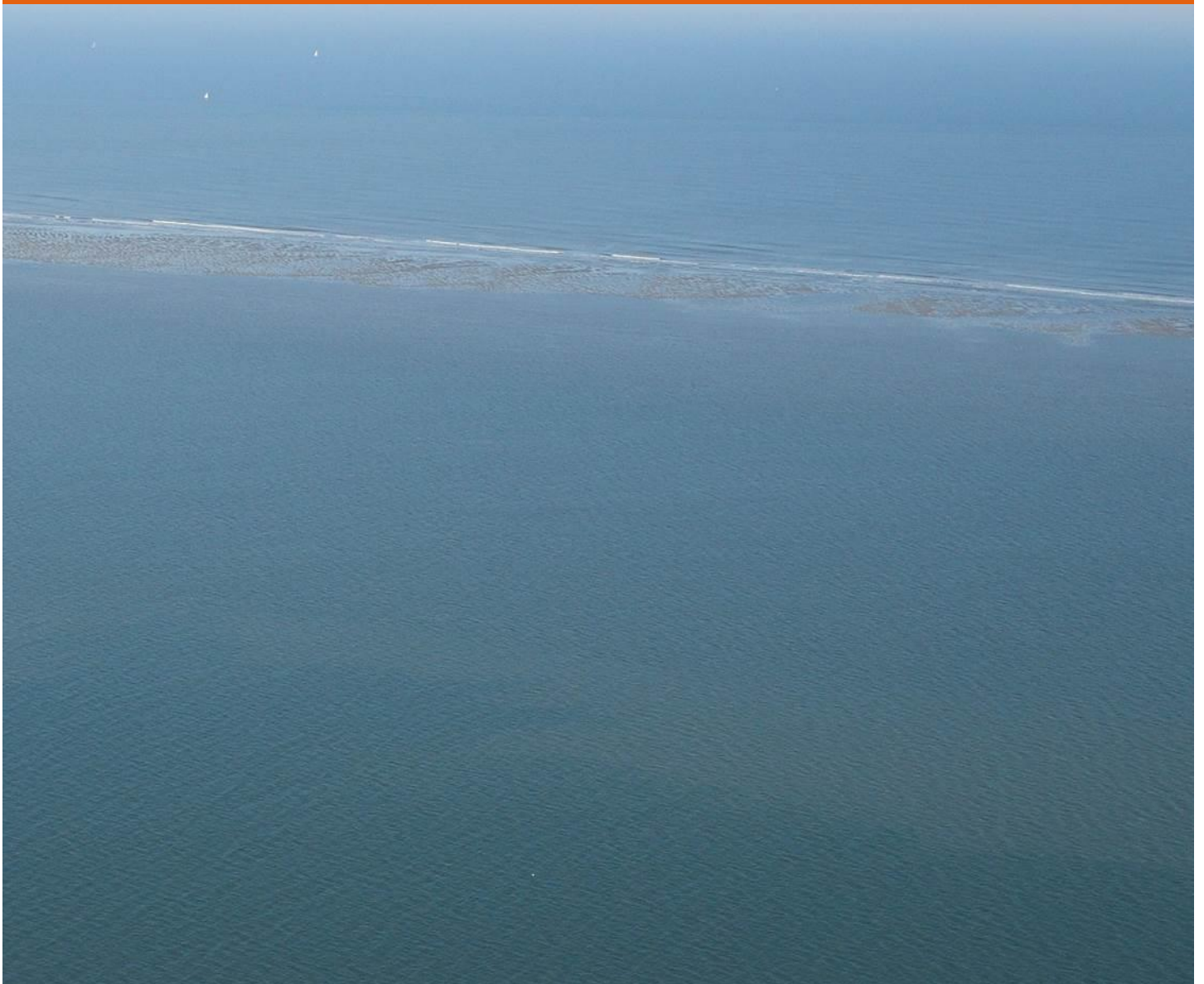


KENNISVRAAGSPECIFICATIE ZEEWAARTSE GRENS KUSTFUNDAMENT

Kustgenese 2 Ministerie van Infrastructuur en Milieu

27 SEPTEMBER 2016



Contactpersonen

JELMER CLEVERINGA
Senior Advisor Coastal
Morphodynamics

T +31 (0)88 4261 440
M +31 (0)6 5073 6850
E jelmer.cleveringa@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

Foto voorzijde: Luchtfoto van de Bollen van de Ooster (monding van de Grevelingen, voor Goeree),
genomen op 1 augustus 2007 (bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt)

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING	5
1.1 Programma Kustgenese 2	5
1.2 Doel van het voorliggende document	5
1.3 Gehanteerde aanpak	5
2 WAT IS HET KUSTFUNDAMENT?	6
2.1 Beschrijving (en definitie)	6
3 EEN BEKNOPTTE GESCHIEDENIS VAN DE ZEEWAARTSE BEGRENZING	8
3.1 Inleiding	8
3.2 Ontgrondingenbeleid voor de Noordzee	8
3.3 Kustbeleid	9
3.4 Samenvattend	10
4 INHOUDELIJKE ARGUMENTEN BIJ DE ZEEWAARTSE GRENS	11
4.1 Het conceptuele model	11
4.2 Depth of Closure	11
4.3 Schelpen	14
4.4 Geologie van de uitbouwende kust en 'versteiling'	17
4.5 De vorm van het kustprofiel	19
4.6 Samenvattend	21
5 FYSISCH PROCESEN	23
5.1 Inleiding	23
5.2 Golven en stroming	23
5.3 Sedimenttransport	25
5.4 Conditie op de Noordzee	28
5.5 Korrelgrootteverdelingen, slib en organismen	31
5.6 Samenvattend	33

6 HYPOTHESEN EN AANNAMES BIJ EEN ZEEWAARTSE GRENS	34
6.1 Inleiding	34
6.2 Van hypothese naar aanname over zandtransport	34
6.3 Meegroeien van het kustprofiel met de stijgende zeespiegel	35
7 KENNISLEEMTES EN VRAAGSPECIFICATIE	37
7.1 Inleiding	37
7.2 Kennisleemtes ten aanzien van beleidskeuzes	37
7.3 Onderdeel 1: Update Technisch Rapport 1 Zandsysteem kust & Atlas vooroever	37
7.4 Onderdeel 2 Proef, metingen en modelstudie	39
7.5 Onderdeel 3: Aftappen van de kennisontwikkeling	41
7.6 Kenniscommunity	41
8 BRONNEN	43

BIJLAGEN

BIJLAGE A VERSLAG BIJEENKOMST 1.	47
BIJLAGE B VERSLAG BIJEENKOMST 2.	50

1 INLEIDING

1.1 Programma Kustgenese 2

In het programma Kustgenese 2 is een aantal onderwerpen geagendeerd die betrekking hebben op het beleid en het beheer van de (zandige) kust van Nederland. Het programma is opgebouwd in samenhang met het lopende KPP (Kennis voor Primaire Processen) voor de ondersteuning van het beheer van de kust en de beleidsondersteuning. Het werk dat wordt uitgevoerd in het Kustgenese 2 programma zal in 2020 input leveren voor het nemen van de aangekondigde beleidsbeslissing zandige kust.

De drie geprioriteerde onderwerpen die onderdeel zijn van het kustgenese 2 programma zijn 'zeegaten', 'kustfundament' en 'bodemdaling'. Het onderwerp 'kustfundament' heeft betrekking op de definitie en de ruimtelijke afbakening van het kustfundament. Met name de zeewaartse grens (die momenteel ligt op de doorgetrokken NAP -20 m lijn) is een onderwerp waarover discussie wordt gevoerd.

1.2 Doel van het voorliggende document

Het doel van deze vraagspecificatie is om scherp te krijgen welke kennis reeds aanwezig is rond de keuzes voor de zeewaartse grens van het kustfundament, welke kennisleemtes zijn geïdentificeerd en hoe deze kennisleemtes gevuld kunnen worden. Daarbij wordt duidelijk gemaakt hoe het onderzoek om de kennisleemte te vullen bijdraagt aan het maken van beleidskeuzes over de zeewaartse grens van het kustfundament.

1.3 Gehanteerde aanpak

Voor deze vraagspecificatie is begonnen met een eerste analyse van technische rapporten en studies rond de zeewaartse grens van het kustfundament. Deze analyse is gebruikt als voorbereiding voor een discussiebijeenkomst met een aantal deskundigen. Het verslag van deze bijeenkomst is opgenomen als bijlage A bij dit rapport. Op basis van de discussie is verder gezocht naar de inhoudelijke argumenten zoals die zijn gebruikt bij het maken van beleidskeuzes rond het kustfundament. Hiertoe is de analyse verder uitgebreid en zijn de resultaten wederom voorgelegd aan deskundigen in een discussiebijeenkomst. Het verslag hiervan is opgenomen als bijlage B. In aanvulling op de bijeenkomst zijn ook gesprekken gevoerd met Leo van Rijn, Quirijn Lodder, Jan Mulder en Maarten Kleinhans die niet bij de tweede discussiebijeenkomst aanwezig konden zijn. De uitkomsten van de analyses en de discussiebijeenkomsten zijn ten slotte samengevoegd in het voorliggende document.

2 WAT IS HET KUSTFUNDAMENT?

2.1 Beschrijving (en definitie)

De definitie van het kustfundament die op het internet wordt aangetroffen is nogal summier: “Gebied dat van belang is voor de bescherming van het laaggelegen deel van Nederland tegen overstroming en omvat landwaarts zowel duinen als zeedijken. De zeewaartse grens bestaat uit de doorgaande NAP -20 m lijn. Bij de aanduiding van de globale landwaartse begrenzing van het kustfundament is rekening gehouden met het meest problematische scenario over 200 jaar.”

De kaart uit de Nota Ruimte met het kustfundament is opgenomen in Figuur 1. Het vigerende beleid rond het kustfundament is vastgelegd in de structuurvisie infrastructuur en ruimte (svir, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).

Een meer uitgebreide uitleg van het kustfundament is te vinden in het Synthesedocument deelprogramma kust (Achtergronddocument B9 bij het Deltaprogramma 2015). Hierin worden in een intermezzo (op pagina 23) drie begrippen toegelicht, waaronder het kustfundament: “Kijken we op een nog langere termijn (in decennia), dan blijkt de kustlijnligging te worden bepaald door de totale hoeveelheid zand die zich in de hele kust bevindt. Op een tijdschaal van enkele decennia moeten we dan denken aan een zone tussen de 20 meter dieptelijn en de binnenduinrand, het kustfundament. Door de hoeveelheid zand in het kustfundament op peil te houden, scheppen we de voorwaarden voor het handhaven van de kustlijn op lange termijn, en daarmee voor het handhaven van de veiligheid op lange termijn (voor vele decennia)”.



Figuur 1 Kaart van het Kustfundament uit de Nota Ruimte (Ministerie van VROM, 2004).

Het begrip kustfundament is geïntroduceerd in de Nota Ruimte. In de beleidsstukken en technische achtergronddocumenten uit de periode voor 2004 werd gesproken over

de zandverliezen op dieper water en het compenseren van de zandverliezen op dieper water. In de tweede kustnota (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1995) wordt gesproken over het fundament van de kust en de landwaartse verplaatsing van de dieptelijnen waardoor de kust 'versteilt'. De zeevaartse grens van het gebied dat werd beschouwd als de diepere kustzone (Mulder, 2000), komt overeen met de zeevaartse grens van het kustfundament.

Het kustfundament is een ruimtelijk onderdeel van Nederland, met consequenties voor het gebruik van dat gebied. Verder wordt het kustfundament gebruikt om te bepalen hoeveel suppletiezand jaarlijks nodig is om mee te groeien met de stijgende zeespiegel, volgens de formule oppervlakte van het kustfundament vermenigvuldigt met de snelheid van zeespiegelstijging (Nederbragt, 2005).

3 EEN BEKNOPTTE GESCHIEDENIS VAN DE ZEEWAARTSE BEGRENZING

3.1 Inleiding

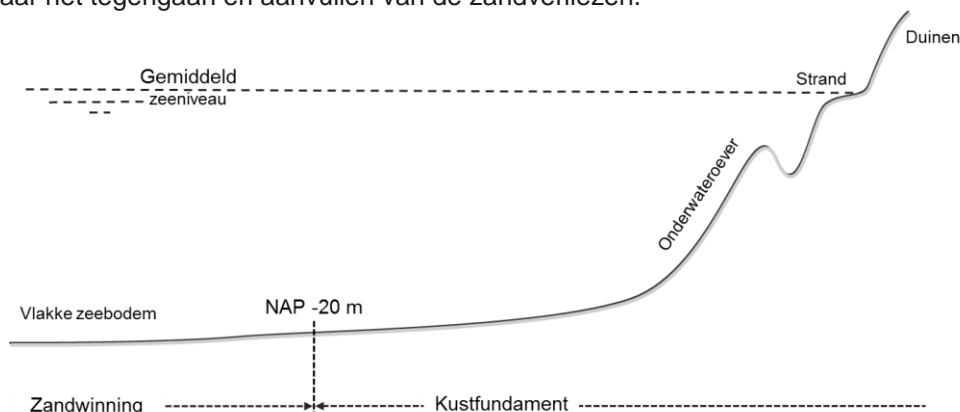
Het vigerende kustbeleid is gericht op het handhaven van de functies van de kust, door het dynamisch handhaven van de kustlijn en door het op peil houden van de zandvoorraad van het kustfundament. De totstandkoming van dit beleid en de onderliggende kennisbasis is verweven met de totstandkoming van:

- Het kustbeleid;
- Het ruimtelijke ordenings- en ontgrondingenbeleid voor de Noordzee.

Eigenlijk is sprake van twee grenzen/lijnen die samenvallen: de landwaartse grens van het gebied waar zandwinning mag plaatsvinden en de zeewaartse grens van het kustfundament (Figuur 2).

3.2 Ontgrondingenbeleid voor de Noordzee

De basis voor de grens tussen de onderwateroever en de bodem van de Noordzee is gelegd in het ontgrondingenbeleid. De spanning tussen het suppleren van het strand met zand van de ondiepe onderwateroever werd reeds onderkend aan het begin van de jaren '90 en heeft geresulteerd in ruimtelijk beleid voor de Noordzee voor de zandwinning. De grens tussen vooroever en Noordzeebodem werd in beleidscontext voor het eerst vastgelegd in het zandwinbeleid voor de Noordzee. In eerste instantie in het MER zandwinning bij het Regionale Ontgrondingen Plan (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1991). Hierin werd op basis van verschillende functies, zoals bijvoorbeeld kustverdediging en ecologie, een keuze gemaakt voor de fysieke grens NAP -20 m voor zandwinning (Figuur 2). Daarna werd rond 1993 in het Beleidsplan Voordelta (Bestuurlijk overleg Voordelta, 1993) een versimpelende NAP -20 m lijn gedefinieerd, vanwege het verspringen van deze werkelijke lijn door de Zeelandbanken. Hiermee werd de aanzet gegeven voor de doorgaande NAP -20m lijn. Tegelijk werd ook onderkend dat de brede zone tot NAP -20 m lijn bij Zuid- en Noord-Holland tot onwenselijk grote afstanden tussen afzet- en zandwingebed zou leiden. Daarom werd bij de diepte tevens een maximale afstand van 20 km genoemd vanaf de kustlijn. Het belang van onderwateroever voor het behoud van de kustlijn kwam in het beleid duidelijk naar voren en er werd ingezet op het beperken van antropogene zandverliezen. In de jaren daarna is in het kustbeleid verder toegewerkt naar het tegengaan en aanvullen van de zandverliezen.

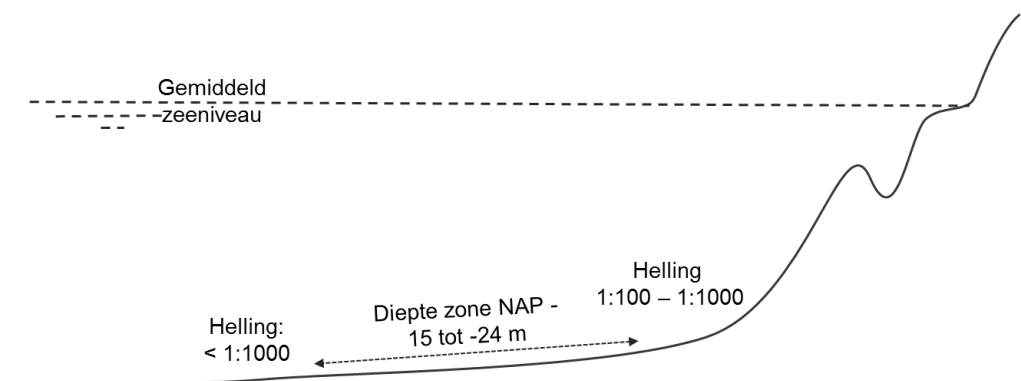


Figuur 2 Schematische dwarsdoorsnede van de Nederlandse kust, van het strand en de duinen tot de Noordzeebodem.

De grens van NAP -20 m is gekozen op basis van de vorm van het kustprofiel, die wel is beschreven als een 'knik' van 1:100 naar 1:1000 (Figuur 3). Deze 'knik' is meestal een overgangszone en ligt in Delta en Wadden ongeveer op NAP -20 m. Bij de

Hollandse kust ligt deze overgang in de hellingen wat dichterbij de kust (ca. NAP – 16). Vanuit ecologische waarden en beperkt inzicht in de functie van de diepere onderwateroever voor de stabiliteit van de kustlijn is hier echter gekozen voor de doorgetrokken NAP -20 m lijn. Dit is de grens waarvan landwaarts geen zandwinning mag plaatsvinden.

Het beleidsdoel van deze grens is onder andere om de invloed van zandwinning op het kustprofiel (met de daarbij behorende functies) te beperken. Vanuit het voorzorgsprincipe is daarbij een voorzichtige grens gehanteerd. Mede op basis van modelsimulaties is onderzocht wat er gebeurt als zandwinning hoger in het profiel plaatsvindt, dat wil zeggen landwaarts van de NAP -20 m lijn (bijvoorbeeld in Van der Werf & Giardino, 2009). Uit deze onderzoeken is gebleken dat de gevolgen voor de kustzone beperkt zijn. Een verdieping van 12 m in de vorm van een “zandgoot” buiten de NAP -20 m gaf bijvoorbeeld slechts 10% toename van de golfhoogte in de kustzone. Vergelijkbare conclusies zijn getrokken bij studies naar de gevolgen voor (extreme) zandwinning op de Zeeuwse banken (Boers en Jacobse, 2000).



