke processen die het sediment op de plek van bestemming brengen gaat het hier om een optie-A locatie.

De commissie Veerman heeft zich ook gebogen over de problematiek van het benedenrivierengebied. Om de hogere waterstanden in de toekomst het hoofd te bieden kon zij kiezen uit 3 mogelijkheden: het verlagen van de rivierbodem, het verhogen van de dijken en het met keringen afsluitbaar maken van het hele benedenrivierengebied. De eerste optie valt meteen al af, omdat deze alleen soelaas biedt in een situatie dat het water stroomt. Dit is in hoogwatersituaties in het benedenrivierengebied niet het geval omdat de keringen aan de zeezijde dan gesloten zijn. De optie om de dijken te verhogen is in het westen van het land zee kostbaar, omdat het om een grote lengte gaat en de dijken op heel veel plaatsen dicht bebouwd zijn. De commissie heeft daarom gekozen voor de aanleg van keringen in al de watergangen van het noordelijk Benedenrivierengebied. Bij hoog water kan dit hele gebied dan in een keer afgesloten worden van de invloed van het rivierwater. Een deel van het benedenrivierengebied kan niet door keringen afgesloten worden (oa Bovenmerwede en de Nieuwe Merwede omdat hierlangs het rivierwater naar zee zal moeten worden gevoerd. Langs deze wateren kiest de commissie wel voor dijkverhoging. Het zijn daarom deze gebieden die zich het beste lenen voor de hierboven gepresenteerde mogelijkheid om met sediment de stroomgordel mee te laten groeien met de zeespiegel, zodat zich hier een aflopende verhanglijn kan vormen.