Figuur 3 Schematische dwarsdoorsnede met helling van de vooroever en Noordzeebodem.

3.3 Kustbeleid

Na de definitie voor de zandwinning is de NAP -20 m lijn ook gaan fungeren als de zeewaartse grens van het kustfundament (in 4^e Nota Waterhuishouding, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998 en daarna in de Nota Ruimte, Ministerie van Ruimtelijke Ordening en Milieu, 2004). De grens vanuit het kustfundament markeert het gebied dat vanuit het kustbeleid zou moeten meegroeien met de stijgende zeespiegel voor het behoud van de functies van de kust.

De definitie van de onderwateroever is in eerste instantie: ‘het zeegebied tussen de laagwaterlijn en ca. de NAP -20 m dieptelijn, met een maximale breedte van 20 km’ (Technische rapport 9 ‘inventarisatie functies onderwateroever’; een van de achtergrondrapporten bij de beleidsnota Kustverdediging na 1990). Achterliggend aan deze definitie zijn beschouwingen over de uitwisseling van sediment (van de ondiepe kustzone naar dieper water); de geometrie van het kustprofiel (met een kusthelling die overgaat in de relatief vlakke Noordzeebodem, waarbij de diepte van de overgang minder groot is bij de Hollandse kust) en de aanwezigheid van *shoreface connected ridges* en hun functie bij de uitwisseling van sediment van kustzone naar vooroever. Deze onderwerpen worden in hoofdstuk 4 toegelicht.

In het rapport ‘Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel; Advies voor Dynamische Handhaven in de 21e eeuw’ wordt het theoretische kader voor de begrenzing geschetst: “Het gebied waarbinnen op een bepaalde tijdschaal vrije zanduitwisseling kan plaatshebben, bepaalt feitelijk de systeemgrenzen.” (Mulder, 2000; rapport RIKZ/2000.36).

Hoewel Mulder (2000) een kennisleemte identificeert omtrent de breedte van de kustzone waarbinnen noemenswaardige zanduitwisseling plaatsheeft op een termijn van enkele decennia geeft hij de volgende indicatie:

“Een indicatie levert de omvang van het gebied waarbinnen op langere tijdschaal waarneembare morfologische veranderingen plaats hebben. Uit een analyse van de beschikbare langjarige data voor de Hollandse kust - data uit de zgn. doorlodingen tot waterdieptes van 12 tot 15 m - blijkt dat over periodes van meer dan 10 jaar, op veel plaatsen morfologische veranderingen zich uitstrekken tot buiten het waarnemingsgebied (Hinton, 1998). De grens van het actieve kuststelsel lijkt op een tijdschaal van decennia, dus in ieder geval dieper te liggen dan NAP -12 tot -15 m. Als benadering voor de benedengrens van het actieve kuststelsel wordt veelal de trendverandering aangenomen, gevormd door de morfologische overgang van de licht hellende onderwateroever naar de vlakke zeebodem. Zowel in het Waddengebied als in de Delta bevindt deze overgang zich dicht bij de NAP-20 m dieptelijn. Bij de centrale Hollandse kust ligt de overgang ondieper, zo rond de -16 m dieptelijn. Wel bevinden zich hier op de vlakke zeebodem tussen NAP-16 en -20 m diepte een aantal onderzeese zandbanken. Welke rol deze zandbanken spelen voor de kustverdediging is niet helemaal duidelijk; opvallend is wel dat ze juist liggen voor het stabiele deel van de Hollandse kust. Om deze redenen wordt ook hier de -20 m dieptelijn als ondergrens van het actieve kuststelsel beschouwd.”

3.4 Samenvattend

Veronderstellingen bij de lange termijn doelstelling en invulling van het kustbeleid:

- Alle functies van de kust zijn gekoppeld aan het kustprofiel;
- Een kustprofiel dat ten opzichte van de stijgende zeespiegel gelijk blijft, leidt tot behoud van deze functies;
- Het op peil houden van de zandvoorraad van het kustfundament garandeert het behoud van het kustprofiel en de daarbij horende functies.
- Het kustprofiel heeft een zeevaartse grens.

4 INHOUDELIJKE ARGUMENTEN BIJ DE ZEEWAARTSE GRENS

4.1 Het conceptuele model

In het voorgaande hoofdstuk is geconstateerd dat aan het ontgrondingenbeleid en kustbeleid een aantal veronderstellingen ten grondslag liggen. De basisveronderstelling is dat het op peil houden van de zandvoorraad van het kustfundament het behoud van het kustprofiel garandeert met de daarbij horende functies. De andere veronderstellingen zijn dat het kustprofiel een zeewaartse grens heeft, dat deze grens dusdanig ver weg is van de kustzone dat geen bedreiging van de functies plaatsvindt en dat over deze grens of zone (de overgang van de ondiepe kustzone naar de bodem van de Noordzee) geen substantiële netto uitwisseling van zand plaatsvindt.

De grens waarover geen uitwisseling van zand plaatsvindt, is tijdsafhankelijk. Op lange tijdschalen (jaren) ligt deze grens dieper dan op korte tijdschalen (maanden). Redenen hiervoor zijn de volgende:

- Op dieper water treedt transport vooral op tijdens zeer zware stormen met golven die dan de bodem kunnen bereiken. Tijdens rustig weer bereiken de golven deze grotere dieptes niet maar kleinere dieptes wel.
- Zeer zware stormen komen niet zo vaak voor. Daarom kan het lang duren voordat het sediment op dieper water weer in beweging komt.

Omdat de hoeveelheid slib in de Noordzeebodem bij de kust betrekkelijk laag is, wordt verondersteld dat het geen noemenswaardige rol speelt in de totale uitwisseling van sediment, de processen op de vooroever en daarmee in de functies van de kust.

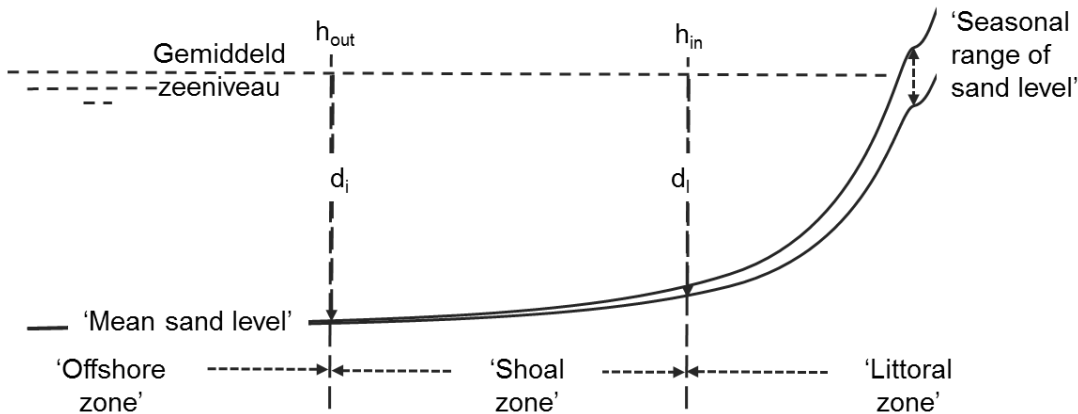
De morfodynamiek van de vooroever en Noordzeebodem wordt dus bepaald door de uitwisseling van zand en de verandering van de geometrie van vooroever en Noordzeebodem is hiervoor een belangrijke indicator.

In dit hoofdstuk wordt stilgestaan bij een aantal begrippen en onderzoeken waaraan de inhoudelijke argumenten zijn ontleend voor het hanteren van de zeewaartse grens op de NAP -20 m.

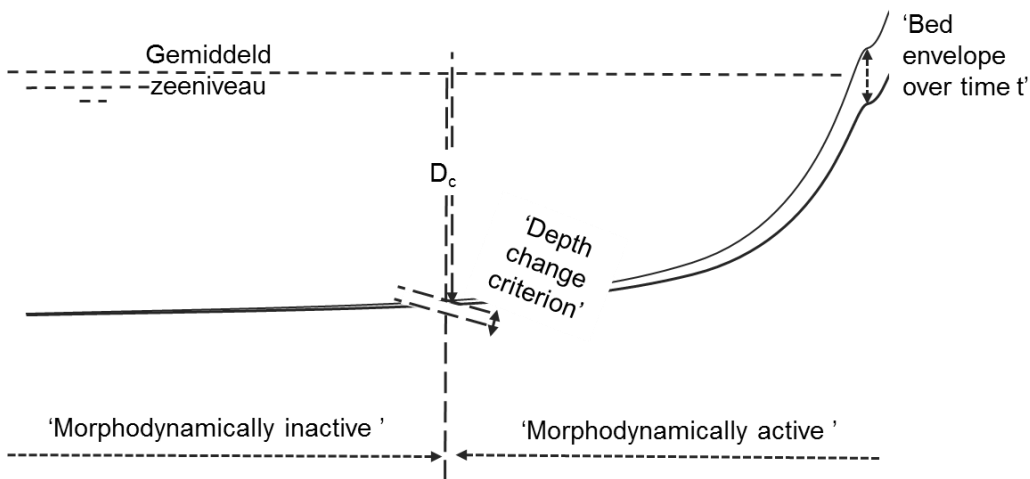
4.2 Depth of Closure

'Depth of closure' of 'Closure depth' beschrijft de zeewaartse dieptegrens van het actieve profiel. In de oorspronkelijke formulering (Hallermeier, 1981) zijn twee dieptes beschreven, die zijn gekoppeld aan de 'littoral zone' en de 'shoal zone' (Figuur 4). In relatie tot het kustfundament is alleen de zeewaartse grens 'di' van belang. De ligging van deze 'outer closure depth' is volgens de formule van Hallermeier (1991) gerelateerd aan de hoogste golf die meer dan 12 uur per jaar voorkomt. Berekeningen van de 'outer closure depth' voor de Nederlandse situatie geven een diepte van NAP - 7,1 m (Rijkswaterstaat, 1986).

Als onderdeel van het Kust2000 programma van Rijkswaterstaat is door Hinton (1998) gekeken naar de variaties in de bodemligging in de zogenaamde JARKUS-profielen (JARKUS is een acronym van JAaRlijkse KUSTmeting). Op deze wijze kan ook een 'depth of closure' worden bepaald, die dan niet wordt gedefinieerd door de golfhoogte, maar door een afgesproken minimale variatie in de bodemligging ('depth change criterion'). Figuur 5 geeft een schematische weergave van deze definitie van de 'closure depth'.



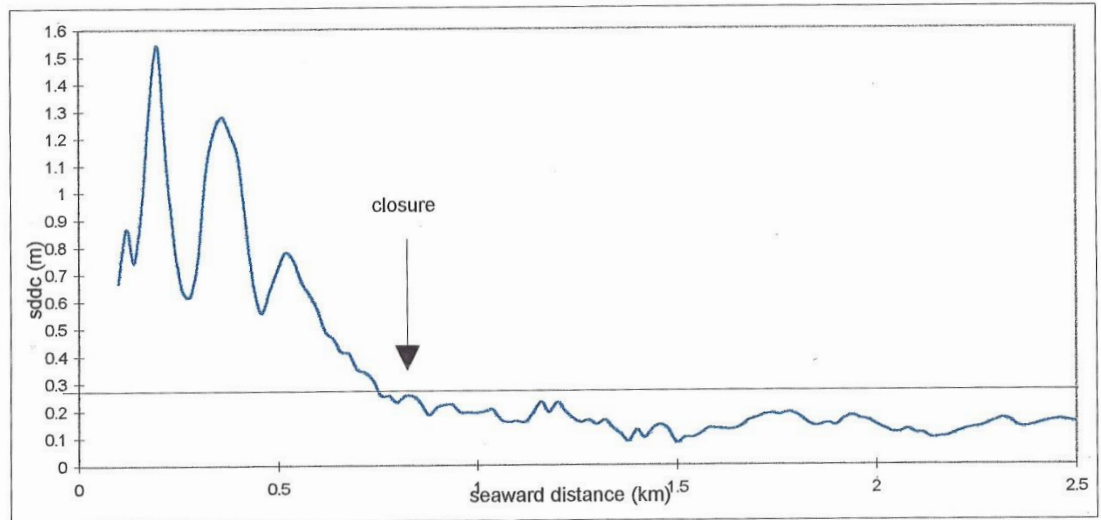
Figuur 4 Schematische weergave van een dwarsdoorsnede van de kust, met de zones en 'depths of closure' d_i en d_l (aangepast naar Hallermeier, 1981).



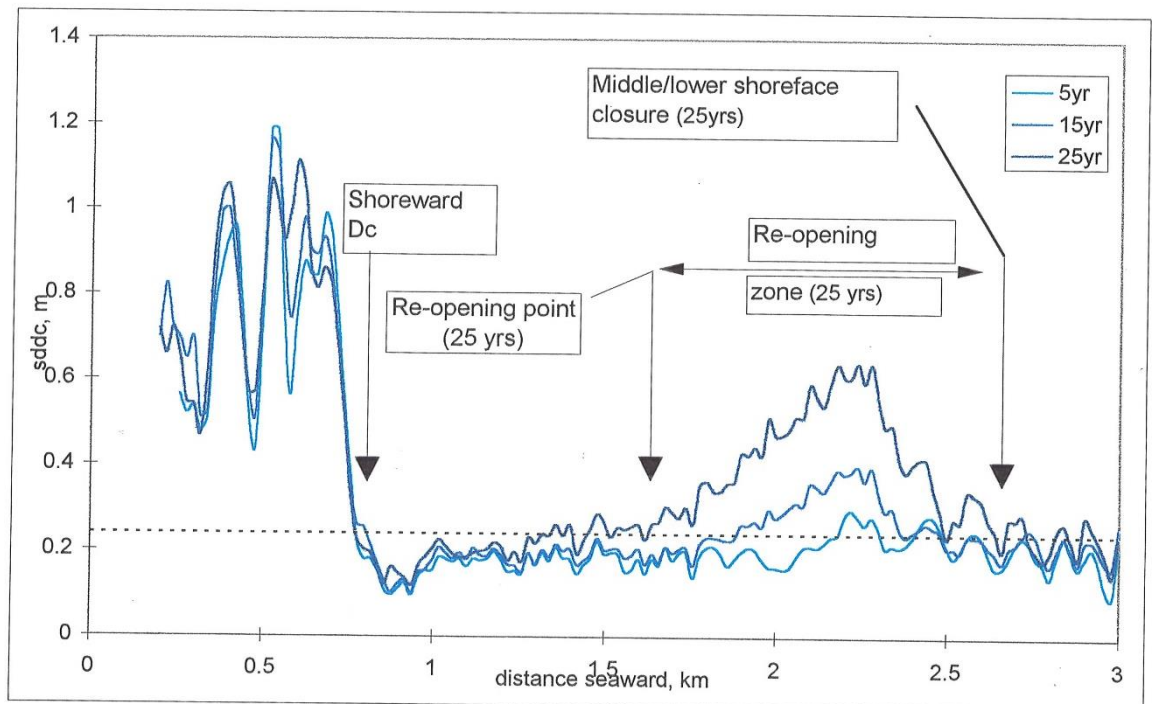
Figuur 5 Schematische weergave van een dwarsdoorsnede van de kust, met de 'depth of closure' D_c (naar Hinton, 1998).

De depth of closure volgens het criterium van Hinton (1998) ligt bij Zuid-Holland rond de NAP -5 m en bij Noord-Holland rond NAP -8 m. De analyse van de 'depth of closure' van de JARKUS-profielen door Hinton (1998) leverde verder het interessante gegeven op dat bij een groot aantal profielen er sprake was van een afname van de activiteit, maar dat op dieper water de activiteit weer een toename. Deze 're-opening' is waarschijnlijk gekoppeld aan de vorming en migratie van banken.

Hinton (1998) heeft de 'depth of closure' ook geëxtrapoleerd en constateert op basis daarvan dat alle geanalyseerde profielen binnen een termijn van maximaal 94 jaar dynamisch zijn. De analyses van Hinton (1998) geven ook inzicht in de beperkingen van de gegevens. De zeevaartse grens van JARKUS-profielen varieert tussen de NAP -12 en NAP -17 m. Dit beperkt de bruikbaarheid van deze gegevens voor de analyse van de variatie in de bodemligging in de diepere delen van het onderwaterprofiel.



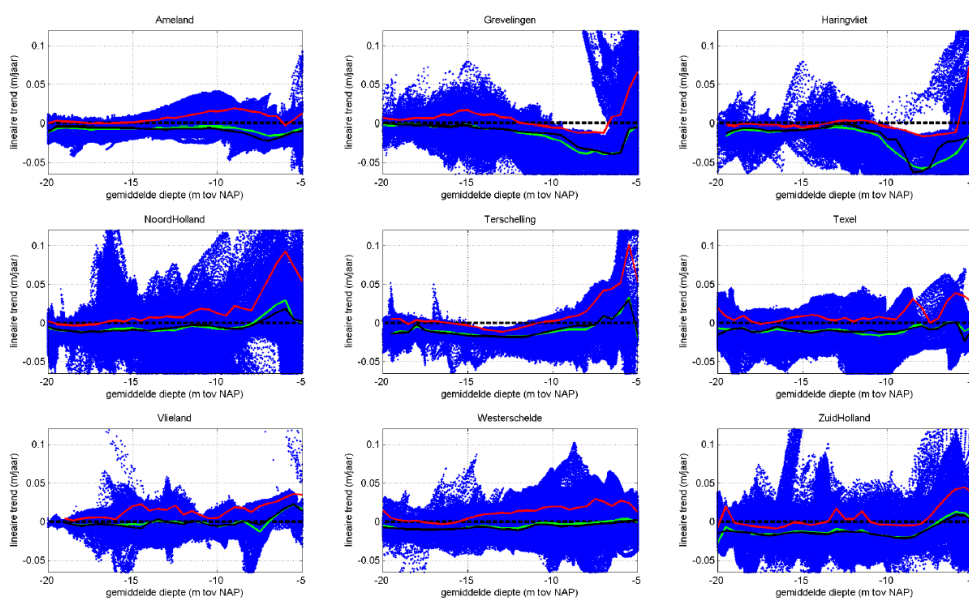
Figuur 6 Voorbeeld van een grafiek met de standaarddeviatie van de diepteveranderingen in een periode van 20 jaar. Criterium voor Depth of closure is 0,25 m verandering (Figuur 3.4 van Hinton, 1998).



Figuur 7 Voorbeeld van een grafiek met de standaarddeviatie van de diepteveranderingen in een periode van 20 jaar. In deze grafiek is sprake van re-opening op dieper water. Criterium voor Depth of closure is 0,25 m verandering (Figuur 4.9 van Hinton, 1998).

Samenvattend kan worden vastgesteld dat de 'depth of closure' (afhankelijk van de definitie) waarschijnlijk ondieper ligt dan de zeevaartse grens van het kustfundament. Zowel de definitie gebaseerd op golven volgens Hallermeier (1981) als die gebaseerd op bodemprofielen volgens Hinton (1998) geven dieptes die beduidend ondieper zijn dan de NAP -20 m.

De analyse van Van Dijk et al. (2014) van de bodemhoogteveranderingen op de Noordzee kunnen gezien worden als een vervolgstap (Figuur 8). Deze analyses beslaan de gehele vooroever en de Noordzeebodem en hebben daarmee, in aanvulling op het werk van Hinton (1998), ook betrekking op de dynamiek van de diepe vooroever. De analyses vormen een voorstudie waaruit nog geen definitieve conclusies getrokken kunnen worden over de dynamiek van de diepere onderwateroever. De eerste resultaten laten echter zien dat langs de Nederlandse kust de netto bodemhoogteveranderingen constant worden bij bodemhoogtes dieper dan NAP -10 m op een tijdschaal van 20-40 jaar, waarbij het sedimentvolume overwegend lijkt af te nemen. De betrouwbaarheid van de gevonden trends is echter nog niet goed bekend. Wel concluderen Van Dijk et al. (2014) dat op basis van de dynamiek van de vooroever de -20 m NAP dieptelijn als basis van het kustfundament niet onderbouwd kan worden.

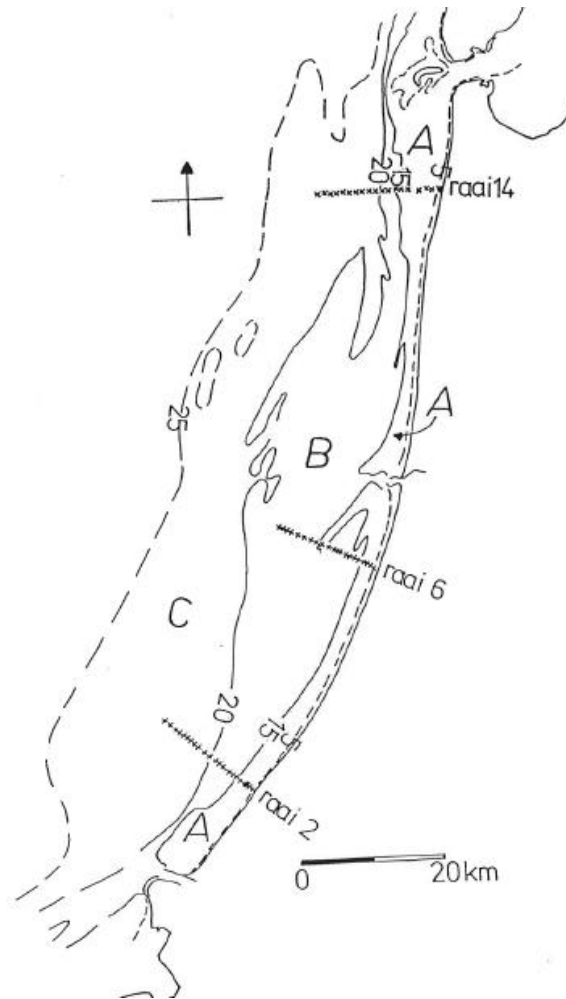


Figuur 8 De lineaire trend in meters per jaar op basis van vaklodingen. Groene lijn: gemiddelde waarde; zwarte doorgetrokken lijn: mediane waarde; rode lijn: het 90ste percentiel (uit van Dijk et al. 2014).

4.3 Schelpen

Door De Bruyne (1990) en de Bruyne & Van der Valk (1991) is in het kader van het Kustgenese programma onderzoek uitgevoerd naar de verdeling van schelpensoorten op het strand langs de Hollandse kust in verschillende bemonsterde raaien dwars op de kust, van het strand naar de onderwateroever. Het idee achter dit onderzoek was dat de schelpensoorten gebruikt kunnen worden als een 'biologische tracer' voor het achterhalen van transportprocessen. De Bruyne (1990) beschrijft drie zones met de volgende duidelijke verschillen in schelpensoorten en -dichtheden (Figuur 9):

- Zone A: NAP -4,6 tot NAP -16 m met kustnabije soorten
- Zone B: NAP -16 tot NAP -20 m tussenzone
- Zone C: NAP -20 tot NAP -26 m met offshore soorten.



Figuur 9 Kaart van de Hollandse kust met de drie dieptezones met verschillende schelpdiervoorkomens en drie meetraaien (uit de Bruyne, 1990).

Ten aanzien van de transporten concludeert De Bruyne (1990) dat dwarstransport van schelpenmateriaal de boventoon voert ten opzichte van langstransport.

Op basis van een uitgebreidere analyse concluderen De Bruyne & Van der Valk (1991) het volgende over het transport:

Het zeewaartse gerichte transport dwarstransport van vers schelpmateriaal gaat niet dieper dan de ondergrens van zone A (NAP -16,17m). Door het gemiddelde stormklimaat op de West-Nederlandse kust wordt materiaal niet dieper dan NAP -15 tot NAP -17m uit de kust gebracht. In de landwaartse richting geldt dat niet. Uiteindelijk komt uit alle dieptezones materiaal op het strand terecht. Wel komt meer en vaker materiaal uit de zones A en B op het strand dan uit de zones C.

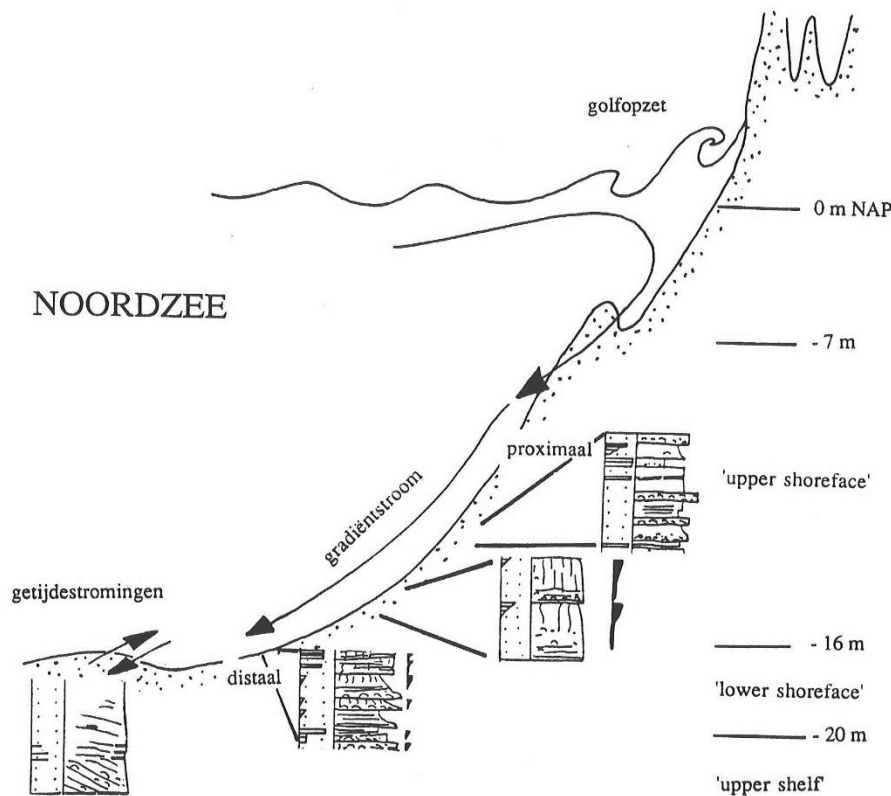
Het rapport van De Bruyne en Van der Valk geeft ook een model voor de transportprocessen op de onderwateroever (Figuur 10). Vanwege het gebrek aan waarnemingen van de onderwateroever is dit model vooral gebaseerd op de analyse van sedimenten: enkele *boxcores* van de huidige kust en enkele uit de Holocene uitbouwende West-Nederlandse kust. De beschrijving van de transportprocessen in de brekerbanken is voor het voorliggende rapport minder van belang en zijn hier niet opgenomen.

De afzettingen dieper dan de brekerbanken bestaan uit stormafzettingen, met aan de onderzijde vaak een laagje met schelpenmateriaal. De laagjes daarboven bestaan veelal uit zand en soms uit een kleilaag. De bovenzijde van de laag vertoont soms de sporen van doorgraving door sedimentbewonende organismen (bioturbatie). De

indicatoren voor de condities op de vooroever, met inbegrip van de intensiteit en het aantal stormen zijn de volgende:

- Het aantal stormlaagjes en hun compleetheid
- De verdeling van de korrelgroottes
- De aanwezigheid van kleilagen
- De sporen van bioturbatie (doorgraving)

In dit rapport wordt ook weergegeven dat aan de onderzijde van de vooroever sprake is van een overgang naar afzetting die worden gerelateerd aan *shoreface connected ridges*, met een grotere korrelgrootte en andere sedimentaire structuren. In het geologische model staat bij de vormende processen 'getijdestromingen'.



Figuur 10 Geologisch model van de stormafzettingen langs de Hollandse kust (uit Bruyne & Van der Valk, 1991).

Cleveringa (2000) heeft het geologische model verder uitgewerkt. Hierbij wordt specifieke aandacht besteed aan de korrelgrootteverdeling op de vooroever. Verderop meer in dit rapport gaan we daar nader op in.

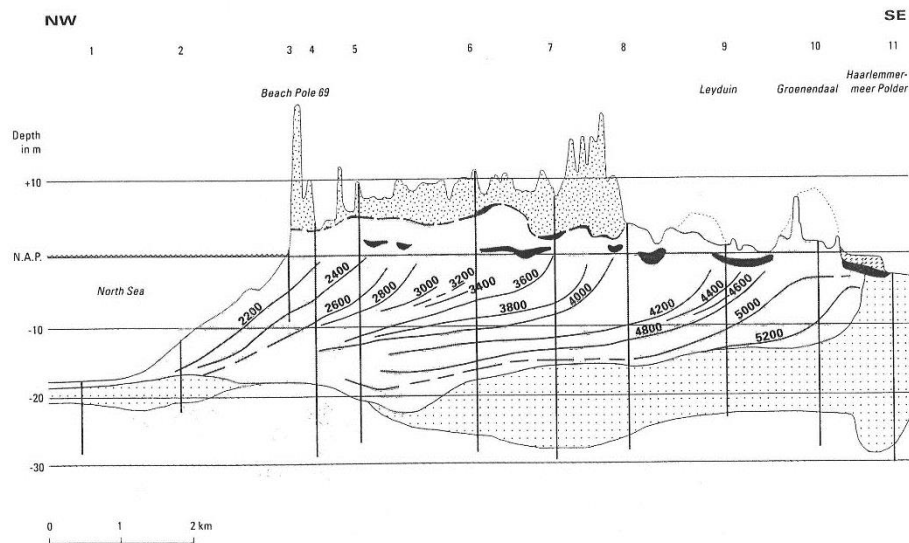
De analyse van de schelpenvoorkomens door De Bruyne (1990) en De Bruyne en Van der Valk (1991), in combinatie met geologische model van de stormafzettingen geeft veel inzicht in de transportprocessen. De transportprocessen kunnen per schelpsoort verschillen. Het herkende transport of het ontbreken van langtransport voor schelpen gaat ook niet op voor het transport van zand of slib.

In de huidige situatie heeft voor sommige delen van de kust veel aanvoer van zand plaatsgevonden in de vorm van zandsuppleties. Waarschijnlijk worden de schelpvoorkomens op het strand op sommige locaties ten minste deels bepaald door de aanvoer van schelpen met het suppletiezand. Dit is afhankelijk van de rijkdom van schelpen in de zandwinvakken op de Noordzee en maakt het herhalen van dit type onderzoek lastig.

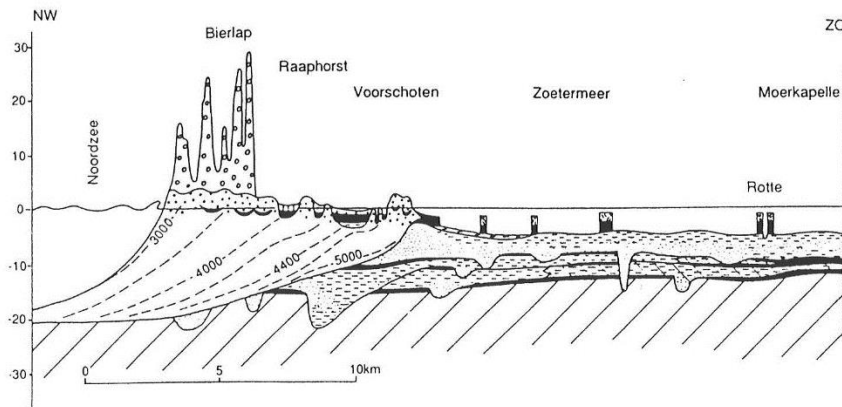
4.4 Geologie van de uitbouwende kust en ‘versteiling’

De opbouw van de Hollandse kust is in detail bestudeerd door Van der Valk (1992), Beets et al. (1995) en Van der Valk (1995, 1996). In het kustgebied tussen ruwweg Monster (in het zuiden) en Schoorl (in het noorden) liggen afzettingen die zijn gevormd tussen 5500 BP en 1000 BP. Deze uitgebouwde kustlijn is bestudeerd als een analogie voor de huidige kust, omdat veel van de fysische en biologische processen vergelijkbaar worden verondersteld. Het belangrijke verschil met de huidige situatie is de sedimentbalans, die tegenwoordig neutraal tot negatief is, terwijl deze ten tijde van de uitbouw van de kust positief was.

Naast de beschrijving en de analyses van de afzetting van strand en vooroever (zie de voorgaande paragraaf en Figuur 10) zijn ook reconstructies gemaakt van de kustprofielen. Hiertoe is de ouderdom van de kustafzettingen bepaald met C-14 dateringen van de schelpen uit een aantal boringen. Op basis van deze ouderdom zijn tijdlijnen getrokken in twee doorsneden, die dwars op de kustlijn zijn georiënteerd. In de dwarsdoorsneden zijn de kustprofielen van een bepaalde ouderdom weergegeven als lijnen met jaartallen. In de Haarlem-raai (Figuur 11) is zichtbaar dat de oudste kustprofielen relatief flauw lopen, met een teen die doorloopt in de richting van de NAP -20 m. De minder oude profielen zijn duidelijk steiler. Deze lopen in de richting van de NAP -20 m, maar niet helemaal door tot die diepte. Het gestippelde materiaal rond de NAP -20 m bestaat uit oudere afzettingen. In de Wassenaar-raai (Figuur 12) is ook zichtbaar dat de profielen doorlopen tot de NAP -20 m en dat de oude kustprofielen flauwer lopen dan de meer recente profielen.



Figuur 11 Schematische dwarsdoorsnede door de prograderende kustafzettingen bij Haarlem (uit Van der Valk, 1992, 1996).

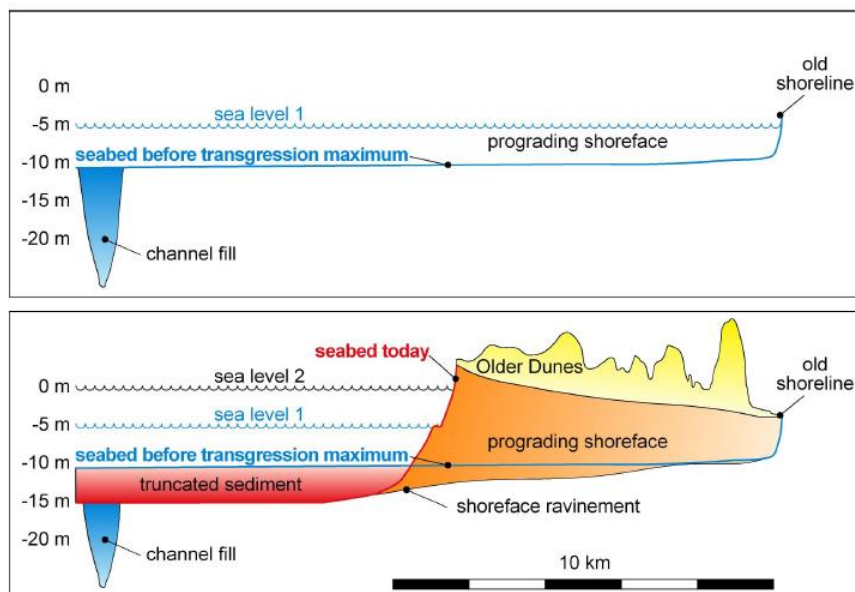


Figuur 12 Schematische dwarsdoorsnede door de prograderende kustafzettingen bij Wassenaar (uit Roep, 1991).

Uit de geologische reconstructies van de uitbouwende kust is het volgende afgeleid:

- De kustprofielen lopen door tot ruwweg de NAP -20 m;
- Er was sprake van versteiling van de profielen.

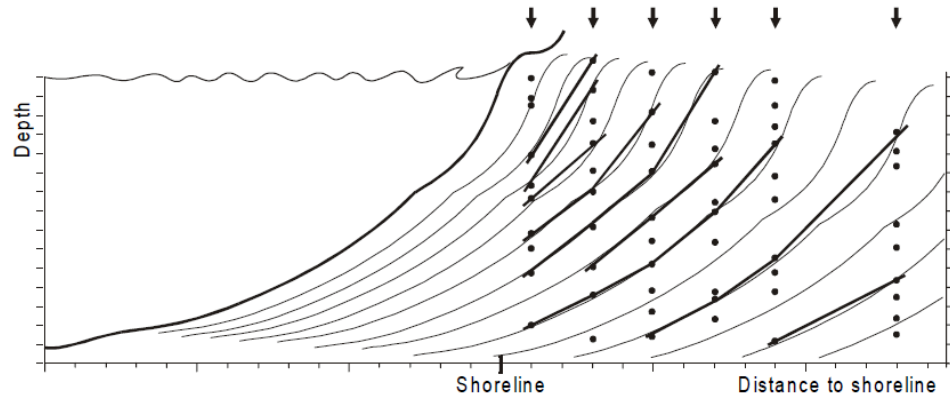
Het begrip ‘versteiling’ van het kustprofiel heeft betrekking op de ontwikkeling van het gehele kustprofiel, van de kustlijn tot de Noordzeebodem. Figuur 13 laat zien hoe deze versteiling op grote schaal heeft plaatsgevonden bij de Hollandse kust.



Figuur 13 Verandering van vorm van het kustprofiel van 5200 BP (boven) tot heden (onder) uit Van Heeteren et al. (2011).

Voor het bovenste deel van het kustprofiel is mogelijk geen sprake geweest van versteiling, zoals die wel is aangegeven in Figuur 11 en Figuur 12. In later onderzoek is het beeld van de profielontwikkeling namelijk bijgesteld, op basis van een veel groter aantal C-14 dateringen, mogelijk door de inzet van een nieuwe meettechniek (van der Spek et al, 1999; Cleveringa, 2000). De opbouw van de geologische kustprofielen bleek complexer dan geschetst in Figuur 11 en Figuur 12, met een laag oudere afzettingen van de terugschrijdende kust. Dat betekent dat de kustprofielen minder diep doorlopen dan eerder werd verondersteld, namelijk tot ongeveer NAP -15 m. Rekening houdend met de veel lagere zeespiegel ten tijde van afzetting betekent

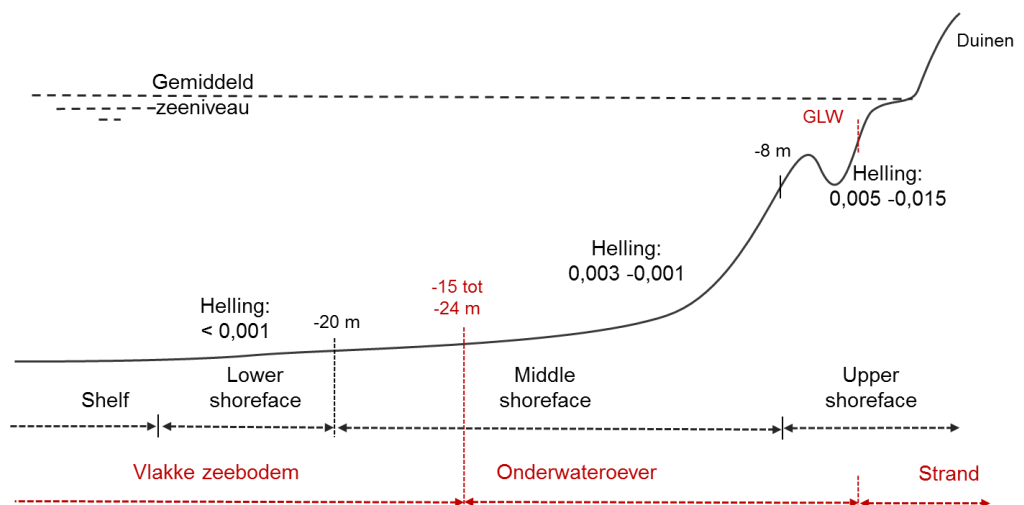
dit een veel minder diepe teen van de kustprofielen dan NAP -20 m. Verder werd duidelijk dat bij de reconstructie van kustprofielen op basis van dateringen een steeds langzamer uitbouwende kust leidde tot steeds steilere gereconstrueerde profielen (Figuur 14). Waarschijnlijk is sprake van een schijnbare versteiling in de geologische dwarsdoorsnedes van de kust.



Figuur 14 Hypothetische uitbouwende kustsequentie (de dunne lijnen), waarvan de snelheid van uitbouw afneemt. De pijltjes geven de locaties van boringen aan en de punten dateringen. De dateringen die op dezelfde dunne lijn vallen (met dezelfde ouderdom) zijn verbonden met de dikke lijnen (tijdlijnen – isochronen). Figuur uit Cleveringa (2000).

4.5 De vorm van het kustprofiel

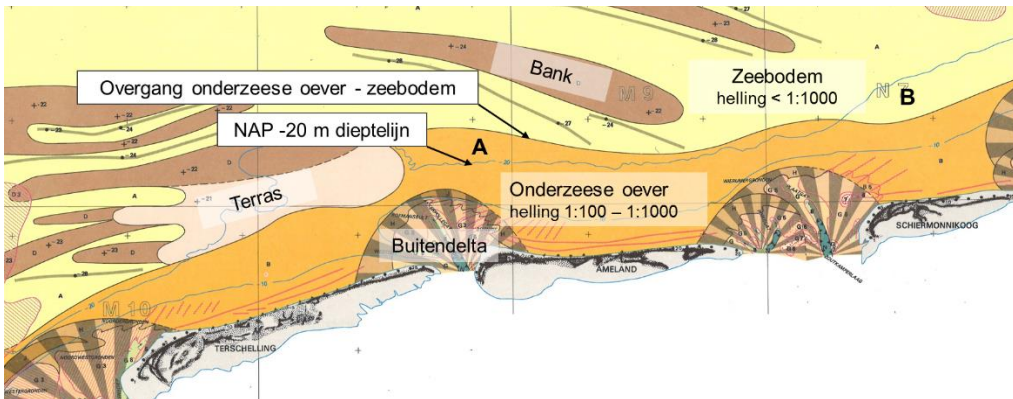
De profielen van de waterdiepte dwars op de kust bestaan over het algemeen uit een steil deel nabij de kust en een geleidelijke aflopend en veel flauwer profiel op dieper water. Voor de verschillende onderdelen worden verschillen termen gehanteerd, zoals getoond in Figuur 15. Verschillende auteurs hanteren verschillende definities. Oplettendheid is daarom geboden. Door Stolk (1989) is in navolging van eerdere onderzoekers het begrip onderwateroever gebruikt voor het gebied vanaf de laagwaterlijn tot aan de zeebodem waar de helling kleiner wordt dan 1:1000 (=0,001). Voor Van Rijn (1995) omvat deze onderwateroever een deel van de *upper shoreface* en een deel van de *middle shoreface*. De grens bij een helling flauwer dan 1:1000 is dezelfde als die door Stolk (1989).



Figuur 15 Schematisch kustprofiel met de terminologie zoals gehanteerd door Stolk (1989) en Rijn (1995) voor de verschillende onderdelen van duin tot en met Noordzee bodem.

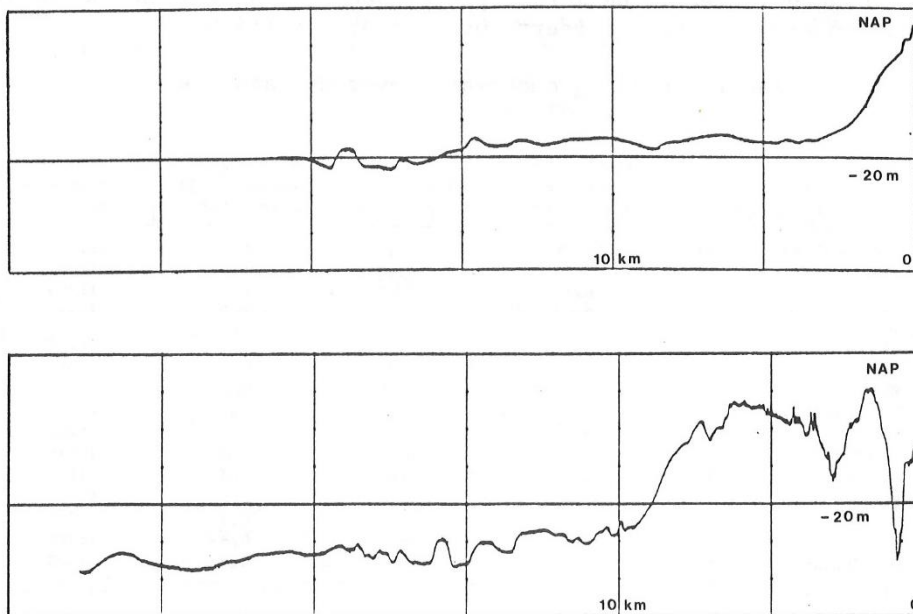
Volgens Stolk (1989) verschilt de diepte van de overgang van het steilere naar het minder steile deel van het kustprofiel langs de Nederlandse kust van NAP -24 m bij Hoek van Holland tot NAP -15 m rond IJmuiden. Deze variatie is heel duidelijk

zichtbaar in de geomorfologische kaart van de Noordzeebodem, dis is opgesteld door Van Alphen, J.S.L.J. en M.A. Damoiseaux (1987). Figuur 20 toont een uitsnede van deze kaart met de kust en Noordzee ten noorden van Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog. In deze kaart is de overgang zichtbaar van de steiler hellende onderzeese oever (is de gelijk aan de onderwateroever uit de voorgaande figuur) naar de flauw hellende zeebodem. Ook de NAP -20 m staat op deze kaart. Bij de A op de kaart ligt de overgang van onderzeese oever naar zeebodem zeewaarts van de NAP -20 m lijn. Bij B is het omgekeerd.



Figuur 16 Uitsnede uit de geomorfologische kaart van kust en Noordzeebodem van Van Alphen, J.S.L.J. en M.A. Damoiseaux (1987), met een aantal van de gehanteerde geomorfologische elementen.

Ook de vorm van het kustprofiel verschilt sterk, met concave ('holle') profielen langs de Hollandse kust en convexe ('bolle') profielen daar waar buitendelta's bij de zeegaten aanwezig zijn. Figuur 17 toont voorbeelden van een concaaf profiel en een convex profiel.

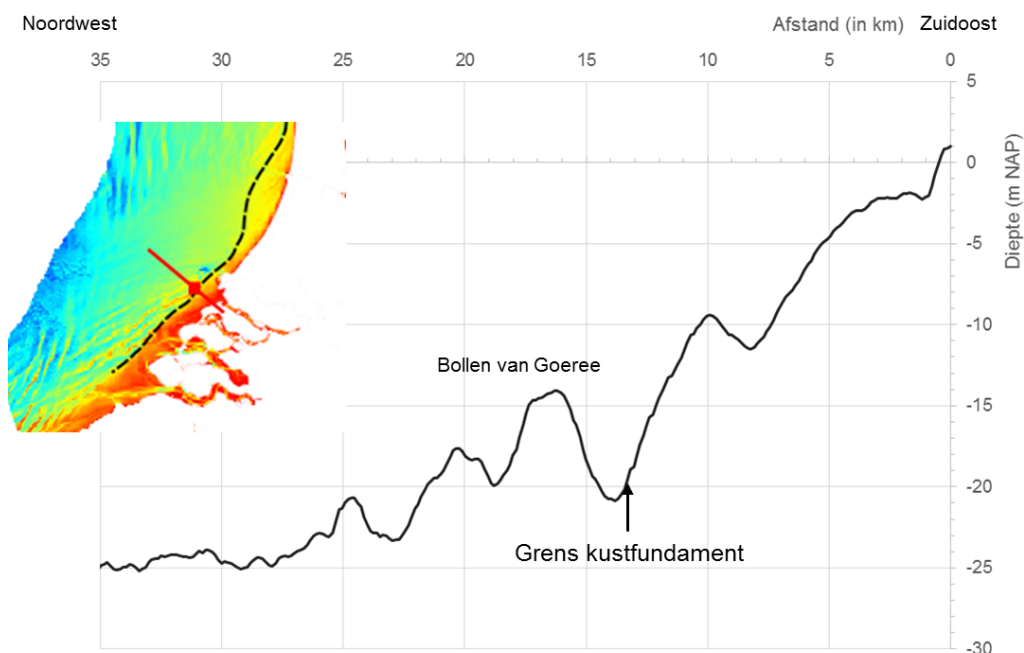


Figuur 17 Twee profielen van de onderwateroever bij respectievelijk Noordwijkerhout (boven) en Den Helder (onder), uit Stolk (1989).

Kustprofielen kunnen langs de Nederlandse kust sterk verschillen. Ten zuiden van Maasvlakte zijn de Zeelandbanken aanwezig. Deze liggen voor een belangrijk deel op de op de Noordzeebodem, maar beginnen reeds op de vooroever. In de dwarsdoorsnede in Figuur 18 is een van de Zeelandbanken (Bollen van Goeree) zichtbaar, met ten noordwesten daarvan nog enkele banken. De mondinggebieden

van de Westerschelde en Oosterschelde en voormalige mondinggebieden van de Haringvliet en Grevelingen hebben ook een vorm die afwijkt van het reguliere kustprofiel, omdat deze (voormalige) buitendelta een convexe vorm hebben. Ook deze vorm is zichtbaar in Figuur 18.

Andere afwijkende vormen op de onderwateroever worden veroorzaakt door de aanwezigheid van *shoreface connected ridges* en plateaus (of terrassen). Het bekendste complex van *shoreface connected ridges* ligt voor de Hollandse kust ten noorden van IJmuiden, maar ook ten noorden van de Wadden liggen dit type banken. Een blik op de geomorfologische kaart van de Noordzeebodem (Van Alphen en M.A. Damoiseaux, 1987; Figuur 16) maakt duidelijk hoeveel variatie er is in de onderwateroever. De oorsprong van deze variaties verschilt. In sommige gevallen is sprake van geologische relictten op de vooroever (overgebleven sediment van een eerdere periode, zoals geldt voor de Pettemer polder). In andere gevallen hangt het samen met de vorming van banken (getijdebanken, *shoreface connected ridges*), die in sommige gevallen weer samenhangt met de sedimentatie- en erosieprocessen op de vooroever.



Figuur 18 Bodemligging van de kust in een dwarsdoorsnede ter hoogte van Schouwen.

De geometrie van de vooroever is wel gebruikt als indicator van de vormende processen. Voor het ondiepe deel (*upper shoreface* in Figuur 15) zijn er al vele studies gedaan naar de banken, bankgedrag en de fysische processen. Voor het diepere deel van de onderwateroever is de variatie in geometrie minstens zo groot. Hierboven is beknopt aangegeven dat deze variatie op de diepere vooroever samenhangt met recente processen en met het geologische verleden. Mogelijk kunnen analyses hiervan inzicht opleveren in de sedimentuitwisseling van de Noordzeebodem naar de vooroever.

4.6 Samenvattend

Inhoudelijke argumenten voor het hanteren van de zeevaartse grens van het kustfundament op de NAP -20 m dieptelijn zijn de volgende:

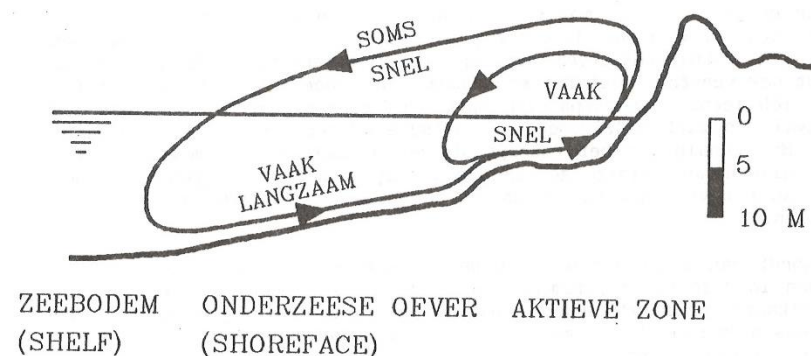
- Het ontbreken van veranderingen in de bodemligging, of het optreden van kleine veranderingen beneden de zogeheten *Depth of Closure*. Afhankelijk van de methodiek, de tijdschaal en de locatie langs de kust ligt deze bij een waterdiepte van NAP -5 tot -17 m;

- De verdeling van schelpensoorten over raaien dwars op de kust wijst op het ontbreken van transporten van schelpen vanuit de kustzone verder zeewaarts dan NAP -16 á -17 m.
- Sedimentaire structuren en de verdeling van korrelgroottes op de recente en Holocene vooroevers wijzen op stormen als dominante factor bij de afzetting en herverdeling van sediment en op het ontbreken van uitwisseling van zand tussen de Noordzeebodem en de ondiepe kustzone
- Reconstructies van de uitbouw van de Hollandse kust wezen oorspronkelijk op kustprofielen die doorliepen tot de NAP -20 m, maar met nieuwe gegevens ligt deze overgang rond NAP -15 m.
- De onderwateroever met een helling van 1:100 – 1:300 gaat geleidelijk over naar de Noordzeebodem met een helling van minder dan 1:1000, waarbij de diepte van deze overgang varieert tussen de NAP -15 en -24 m.
- De aanwezigheid van getijdebanken, *shoreface-connected ridges* en buitendelta's levert afwijkende vormen van de kustprofielen, waarbij de overgang van onderwateroever naar Noordzeebodem minder duidelijk is.

5 FYSISCHE PROCESSEN

5.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken zijn de verschillende fysische processen waarvan wordt verondersteld dat deze een rol spelen bij het sedimenttransport op de vooroever en in de uitwisseling tussen Noordzeebodem en vooroever al even aangestipt. In de Kustgenese-rapporten wordt deze uitwisseling vaak schematisch weergegeven. Figuur 19 toont een voorbeeld. Het gaat op de vooroever om processen onder invloed van het getij die vaak optreden maar kleine veranderingen opleveren ("Vaak Langzaam" in Figuur 19) en processen tijdens stormen die soms optreden maar tot grote veranderingen kunnen leiden ("Soms Snel" in Figuur 19). Van dit figuur bestaan verschillende varianten waarbij de pijl voor het diepere deel soms zeewaarts en soms landwaarts is gericht. Heel veel van de complexiteit van het zandtransport op het diepere deel van de onderwateroever en de uitwisseling met de Noordzee zit in deze twee pijlen besloten.



Figuur 19 Schematische weergave van de processen op het kustprofiel (uit Rijkswaterstaat, 1989).

5.2 Golven en stroming

De complexiteit van de verschillende waterbewegingsprocessen die een rol spelen op de diepere onderwateroever wordt geïllustreerd in Figuur 20. Ook de kustlangse component van de waterbeweging en de resulterende sedimenttransporten is hierin weergegeven. In Stolk (1989) wordt naar Zitman (1987) een handzaam overzicht gegeven van de kustprocessen in de verschillende zones van de kust. Als we aannemen dat Buitenzone min of meer overeenkomt met de *lower shoreface* in Figuur 20 en middenzone met de *middle shoreface*, dan komen we op de volgende indeling:

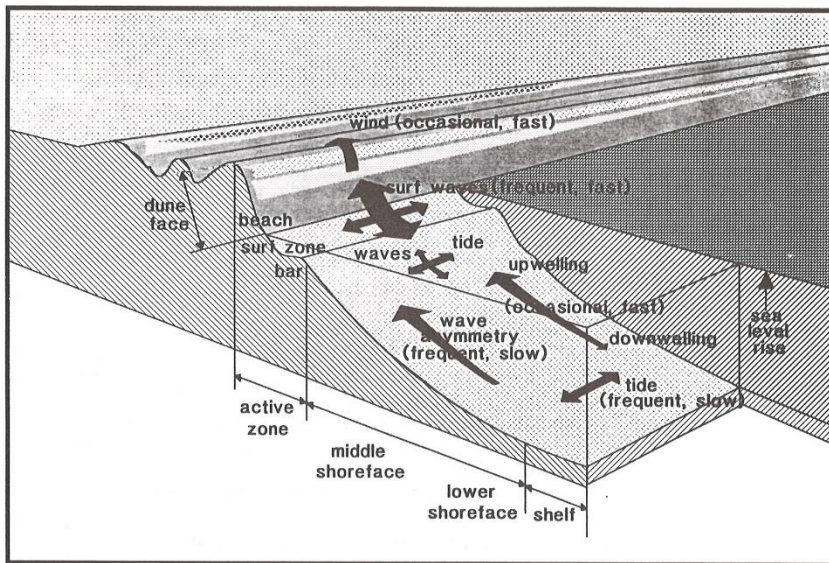
Buitenzone – getijgedomineerd

- Getijgeïnduceerde reststroom (faseverschil tussen noord en zuid);
- Getijgeïnduceerde asymmetrie stroming (vervorming van de golf door de bodemtopografie);
- Windgeïnduceerde stroming;
- Verschil tussen aanvoer van water vanaf land en neerslag enerzijds en verdamping anderzijds (dichtheidsgedrevenstroming);
- Geostrofische effecten (Coriolis en de Eckman-wervel).

Middenzone – combinatie van getij en golven

- Opwoeling door golven en transport door stroming;
- Golf- stroominteractie;
- Golfgeïnduceerde reststromen;
- Golfgeïnduceerde asymmetrie stromen van sediment;
- Windgedreven stroming;
- Verticale stromingen;

- Getijgeïnduceerde grootschalige circulaties.

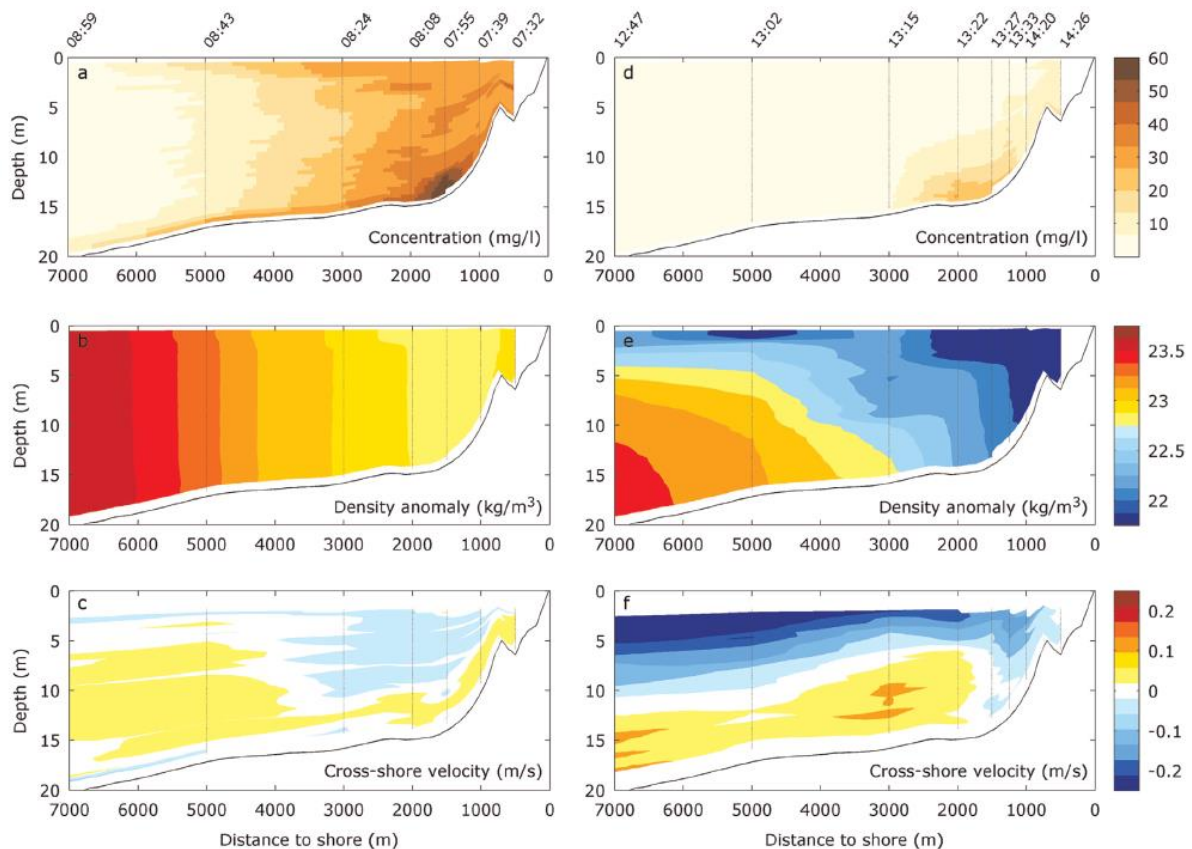


Figuur 20 Schematische weergave van de processen op het kustprofiel (uit Stive e.a., 1990).

Hoewel we hier geen gedetailleerde beschrijving geven van de verschillende hydrodynamische processen, zijn de volgende aspecten van belang voor de verdere beschouwing:

- Het getij is er altijd en is geen strikt kustparallele beweging. In schematische figuren (zoals in Figuur 20) wordt het getij op de Noordzee veelal als een eb en vloedstroming weergegeven die parallel aan de kust staan. De geometrie van de Noordzee, de kromming van de kust en de variaties in de geometrie van diepe vooroever hebben echter als gevolg dat de getijstroming niet geheel parallel aan de kust staat. En omdat het getij tweemaal daags voor eb- en vloedstroming zorgt, kunnen de kleine kustdwarse componenten toch optellen tot belangrijke transporten.
- De waterbeweging op de Noordzee is 3-dimensionaal en kan sterk variëren onder invloed van de meteorologische condities en saliniteit. Een voorbeeld van de verschillen in stroming, dichtheid en de concentratie fijn sediment in de waterkolom wordt getoond in Figuur 21.
- Golven veroorzaken een oscillerende beweging aan de bodem en kunnen zelf sediment transporteren of samen met de stroming waarbij de golven vooral voor opwoeling zorgen. De diepte tot waar golven de bodem bereiken is afhankelijk van de golfhoogte en golflengte: hogere en langere golven reiken dieper.

Metingen van de stroming op de Noordzee zijn uitgevoerd in verschillende projecten, met verschillende instrumenten en op verschillende locaties. Er zijn meer metingen beschikbaar voor de Hollandse kust dan op de Noordzee boven de Wadden en bij de Zeeuwse en Zuid-Hollandse delta. Er zijn ook meer metingen beschikbaar onder rustige omstandigheden dan tijdens stormen. Dat heeft niet alleen te maken met de condities tijdens het uitvoeren van de metingen. Soms kan dit een reden zijn. Metingen vanaf een schip zijn tijdens een storm inderdaad lastig of onmogelijk en de kans op schade is tijdens een storm groter. Een groot deel van de metingen is echter uitgevoerd vanaf meetpalen, met meetframes of met boeien die ook goed tijdens stormen kunnen meten. De grotere beschikbaarheid van metingen voor rustig weer heeft vooral ook te maken met de frequentie van optreden. Stormen komen eenvoudigweg minder vaak voor dan rustig weer.



Figuur 21 Dwarsdoorsneden met meetresultaten (boven: concentratie fijn sediment in de waterkolom; midden: dichtheidsverschil; onder: stroomsnelheden dwars op de kust) onder verschillende condities (links: energetisch; rechts kalm) van de dezelfde locatie bij kust van Noord-Holland (van der Hout et al, 2015)

De waterbeweging op de vooroever en de Noordzee leent zich goed voor het uitvoeren van numerieke modelsimulaties. Vanwege de beschikbaarheid van metingen is het kalibreren en valideren van de modelresultaten goed mogelijk. Het belang van het gebruik van goede stromingsinformatie uit een model of uit metingen is benadrukt in het Sandpit project (Van Rijn et al., 2005). Uit de resultaten bleek dat vereenvoudigen van de stroming kan leiden tot ongewenste afwijkingen in de berekende sedimenttransporten.

5.3 Sedimenttransport

Sedimenttransportmetingen

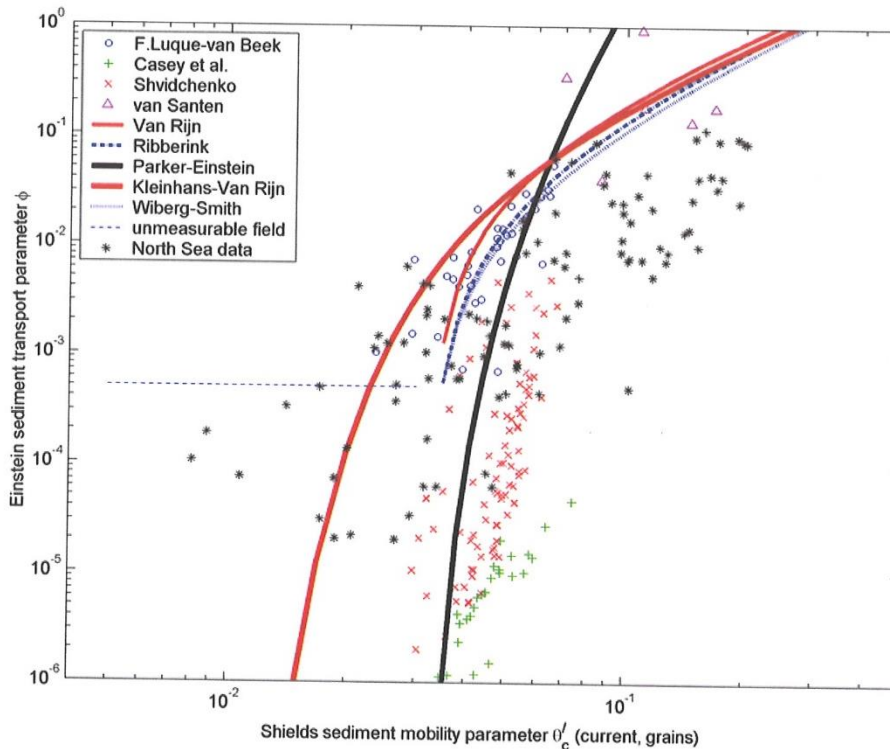
Sedimenttransportmetingen op de vooroever zijn beschikbaar, maar wel schaarser dan metingen van golven en stroming. Het uitvoeren van sedimenttransportmetingen is ook lastiger uitvoerbaar. In projecten zoals Sedmoc en Sandpit zijn databases opgezet en aangevuld met meetgegevens (Van Rijn et al., 2001, 2005). De databases bevatten niet alleen gegevens van metingen in het veld maar ook in het laboratorium in golf- en stroomgoten.

Metingen van het sedimenttransport zijn belangrijk om de volgende redenen:

1. Meetresultaten geven direct vergelijkingsmateriaal voor berekende sedimenttransporten en verificatie van sedimenttransportformules;
2. Metingen geven inzicht in de omvang van de zand- en slibtransporten en verschillende aandrijvende processen.

Het eerste type vergelijking is nuttig, maar alleen voor de specifieke situatie. De tweede vergelijking is meer generiek. Een voorbeeld van een grafische vergelijking van de meetresultaten met transportformules is getoond in Figuur 22. Op basis

hiervan kan bijvoorbeeld een keuze voor een formulering en de geldigheidsbandbreedte worden onderbouwd of een kalibratie worden uitgevoerd.

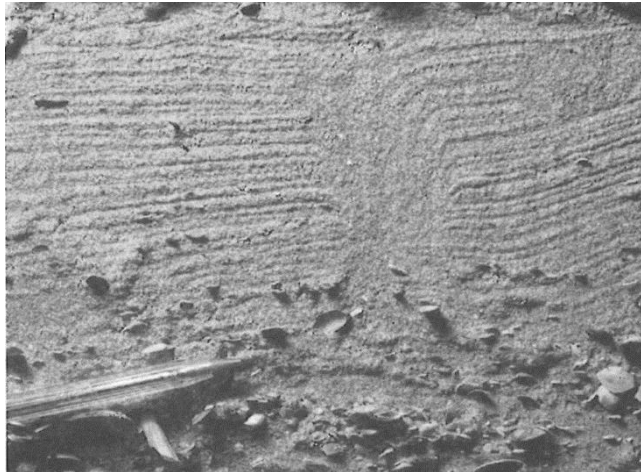


Figuur 22 Vergelijking van dimensieloze sedimenttransport gegevens van de vooroever van de Noordzee met andere gegevens en met verschillende berekende transporten (lijnen) uit Kleinhans en Grasmeijer (2005).

Het eindrapport van het Sandpit-project bevat een aantal artikelen over metingen met meetframes op de vooroever (NAP -13 m) bij Egmond (Van Rijn et al. 2005). In het Sandpit project hebben ook verschillende vergelijkingen plaatsgevonden tussen meetgegevens op de vooroever en berekende sedimenttransporten (Hoekstra et al. 2005, Kleinhans & Grasmeijer, 2005). Verrassend is het grote verschil tussen gemeten en het berekende bodemtransport, dat in de metingen een factor 5 lager is dan in de voorspellingen. De meest waarschijnlijke oorzaak voor dit verschil zit in de gebruikte stromingsinformatie en in de formuleringen voor het bodemtransport.

Het Sandpit-project heeft veel waardevolle informatie opgeleverd over het sedimenttransport op de vooroever van de Hollandse kust. In aanvulling op de hierboven genoemde veldgegevens zijn metingen uitgevoerd in laboratoria onder gecontroleerde omstandigheden. Deze zijn in samenhang beschouwd met de veldmetingen. Ook zijn gegevens verzameld over de bodemvormen op vooroever en de condities waaronder deze voorkomen (Kleinhans, 2005).

Naast de directe sedimenttransportmetingen zijn ook de sedimentaire structuren geanalyseerd. Deze geven aanwijzingen voor de condities waaronder het materiaal is afgezet. Figuur 23 toont een voorbeeld van zogenaamde *Hummocky Cross Stratification* die aangeven dat er hoge stroomsnelheden aan de bodem zijn geweest. Deze hoge stroomsnelheden veroorzaken *sheet flow* en zijn waarschijnlijk bereikt door de combinatie van golven en getijdestroming tijdens een storm. De aanwezigheid van de kleine ribbels aan de bovenkant is een aanwijzing voor het optreden van betrekkelijk rustige afzettingscondities. Figuur 23 toont ook het spoor van een dier dat zich heeft ingegraven in het sediment. Ook dit is een aanwijzing voor betrekkelijk rustige condities.

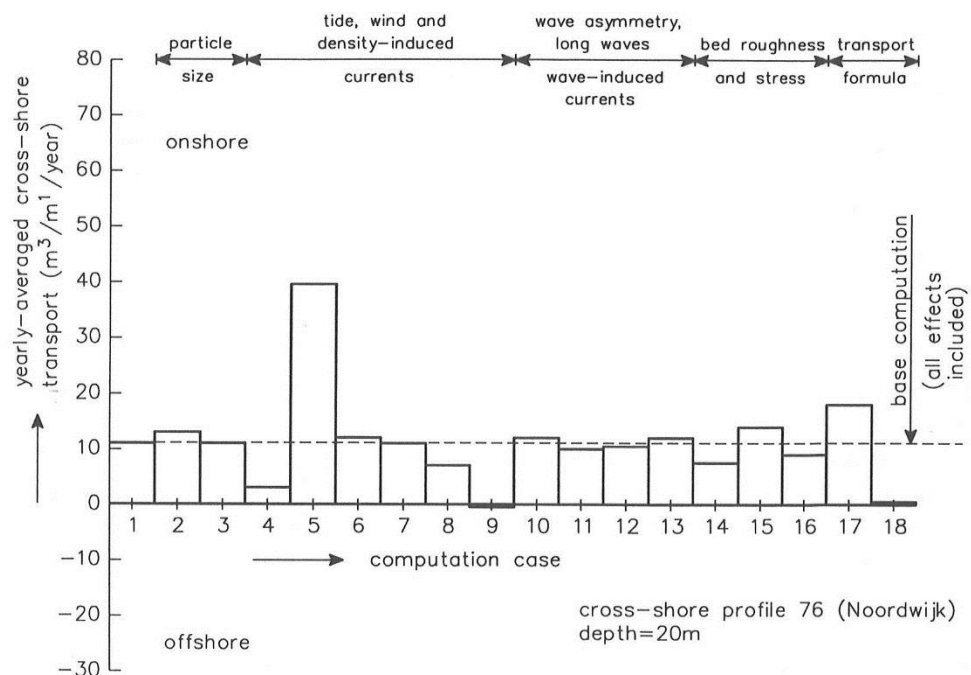


Figuur 23 Foto van een lakprofiel met structuren van de Noordzeebodem. Van boven naar beneden golfribbels, 'Hummocky Cross Stratification' en een schelpenlaagjes ('lag'). In het midden is een graafspoor zichtbaar (een deel van figure 8 van Kleinans, 2005).

Sedimenttransportberekeningen

Als onderdeel van het Kustgenese onderzoek zijn in de jaren '90 berekeningen uitgevoerd naar het langs- en het dwarstransport op vooroever (Van Rijn, 1995, 1997). Het dwarstransport is berekend over de NAP -20 m en -8 dieptelijnen. Omdat duidelijk was dat verschillende factoren invloed hadden op de berekende transporten zijn daarbij steeds de resultaten van een serie berekeningen getoond, waarin modelinstellingen en inputparameters zijn gevarieerd. De transporten zijn berekend voor vier raaien, namelijk bij Scheveningen, Noordwijk, Egmond en Callantsoog..

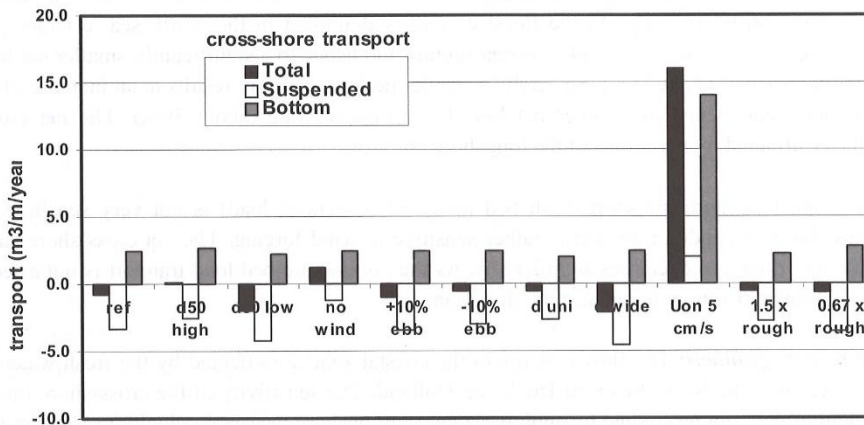
Figuur 24 toont een voorbeeld van de berekeningsresultaten uit van Rijn (1995) voor het dwarstransport over de NAP -20 m dieptelijijn. Hieruit blijkt dat vrijwel alle transporten landwaarts gericht zijn en dat de orde van grootte vergelijkbaar is. Voor de verschillende raaien varieerden de dwarstransporten over de NAP -20 m van 0 ± 5 tot 10 ± 5 $m^3/m/jaar$. Van Rijn (1995) laat een minder consistent beeld zien voor de berekende dwarstransporten over de NAP -8 m lijn (figuur hier niet getoond).



Figuur 24 Berekende dwarstransport over de NAP -20 m dieptelijijn bij Noordwijk (Van Rijn, 1995).

In het Sandpit project is een set vergelijkbare berekeningen uitgevoerd van de dwars- en langstransporten (Van Rijn et al., 2005). Figuur 25 toont de resultaten van de berekening. Het toegepaste model is een nieuwe versie van het Unibest-TC model en bij deze berekeningen zijn andere modelinstellingen gevarieerd dan in de eerdere berekeningen. Ondanks de verschillen tussen Figuur 24 en Figuur 25 is de conclusie dat de uitkomsten vergelijkbaar zijn, met een netto dwarstransport van 10-15 m³/m/jaar. De kustwaartse dichtheidsgedreven stroming is verantwoordelijk voor dit netto kustwaartse transport. Wanneer dit effect niet in de berekeningen wordt meegenomen dan liggen de berekende transporten rond de 0 m³/m/jaar.

Het berekende langstransport was beduidend groter dan het dwarstransport.



Figuur 25 Berekende dwarstransport (+ = naar de kust toe, - = van de kust af) over de NAP -20 m dieptelijn bij Noordwijk (Van Rijn et al, 2005).

Knook (2013) heeft in een afstudeeronderzoek ook gekeken naar de berekende sedimenttransporten op kustprofielen bij de Hollandsekust met het Unibest-TC model. Ook uit dit onderzoek blijkt de invloed van een flink aantal variabelen, het belang van het goed meenemen van het getij (en dat gaat niet goed met het gebruikte model) en de variaties in de verschillende berekende processen.

5.4 Condities op de Noordzee

Op de Noordzee worden de condities bepaald door getij, wind en dichtheidsverschillen tussen het zoute zeewater en het zoete rivierwater dat de zee instroomt. Van deze drie factoren is het astronomisch getij goed voorspelbaar. Uit de Sandpitvergelijkingen van metingen en modelresultaten blijkt een goede schematisatie of meting van de waterbeweging door getij en golven essentieel is voor nauwkeurige berekeningen.

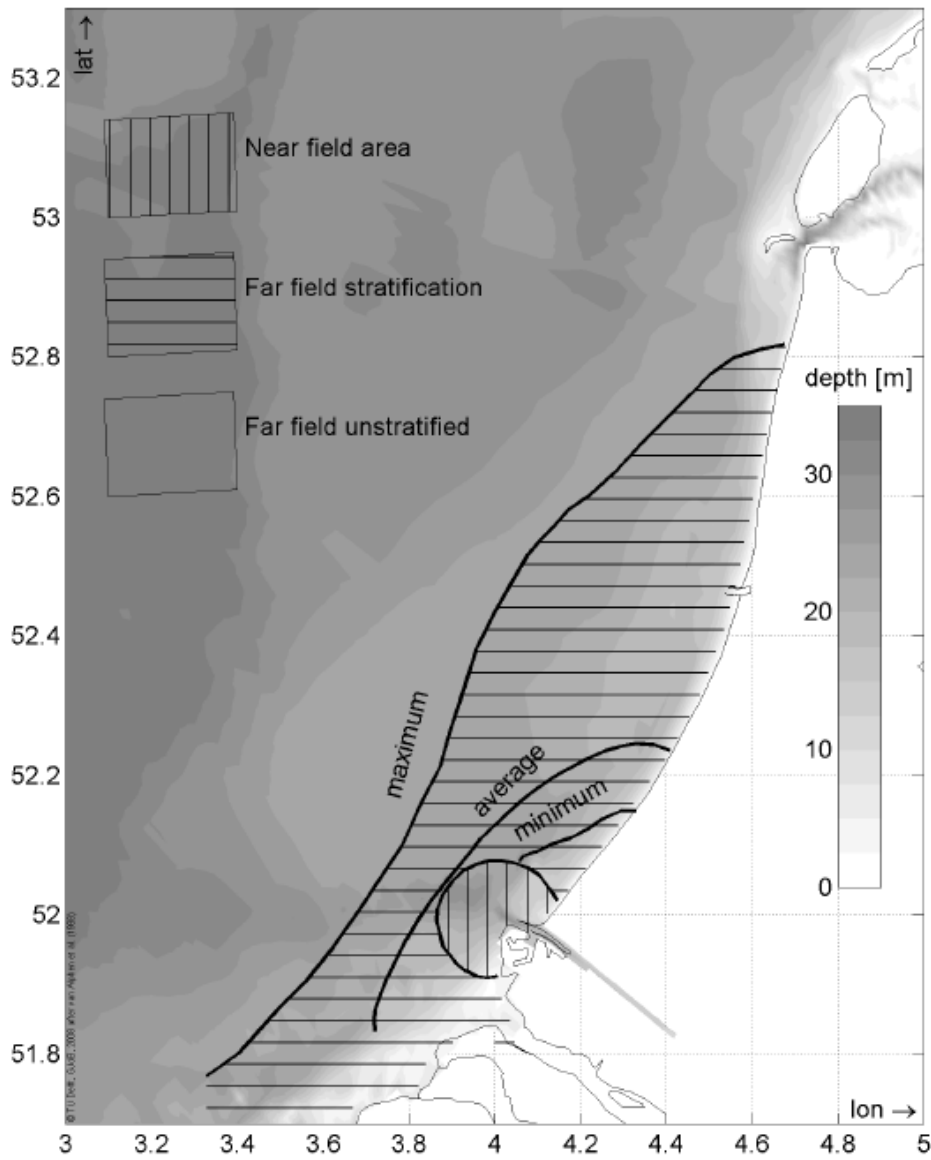
Golven, wind en de aanvoer van zoetwater zijn factoren die bepaald worden door het seizoen en het weer. Op basis van langjarige waarnemingen kan de frequentieverdeling van de verschillende condities worden bepaald. Tabel 1 toont een voorbeeld van de frequentieverdeling van golven. Op basis van deze verdelingen kunnen combinaties van condities worden gezocht die representatief zijn voor de optredende sedimenttransporten op de Noordzee.

Overigens verschillen de condities op de Noordzee niet alleen in de tijd maar ook in de ruimte. De invloed van de zoetwaterstroom uit de Rijn-Maasmonding is het sterkst in de nabije omgeving van die uitstroom en neemt verder weg geleidelijk af (Figuur 26). Ook golven en wind zijn anders voor de Hollandse kust dan voor de Wadden. Het gevolg hiervan is dat de representatieve condities voor de verschillende delen van de kust niet gelijk zijn.

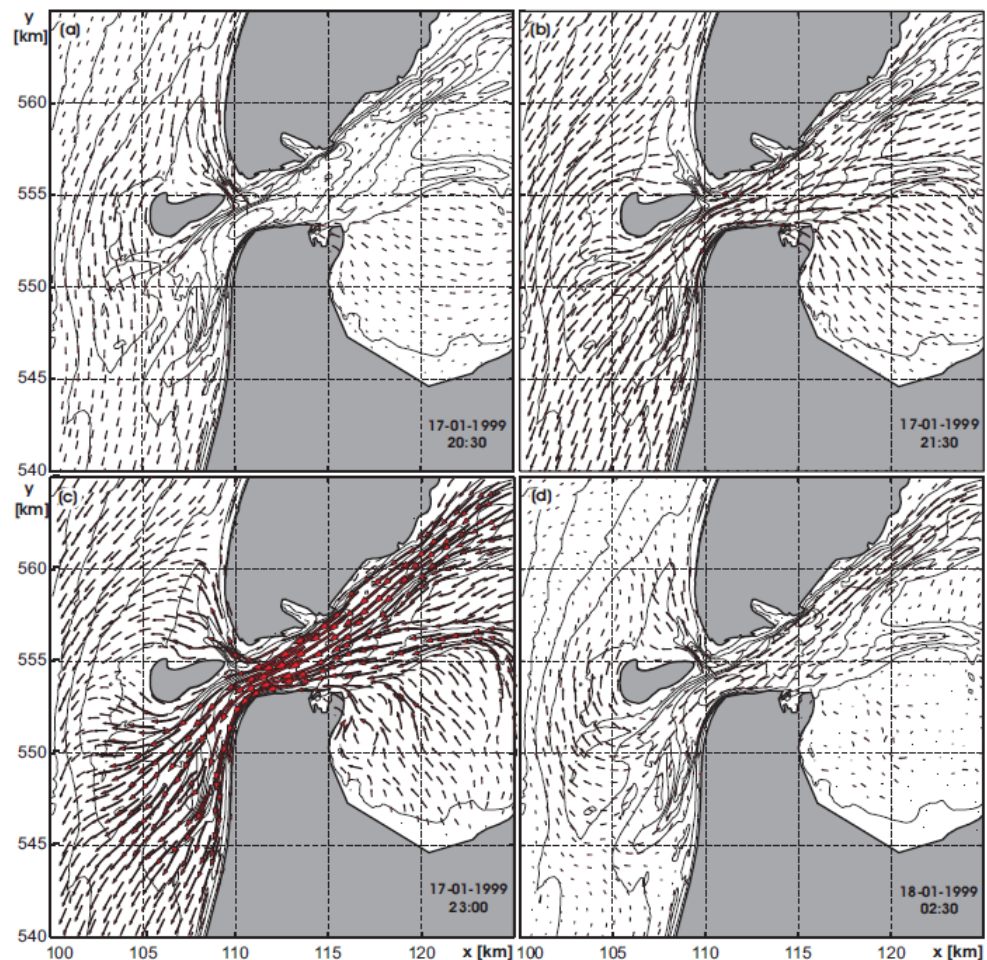
Tabel 1 Gemiddelde golfhoogte H , golfperiode T en de frequentie van voorkomen van golven op de NAP -10 m waterlijn bij Noordwijk over de periode 1975-1986 (Hokke en Roskam, 1987 in Stive & de Vriend, 19995).

H (m)	T (s)	Frequency (%)
0.25	4.0	20.778
0.75	4.5	36.462
1.25	5.0	20.805
1.75	5.3	11.741
2.25	5.5	5.4
2.75	6.0	2.7
3.25	6.5	1.1
3.75	7.0	0.6
4.25	7.5	0.3
4.75	8.0	0.1
5.25	8.5	0.1
5.75	9.0	0

Een andere factor die bij de Waddenzee en de Zeeuwse kust een belangrijke rol speelt is de getijdestroming naar en van de zeearmen en getijdebekkens. Bij de gesloten en langgerekte Hollandse kust vindt de getijdestroming overwegend langs de kust plaats. Nabij de Waddenzee en de Zeeuwse kust wordt het stromingspatroon ook beïnvloedt door de stroming van het naar de zeegaten. Figuur 27 toont een voorbeeld rond het zeegat van Texel. Ook de aanwezigheid van de buitendelta beïnvloedt de stroming op de Noordzee. De uitwisseling van sediment tussen vooroever en Noordzeebodem in de omgeving van de zeegaten verloopt daarom anders dan bij de gesloten kust.



Figuur 26 Verbreiding van de stratificatie in de Noordzee door de uitstroom van zoetwater uit de Rijn-Maasmonding (uit de Boer, 2009)



Figuur 27 Strooming door het Zeegat van Texel, tijdens vier momenten in het getij (uit Elias, 2006).

5.5 Korrelgrootteverdelingen, slib en organismen

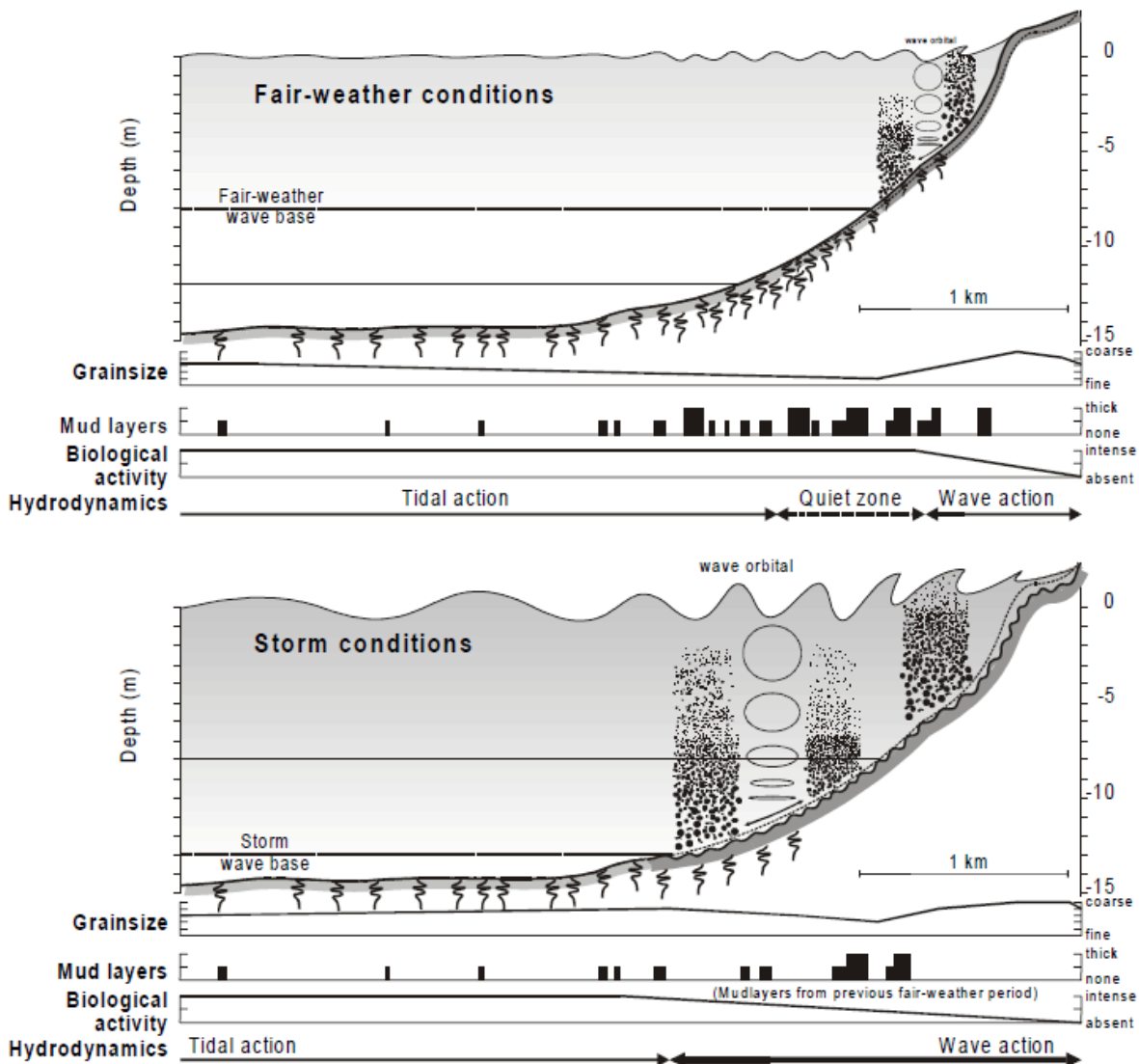
In deze rapportage is op verschillende plekken al aandacht besteed aan de reconstructie van de omstandigheden aan de hand van sedimentaire structuren. Dergelijke analyses zijn uitgevoerd aan de huidige zeebodem en onderwateroever (bijv. Kleinhans, 2005) en aan de Holocene afzettingen van de uitgebouwde kust (bijv. Van de Valk, 1992). De structuren geven inzicht in de processen die optreden tijdens de afzetting van het sediment. Ook in de korrelgrootteverdeling van het sediment, de variatie daarin over de vooroever en de aanwezigheid van kleilagen en graafsporen kunnen aanwijzingen worden gevonden voor de dominante processen op de verschillende delen van vooroever.

In Cleveringa (2000) is op basis van de sedimentaire structuren en de korrelgrootteverdeling een cartoon gemaakt van de processen onder rustige omstandigheden en tijdens stormen (Figuur 28). Onder de twee situatie zijn grafiekjes opgenomen van de korrelgrootteverdeling, de aanwezigheid van kleilagen, de sporen van biologische activiteit en de veronderstelde dominante hydrodynamische processen.

Onder rustige omstandigheden (bovenzijde Figuur 28):

- Is de golfwerking beperkt tot het ondiepe deel van het kustprofiel;
- Grover zand wordt alleen boven in het profiel getransporteerd (onder invloed van de golfwerking) en mogelijk heel laag in het profiel (onder invloed van de getijstrooming);

- Fijn sediment (slib) verzamelt in het rustige gebied en vormt kleilagen. In ondiep water voorkomt de golfwerking de afzetting van klei, op dieper water doet de getijstrooming hetzelfde;
- Organismen doorgraven het sediment, behalve daar waar golfwerking teveel sediment in beweging houdt.



Figuur 28 Cartoon van de processen onder rustige omstandigheden (boven) en stormen (onder).

Onder stormcondities (onderzijde Figuur 28):

- Reikt de golfwerking tot aan het diepe deel van de vooroever
- Wordt over de gehele vooroever zand en slib opgewoeld, zodat erosie plaatsvindt; Veel van de eerder afgezet kleilagen worden geërodeerd en sporen van doorgraving worden uitgewist;
- In de waterkolom vindt sortering van sediment plaats, met het grofste sediment (inclusief schelpjes) aan de basis en fijner sediment hoger in de waterkolom;
- Onder invloed van golven en stromingen wordt het zand getransporteerd, waarbij verdere sortering kan plaatsvinden.
- Het fijne sediment kan tot hoog in de waterkolom worden opgewoeld en door stromingen worden getransporteerd.

- Als de storm in kracht afneemt worden eerst de grove korrels en schelpen afgezet op de bodem, gevolgd door de fijnere korrels.

5.6 Samenvattend

De volgende fysische processen spelen een rol bij het transport van zand en slib op de diepe onderwateroever:

- Tijdens rustige omstandigheden wordt de waterbeweging bepaald door het getij. Dit resulteert in stroming en sedimenttransport voornamelijk parallel aan de kust maar met een kleine kustdwarse component;
- Het dichtheidsverschil tussen het zoute zeewater en het zoete rivierwater beïnvloedt de richting en de grootte van de stroming en het sedimenttransport
- Tijdens stormen zorgen golven voor grote verplaatsing van zand en slib dwars op de kust;
- Het dwarstransport bestaat uit een optelsom van een kleine maar dagelijkse bijdrage door het getij, een variabele bijdrage door dichtheidsgedreven stromingen en incidentele transporten tijdens stormen;

Het samenspel tussen bovengenoemde factoren maakt het niet eenvoudig om een eenduidige uitspraak te doen over de grootte en richting van de netto sedimenttransporten op de diepe onderwateroever. Sedimenttransportmetingen kunnen hier meer duidelijkheid over geven. Deze zijn echter schaars.

Op basis van de huidige kennis kunnen we het volgende concluderen:

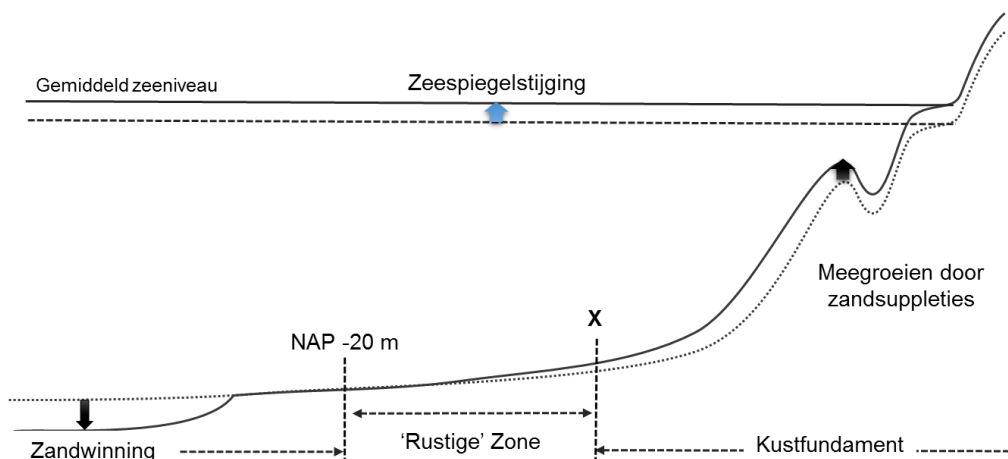
- De kennis van de waterbeweging, mede gebaseerd op metingen, is uitgebreid en leent zich goed voor simulaties met computermodellen;
- Een robuuste voorspelling van de grootte en richting van het sedimenttransport vraagt om zorgvuldige kalibratie en validatie met metingen;
- Berekende dwarstransporten op de onderwateroever wijzen op een omvang 0 tot $10 \pm 5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$, in de richting van de kust.

6 HYPOTHESEN EN AANNAMES BIJ EEN ZEEWAARTSE GRENS

6.1 Inleiding

Bij het maken van de keuze over de doorgetrokken NAP -20 m lijn als de landwaartse grens van het gebied waar zandwinning is toegestaan, is het voorzorgsprincipe leidend geweest: deze grens biedt in ieder geval voldoende zekerheid dat de functies van de kust behouden blijven. De invloed van zandwinning zal zeker niet reiken tot in het ondiepere deel van het kustprofiel. Daarmee is niet automatisch gezegd dat de landwaartse grens van het kustfundament op die locatie dezelfde zekerheden biedt. Voor het samenvallen van de landwaartse grens van het gebied waar op de Noordzee zandwinning wordt toegestaan en de zeewaartse grens van het kustfundament op de NAP -20 m lijn zijn geen inhoudelijk, op kennis gebaseerde onderbouwingen aangetroffen. Het ligt daarom voor de hand om deze twee grenzen los van elkaar te beschouwen, zodat een situatie als in Figuur 29 ontstaat. Een keuze voor een minder diepe zeewaartse grens van het kustfundament hoeft geen gevolgen te hebben voor de landwaartse grens van de zandwinning.

Voor het vaststellen van de locatie van de zeewaartse grens van het kustfundament is dan de leidende vraag of het aanvullen van het zandvolume zo plaats kan vinden dat de kust met al zijn functies mee kan groeien met de stijgende zeespiegel. Meer kennis biedt mogelijk ruimte voor het definiëren van een andere grens, met tenminste dezelfde zekerheden ten aanzien van functiebehoud als in de huidige situatie.



Figuur 29 Schematische dwarsdoorsnede van de kust en vooroever tot de Noordzeebodem bij een stijgende zeespiegel, waarbij de zeewaartse grens van het kustfundament 'X' op een andere plek ligt dan de landwaartse grens 'NAP -20 m' van het gebied waar zandwinning is toegestaan.

6.2 Van hypothese naar aanname over zandtransport

Een van de veronderstellingen (hypothesen) rond het kustfundament is dat het kustprofiel een zeewaartse grens heeft en dat over deze grens of zone (de overgang van de ondiepe kustzone naar de bodem van de Noordzee) geen netto uitwisseling van zand plaatsvindt (zie paragraaf 3.3 in dit rapport). Op basis van de resultaten van eerder onderzoek met metingen en berekeningen mogen we concluderen dat er transport van zand plaatsvindt over de NAP -20 m lijn. De omvang van dit dwarstransport is veel kleiner dan het langstransport en waarschijnlijk gericht van de Noordzee naar de kust.

Door de formulering als *hypothese* van het bestaan van een zeewaartse grens waarover geen uitwisseling van zand plaatsvindt, worden onderzoeksvragen gericht op de ligging van deze 'nullijn'. Maar gezien de resultaten van eerdere onderzoeken is

het waarschijnlijk dat de op de onderzoeksvraag 'waar ligt de nullijn?' geen bruikbare antwoorden zullen komen.

Hierboven is vastgesteld dat er waarschijnlijk transporten van zand over de zeewaartse grens plaatsvinden. Een van de manieren om hiermee in het beheer en het beleid mee om te gaan is om –op voorhand- de omvang en richting van deze transporten te bepalen en de omvang van de zandsuppleties hierop aan te passen. De transporten zijn echter relatief klein ten opzichte van de langtransporten en zullen altijd lastig te bepalen blijven. Daarbij wordt elke kleine onnauwkeurigheid of bandbreedte rond deze transporten uitvergroot door de betrekkelijk grote lengte van de zeewaartse grens. Als we uitgaan van de bandbreedte in het dwarstransport van $\pm 5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ en een lengte van de grens van 375 km, dan gaat het om een volume $\pm 1,875 \times 10^6 \text{ m}^3$ per jaar. Om de omvang van de bandbreedte in kubieke meters te verkleinen, moet de bandbreedte in transporten flink worden verkleind. Maar de gehanteerde bandbreedte in het rekenvoorbeeld is al klein en gezien de complexiteit van de verschillende transportprocessen lijkt het op voorhand niet mogelijk om dit te bereiken. Het advies is dan ook om op voorhand geen inspanningen uit voeren die zijn gericht op het vaststellen van de transporten en hun bandbreedte.

Een alternatieve hypothese bij de zeewaartse grens: De zeewaartse grens is open, net als de grens tussen het kustfundament en de zeegaten. Voor het vaststellen van het suppletievolume voor het in stand houden van het kustfundament wordt dan een aanname gedaan. Een mogelijke aanname is dat de uitwisseling nul is. Op basis van waarnemingen aan de ontwikkeling van het sedimentvolume in het kustfundament kunnen na verloop van tijd (tientallen jaren) eventuele transporten over de grens achteraf worden verrekend voor het bepalen van de suppletiebehoefte.

6.3 Meegroeien van het kustprofiel met de stijgende zeespiegel

De veronderstelling achter het op peil houden van de zandvoorraad van het kustfundament, is dat dit het behoud van het kustprofiel garandeert. En een kustprofiel dat ten opzichte van de stijgende zeespiegel gelijk blijft, kan zijn functies blijven vervullen. Deze veronderstelling gaat over een opbouwende kustlijn en de vraag in hoeverre alleen het sedimentbudget bepalend is voor de ontwikkeling van de kust. Bij een flinke stijging van de zeespiegel zou ook de verdeling van de processen over het kustprofiel kunnen gaan verschuiven¹.

De hypothesen over het meegroeien van het kustprofiel bij een stijgende zeespiegel, als het sediment budget op peil worden gehouden, hebben weinig aandacht gehad. Om vast te stellen of de beleidsdoelen voor de kust worden bereikt met doelstellingen en beheeringrepen is het belangrijk dat hiervoor toetsbare hypothesen worden geformuleerd. Het toetsen van dergelijke hypothesen kan eigenlijk niet los plaatsvinden van het beantwoorden van meer operationele vragen over de wijze waarop het onderhoud van het kustfundament plaatsvindt of plaats zou moeten vinden. Operationele vragen daarbij zijn: "Hoe moet je het meegroeien vormgeven?" en meer specifiek: "Is het voldoende om het bovenste deel van het kustprofiel aan te vullen en de natuurlijke processen op termijn de herverdeling over het profiel te laten verzorgen?". Vraag is dan over welke termijn we spreken. Dit wordt bepaald door de frequentie waarmee stormen optreden die een netto transport van de kust naar dieper water op gang brengen. Vraag is dan ook of het zand dan terug komt in het ondiep kustprofiel. De bovenstaande vragen en de beantwoording er van zijn niet alleen te koppelen aan *volumebehoud en zandverliezen en de ligging van de zeewaartse grens van het kustfundament*. De verdeling van het volume over het profiel is tenminste zo belangrijk. En voor de ligging van de zeewaartse grens van het kustfundament is een

¹ Hierbij past de vraag: Waarom is de dieptebegrenzing ten opzichte van NAP en niet ten opzichte van de gemiddelde zeespiegel?

belangrijke vraag tot welke diepte (of afstand uit de kust, of kusthelling) de herverdeling plaatsvindt.

De vragen over het meegroeien kunnen ook worden geformuleerd in onderzoeksvragen over stabiele kustprofiel, passend bij de ligging van de basiskustlijn. Daarbij horen tijdschalen en scenario's voor de stijging van de zeespiegel: stabiel op een tijdschaal van 1, 5, 10, 25 tot 50 jaar, dan wel bij een 50-200 jaar storm.

Scenarioberekeningen zijn gewenst van de wijze waarop het kustfundament wordt aangevuld en de wijze waarop de herverdeling van zand langs de kust en over het gehele kustprofiel plaatsvindt. Het gaat dan om de modelsimulaties van de morfologische ontwikkelingen in langs- en dwarsrichting, op tijdschalen van 10 á 20 jaar. De keuze voor het soort morfologische model, of modellen en de wijze van schematisatie is niet eenvoudig, vanwege de grote variatie in (maatgevende) condities en processen voor het transport van zand (en slib). De Zandmotor biedt waarschijnlijk goede aanknopingspunten voor de aanpak van deze scenarioberekeningen.

7 KENNISLEEMTES EN VRAAGSPECIFICATIE

7.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is op basis van eerder onderzoek inzichtelijk gemaakt welke basiskennis ten grondslag ligt aan de keuze voor de ligging van de zeevaartse grens van het kustfundament op de doorgaande NAP -20 m lijn. Duidelijk is dat gebruik is gemaakt van verschillende vakgebieden (civiele techniek, fysische geografie, geologie,...) en methoden (metingen, modellen, labonderzoek,...) om het lastige onderwerp van de dynamiek van de vooroever en Noordzeebodem te onderzoeken. Desalniettemin zijn er duidelijke kennisleemtes op het gebied van de sedimentuitwisseling en de morfologische ontwikkeling van de diepere onderwateroever.

In hoofdstuk 5 en 6 van dit rapport worden reeds enkele kennisleemtes aan het licht worden gebracht. Doel van dit rapport is echter niet om compleet te zijn in de kennisleemtes en onderzoeksvragen. Voor het maken van beleidskeuzes rond de zeevaartse grens van het kustfundament zijn alleen die kennisleemtes van belang die het maken van deze keuzes in de weg staan.

7.2 Kennisleemtes ten aanzien van beleidskeuzes

De kennis van de verschillende (maatgevende) transportprocessen met hun frequentie van optreden op de diepere onderwateroever is nog steeds beperkt, zelfs als het om de relatief goed bestudeerde Hollandse kust gaat. Voor de andere delen van de Noordzeekust is deze kennis door meer complexiteit vanwege de aanwezigheid van *shoreface-connected ridges*, getijdebanken, buitendelta's en zeegaten nog beperkter. Tegelijk omvatten deze kustdelen met een andere opbouw wel een groot deel (>50%) van onze kust.

Deze kennisleemte heeft als gevolg dat het niet goed mogelijk is om voorspellingen uit te voeren van de sedimenttransporten op de diepere onderwateroever en de uitkomsten hiervan op waarde te schatten. De uitwisseling van sediment met enerzijds de ondiepe kust en anderzijds de Noordzeebodem kan hierdoor niet met voldoende zekerheid worden bepaald

De vraagspecificatie is daarom gericht op het toewerken naar betrouwbare voorspellingen van de sedimenttransporten en morfologische veranderingen op de diepere onderwateroever. Dergelijke voorspellingen zijn bruikbaar voor het berekenen van de gevolgen van keuzes rond de zeevaartse grens van het kustfundament en voor het berekenen van de gevolgen van ingrepen die zijn gericht op het behoud van de functies van de kust.

7.3 Onderdeel 1: Update Technisch Rapport 1 Zandsysteem kust & Atlas vooroever

Update Technisch Rapport 1

Het eerste onderdeel uit de vraagspecificatie is het opstellen van een update van het Technische rapport 1 "zandsysteem kust". De informatie die nu beknopt in Hoofdstukken 4 en 5 van het voorliggende rapport is opgenomen kan daarin worden uitgebreid en aangevuld. De update omvat in ieder geval het volgende:

- Indelen in werkbare deelgebieden (sedimentcirculatiecellen, logische eenheden: zonder en met *shoreface-connected ridges*, getijdebanken, buitendelta's en zeegaten);
- Maken van een overzicht van alle relevante fysische en biotische processen per deelgebied;
- Bepalen van de frequentie van optreden van de verschillende processen, ook weer per deelgebied.

- Combineren van de voorgaande twee punten: inzicht in de verwachte bijdrage aan de netto transporten en morfologische veranderingen door de verschillende processen over perioden van jaren.

Een van de manieren om bovenstaande scherp te krijgen is het uitvoeren van numerieke modelsimulaties, omdat bij het opstarten daarvan keuzes moeten worden gemaakt over het soort model, het modeldomein, de fysische processen, 2D/3D etc. Modelsimulaties staan opgenomen bij het volgende onderdeel van de vraagspecificatie, maar dit onderdeel kan parallel worden uitgevoerd aan onderdeel 1.

Verder is het zinvol om de kennis en ervaringen met ingrepen en hun gevolgen toe te voegen aan de update. Het gaat daarbij onder andere om de Zandmotor, de duincompensatie in Zuid-Holland en de versterking van de Hondsbossche- en Pettemerzeewering. Mogelijk kan de vooroever van de Tweede Maasvlakte ook bruikbare kennis opleveren. Analyse van de gegevens rond deze projecten kan, voor zover deze het diepere bereik omvatten, inzicht geven in de vorm van de kustprofielen, de herverdelingsprocessen voor sediment en de omstandigheden waaronder deze een rol spelen. Mogelijk wordt een deel van dit type analyses al uitgevoerd, bijvoorbeeld als onderdeel van het NEMO² project, en het is zinvol om dit bij de verschillende onderzoekers na te gaan. De analyse van een aantal multibeam metingen die zijn uitgevoerd door de Marine binnen KPP B&O Kust³ geeft waarschijnlijk ook meer inzicht in variatie in de bodemligging op de Noordzeebodem, met een stukje vooroever en dit kan worden opgenomen.

Ten aanzien van de kennisleemtes draagt deze update bij aan het nog scherper krijgen van de kennisleemtes en meer inzicht krijgen in de mogelijkheden om deze leemtes te vullen.

Atlas vooroever

In aanvulling op de update van het Technische Rapport 1 is behoefte aan meer basiskennis van de vooroever. Het gaat om het gebied aan de zeezijde van de brekerbanken tot ruwweg de NAP -20 m dieptelijn. In vergelijking met de gegevens die uit de diepere delen van de Noordzee en van de brekerbanken bekend zijn, is het aantal waarnemingen in dit "Terra Incognita" beperkt. Hiervoor is voorzien in een Atlas van de vooroever, met daarin het volgende:

- Gedetailleerde bodemkaarten (op basis van hoge resolutie multibeam-lodingen, met voldoende overlap parallel aan de kustlijn gevaren), die zicht geven op de aan- dan wel afwezigheid van bodemstructuren (ribbels, sporen van doorgraving, sporen van visserij,...). Het liefst van verschillende momenten, voor en na stormcondities;
- Kennis van de sedimentaire structuren, bodemopbouw en korrelgrootteverdelingen op basis van boxcores (tot ongeveer de bovenste 30 cm van de zeebodem) en vibrocores (afhankelijk van het type vibrocorer tot maximaal 6 m in de zeebodem).
- Vertaling van de waargenomen structuren van de bodem en in de bodem naar de vormende processen

Aanvullende multibeam-opnamen en het uitvoeren boringen vormen de basis voor een dergelijke Atlas. Mogelijk biedt het monitoringprogramma rond de suppletie Callantsoog, die op dieper water dan reguliere onderwatersuppleties wordt uitgevoerd, een vertrek- of aanknopingspunten voor de monitoring.

Voor de kennisleemtes levert de Atlas meer gedetailleerd inzicht in de vormende processen op de verschillende delen van de vooroever. Het voegt detailniveau toe aan de bestaande geomorfologische kaarten van de Noordzee (Van Alphen en Damoiseaux, 1987). Mogelijk levert dit een voor de hand liggende criterium, of

² Het NEMO project wordt uitgevoerd door de TU-Delft. NEMO staat voor *Nearshore Monitoring and Modelling: Inter-scale Coastal Behavior*.

³ KPP B&O: Kennis voor Primaire Processen Beheer en Onderhoud

combinatie van criteria (diepte, helling, aan- dan wel afwezigheid bodemvormen,) voor een aangepaste zeewaartse grens van het kustfundament.

Het is mogelijk om onderdeel 1 in een tijdsbestek van één jaar uit te voeren. Voor de Atlas van de vooroever is het waarschijnlijk wenselijker om een ruimer tijdpad te nemen van bijvoorbeeld anderhalf tot twee jaar, om voldoende tijd te nemen voor het uitvoeren van lodingen en boringen en het verwerken van de resultaten. De resultaten van onderdeel 1 kunnen dan bijdragen aan de onderbouwing van keuzes voor het kustbeleid in 2020.

7.4 Onderdeel 2 Proef, metingen en modelstudie

Proef

De netto veranderingen die in de autonome situatie op de diepere vooroever optreden zijn klein en dat maakt het lastig om deze waar te nemen. Frequent en langdurig meten levert veel informatie maar vraagt tegelijk ook om continuïteit die niet altijd kan worden gegarandeerd. Een alternatieve benadering is het opleggen van een relatief grootschalige verandering, waardoor meetbare veranderingen optreden. Mogelijk kunnen bestaande projecten hier al inzicht voor opleveren, zie hiervoor onderdeel 1. In aanvulling daarop kan een proef worden uitgevoerd met het aanbrengen van een verstoring op de diepere vooroever. Zo'n proef kan bestaan uit een verdieping of een verondieping (of een combinatie van beide), waarvan de ontwikkelingen nauwlettend worden gemonitord. Hier wordt specifiek gesproken van een proef en niet van een pilot, omdat deze niet is gericht op mogelijke beheersmaatregelen.

Analyse van de ontwikkelingen rond de proef kan inzicht geven in herverdeling van zand over kustprofielen, de herverdelingsprocessen en de omstandigheden waaronder deze een rol spelen. De resultaten van zo'n proef zijn zeer bruikbaar om te vergelijken met de uitkomsten van numerieke modelsimulaties van de proef, zodat duidelijk wordt wat de voorspelkracht is van deze modellen voor ontwikkelingen op de diepere vooroever.

Het tijdpad dat is gemeoid met het opstarten, uitvoeren en analyseren van een proef (twee jaar voorbereiding, jaar van uitvoering, één jaar gevolgen meten en eerste analyses) betekent dat het tenminste 5 jaar duurt voordat de eerste resultaten beschikbaar zijn. De terugkoppeling naar het kustbeleid en -beheer zal na 2020 plaatsvinden.

Metingen van bodemhoogte

De netto veranderingen die plaatsvinden op de diepe vooroever en op de Noordzeebodem zijn klein. Wel kan er sprake zijn van grote hoogteveranderingen op plekken waar megaribbels en andere bodemvormen verplaatsen. De veranderingen treden deels van dag tot dag op onder invloed van het getij, maar ook incidenteel tijdens stormen. Om kleine netto veranderingen goed te kunnen bepalen zijn metingen van de bodemhoogte nodig die een grote nauwkeurigheid hebben. Om de veranderingen door bodemvormen te bepalen en uit te kunnen filteren zijn meerdere metingen nodig, over een periode dat zich een duidelijke verplaatsing heeft voorgedaan. Om ook de gevolgen van stormen uit te kunnen filteren zijn meerdere metingen nodig gedurende een langere periode, zodat zich tenminste enkele stormen hebben voorgedaan. Tezamen zijn dit de redenen om voor het bepalen van de veranderingen in de diepe vooroever gedurende een periode van jaren regelmatig de bodemhoogte te meten met een nauwkeurig meetsysteem. Gebiedsdekkende metingen hebben daarbij de voorkeur, zodat het verplaatsen en veranderen van bodemvormen compleet in beeld is en alle gegevens aanwezig zijn om volume bepalingen uit te voeren.

In paragraaf 6.2 is aangegeven dat dergelijke langjarige metingen van de bodemhoogte gebruikt kunnen worden om te bepalen of veranderingen in het

zandvolume plaatsvinden. Op termijn (van jaren) en in samenhang met een beschouwing van de transportrichting (verplaats zand van of naar de kust, dan wel van of naar de Noordzee) kunnen deze gegevens gebruikt worden om vast te stellen of de zandvoorraad aangevuld dient te worden.

Metingen van de bodemhoogte leveren zinvolle informatie op voor het kustbeleid- of beheer als deze langlopend (> 5 jaar) worden uitgevoerd. Op termijn tot 2020 zal uit dergelijke metingen geen informatie komen die van invloed is op het kustbeleid. Het is derhalve vanuit die optiek niet nodig om deze metingen zo spoedig mogelijk te starten. Het is van groter belang om te garanderen dat dat de metingen langlopend worden uitgevoerd in één of meerdere gebieden waar geen ingrepen in de bodem (bijvoorbeeld vanwege de aanleg van kabels) plaatsvinden.

Metingen van de processen

Meetgegevens van waterbeweging (stroming door getij, golven en dichtheidsverschillen) en zand- (suspensie- en bodemtransport) en slibtransport en de analyse van de meetresultaten geven inzicht in de verschillende transportprocessen. De meetresultaten zijn ook bruikbaar om formules voor sedimenttransport mee te vergelijken. Het systeembegrip van de dynamiek van de vooroever wordt hiermee vergroot. Meetgegevens zijn ook nodig om de kwaliteit van de uitkomsten van modellen mee te vergelijken. Het aantal metingen dat beschikbaar is van de vooroever is beperkt. Na het Sandpit project is mogelijk nuttige informatie verzameld in Megapex⁴ en ROFI⁵ projecten. Aanvullende metingen met meetframes op diep water om snelheden, concentraties, transporten en beddingvormen te meten zijn zeer welkom.

Metingen aan de erosiebestendigheid van de zeebodem zijn nog niet beschikbaar. Deze metingen zijn belangrijk om de waargenomen verschillen tussen gemeten en berekend begin van transport te verklaren en te verkleinen. Metingen van deze erosiebestendigheid kan bijvoorbeeld in-situ worden uitgevoerd met een stroomgoot die op de zeebodem wordt geplaatst, of semi-in-situ met een kleine stroomgoot aan boord van een schip. Dit levert zeer waardevol nieuw inzicht op dat direct toepasbaar is bij modelsimulaties.

Uitvoeren van metingen op de diepe onderwateroever verkleint de kennisleemtes op de volgende wijze: 1) De kennis over de sedimenttransportprocessen en herverdeling van sediment wordt vergroot; 2) De waarde en betrouwbaarheid van modelvoorspellingen wordt groter.

Veldmetingen van processen vereisen een goede voorbereiding. Eerst moet worden gekeken naar de bestaande metingen en de hiaten in de gegevens. Daarna moeten de metingen worden voorbereid, waarbij het instrumentarium wordt opgebouwd. De duur van het daadwerkelijke uitvoeren van metingen is mede afhankelijk van de te beschouwen periode (rustig weer, of juist ook stormen) en praktische aspecten (tijdsbereik dataloggers en accu's mee, aangroei,...). Na afloop kost het uitwerken en analyseren van gegevens tijd, die mede-afhankelijk is van de duur van metingen. In theorie is het mogelijk om een meetcampagne, met inbegrip van de voorbereiding en uitwerking in het tijdsbestek van één jaar uit te voeren. In de praktijk lijkt een tijdsbestek van anderhalf á twee jaar realiseren, om te komen tot uitkomsten die bruikbaar zijn voor keuzes in het kustbeleid en -beheer.

Modellen

De inzet van computermodellen is zeer zinvol gebleken, om inzicht te krijgen in de absolute en relatieve omvang van de sedimenttransporten door verschillende

⁴ MEGAPEX staat voor MEGA Perturbation Experiment en omvat o.a. veldmetingen gedurende 6 weken op de zandmotor

⁵ ROFI staat voor Region Of Freshwater Influence en dit project omvat o.a. veldmetingen (zie bijv. De Boer et al., 2006)

processen. Ook het simuleren van de morfologische ontwikkelingen van zandwinputten op de Noordzeebodem en de diepe onderwateroever hebben inzichten opgeleverd in de herverdeling van sediment op de diep vooroever. Modellsimulaties hebben op deze wijze een belangrijke rol gespeeld bij de totstandkoming van de landwaartse grens voor zandwinning en de zeewaartse grens van het kustfundament.

Nieuwe modellsimulaties kunnen daarom ook helpen om de inzichten in de herverdeling van sediment op de vooroever nog beter te begrijpen. De ontwikkeling van modellen heeft niet stilgestaan en met de toegenomen rekenkracht kunnen meer gedetailleerde berekeningen worden uitgevoerd. Nieuwe simulaties kunnen letterlijk meer detail laten zien. Het kan daarom ook zinvol zijn om oude, al eerder doorgerekende situaties opnieuw te modelleren. Hierbij is veel aandacht nodig voor de wijze van schematisatie (lessons learned uit Sandpit), de keuze voor 1D, 2D of 3D berekeningen, de keuze voor het modeltype, de ruimtelijke resolutie en de verschillende condities. Het is net zo belangrijk dat goed wordt gekeken welke gegevens beschikbaar en bruikbaar zijn om de uitkomsten van de modellsimulaties mee te vergelijken.

Modellsimulaties van de bestaande situatie geven inzicht in de transportprocessen en morfologische veranderingen op de diepe vooroever. Als er voldoende vertrouwen is in deze modeluitkomsten, dan is de volgende stap het uitvoeren van morfologische berekeningen van de vooroever waarop zand is gesuppleerd (scenarioberekeningen, zoals genoemd in paragraaf 6.3). Dergelijke modellsimulaties geven inzicht in de mogelijkheden om met het aanvullen van de zandvoorraden mee te groeien met de stijgende zeespiegel. Ook geven dergelijke simulaties inzichten die kunnen bijdragen aan het bijstellen van de zeewaartse grens van het kustfundament.

Modellsimulaties kunnen in vergelijking met metingen snel worden opgestart en uitgevoerd. De zin van dergelijke simulaties staat of valt met de beschikbaarheid van gegevens voor verificatie van de uitkomsten en met de keuze voor en de uitvoering van de schematisaties. Voor die stappen dient dan ook voldoende tijd te worden gereserveerd. Modelresultaten ter ondersteuning van keuzes voor kustbeleid en –beheer kunnen in een tijdsbestek van één jaar beschikbaar zijn.

Samenhang

De bovenstaande drie aspecten kennen een logische samenhang, omdat inzichten uit de modellsimulaties bijvoorbeeld goed kunnen bijdragen aan de vormgeving van een proef (Van Oeveren e.a., 2015). Meetgegevens zijn bijvoorbeeld onmisbaar voor het vergelijken met modelresultaten. In de praktijk is het verstandig om de onderlinge afhankelijkheden te beperken. Het niet uitvoeren van één onderdeel hoeft echter niet te betekenen dat de andere paden geen bruikbare uitkomsten opleveren.

7.5 Onderdeel 3: Aftappen van de kennisontwikkeling

De twee bovenstaande onderdelen zijn niet zo scherp gespecificeerd dat de uitkomsten ervan direct toepasbaar zijn in het beleid en het beheer van de kust. Daarom moet op geregelde momenten, die zijn gekoppeld aan de voor te bereiden en te nemen beleidsbeslissingen, de ontwikkelde kennis worden vertaald naar antwoorden op de gestelde vragen. Op deze wijze blijft ook het verband tussen het onderzoek en het doel daarvan scherp.

7.6 Kenniscommunity

Een deel van de onderzoeksvragen waarop de bovenstaande inspanningen antwoord geven, zullen geen directe betrekking hebben op het kustbeleid en –beheer van het kustfundament. Wel zullen antwoorden op deze vragen bijdragen aan een beter systeembegrip van de vooroever. Daarmee worden deze antwoorden wel belangrijk voor het kustbeleid en –beheer. Het verdient de overweging om hiervoor op vergelijkbare wijze als rond de zeegaten in te zetten op één of meerdere

onderzoeksprogramma die door Universiteiten worden uitgevoerd en waarbij cofinanciering door Rijkswaterstaat plaatsvindt.

Door de ervaringsdeskundigen met Kustgenese 1 in de discussiebijeenkomsten werd de samenwerkingsvorm voor dat project genoemd: een mix van ervaren en jonge onderzoekers die in drie werkgroepen opereerden. De deelnemers waren afkomstig uit verschillende organisaties: Rijkswaterstaat, kennisinstituten en universiteiten. Dit heeft veel inzicht opgeleverd en geleid tot een nuttige overdenking van kennis en inzichten. Een van de randvoorwaarden bij deelname was dat voor de deelname aan de werkgroepen niet apart werd betaald, mensen kwamen om wat te leren en bij te dragen. Het is zinvol om ook bij Kustgenese 2 met werkgroepen of kenniscommunities die een vergelijkbare mix van deelnemers omvatten

8 BRONNEN

Kustverdediging na 1990

Ministerie van verkeer en Waterstaat (1990) nota Kustverdediging na 1990, beleidskeuze voor de kustlijnverzorging.

Mulder, J.P.M. & F.J. de Vos (1989) Technisch rapport 9 Inventarisatie functies onderwateroever; interactie met kustverdediging. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren; achtergrondrapport bij beleidsnota kustverdediging na 1990.

Rijkswaterstaat (1989) Technisch rapport 0; Overzicht technische onderbouwingsdiscussienota kustverdediging.

Rijkswaterstaat (1990) The Dutch Coast; Report of a session on the 22nd International Conference on Coastal Engineering; preprints of the papers to be published by the American Society of Civil Engineers December 1990. Waarin onder andere:

- Alphen, J.S.L.J. van, F.P. Hallie, J.S. Ribberink, J.A. Roelvink and C.J. Louisse, 1990. Offshore sand extraction and nearshore profile nourishment (The Dutch Coast: Paper No. 12)
- Stive, M.J.F., D.A. Roelvink and H.J. de Vriend, 1990. Large-scale coastal evolution concept. (The Dutch Coast: Paper No. 9)

Stolk, A. (1989) Technisch rapport 1 Zandsysteem kust; een morfologische karakterisering. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren; achtergrondrapport bij beleidsnota kustverdediging na 1990.

Sandpit

Van Rijn, L.C., R.L. Soulsby, P. Hoekstra & A.G. Davies (2005) Sandpit; Sand transport and morphology of offshore mining pits; Process knowledge and guidelines for coastal management. End document May 2005. Waarin onder andere:

- Van Rijn, L.C., Walstra, D.J.R., & T. Van Kessel. Net transport rates at the Dutch Noordwijk site, North Sea. pp. A1–A7.
- Hoekstra, P., M.G. Kleinhans, B.T. Grasmeijer, O. Montfort, T.J. Dolphin, M. Boers & S. Hearn. Hydrodynamic and sediment transport processes on the Dutch shoreface; results from the SANDPIT experiment.
- Kleinhans, M.G. & B.T. Grasmeijer. Alongshore bed load transport on the shoreface and innershelf. pp. P1–P10.

Overige bronnen

Beets, D.J., A.J.F. van der Spek & L. van der Valk (1994). Holocene ontwikkeling van de Nederlandse kust. Project Kustgenese 40.016, Rijks Geologische Dienst.

Beets, D.J., Van der Valk, L. and Stive, M.J.F., 1992. Holocene evolution of the coast of Holland. Mar. Geol., 103: 423-443

Bestuurlijk overleg Voordelta (1993) Vorm in Verandering: Integraal Beleidsplan Voordelta.

Boer, G.J. de, 2008. On the interaction between tides and stratification in the Rhine Region of Freshwater Influence. Proefschrift TU Delft.

Boers M. en J.J.Jacobse, 2000. Zandwinning op de zeebanken; Effecten op golfcondities langs de kust van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden. Rapport RIKZ-OS-2000.138x.

Cleveringa, J. (2000) Reconstruction and modelling of Holocene coastal evolution of the western Netherlands. Proefschrift Universiteit Utrecht.

- De Bruyne, R.H. & L. Van der Valk (1991). Schelpdieren in het Hollandse kustgebied: herkomst, aanspoelgedrag en transportmechanismen. (voorstudie naar herkomst en betekenis voor zandtransport). Rijksinstituut voor Visserijonderzoek (RIVO) Rapport MO 91-208.
- De Bruyne, R.H. (1990). Op het strand aangespoelde schelpdieren: een voorstudie naar herkomst en mogelijke betekenis voor zandtransport. Rijksinstituut voor Visserijonderzoek (RIVO) Rapport MO 90-203.
- Deltaprogramma Kust, 2014. Synthesedocument deelprogramma kust (Achtergronddocument B9 bij het Deltaprogramma 2015).
- Elias, E.P.L. (2006) Morphodynamics of Texel Inlet. Proefschrift TU Delft.
- Guillen, J. & Hoekstra, P. (1996) The "equilibrium" distribution of grain size fractions and its implications for cross-shore sediment transport: a conceptual model. *Marine Geology*, 135, 15-33.
- Hallermeier, R. J. (1981). A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. *Coastal Engineering*, Vol. 4, 253-277.
- Hinton, C. (1998). The spatial and temporal behavior of sediment volume changes and depth of closure along the Holland Coast between 1965 and 1990. Report prepared within the PACE and KUST2000 projects.
- Hokke, A. W. & Roskam, A. P. (1987) Gemeten golf klimaat in diep water, Report GWAO Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, The Hague.
- Kleinhans, M.G. & B.T. Grasmeyer (2006) Bed load transport on the shoreface by currents and waves. *Coastal Engineering* 53, pag. 983–996.
- Knook, P.P. (2013) Sediment transport on various depth contours of the 'Holland Coast' shoreface. Afstudeerrapport TU Delft.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012) Structuurvisie infrastructuur en ruimte.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1991, Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee, Deel A beleidsnota, Deel B Nota van toelichting (milieu-effect-rapport) en Deel C Appendices, Rijkswaterstaat Directie Noordzee.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998, Vierde nota waterhuishouding.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, 2004. Nota Ruimte.
- Mulder, J.P.M. (2000) Zandverliezen in het Nedrandse kustsysteem; Advies voor Dynamisch Handhaven in de 21^e eeuw. Rijkswaterstaat RIKZ rapport RIKZ/2000.36.
- Nederbragt, G. (2005) Zandvoorraden van het kustsysteem; Onderbouwing van een conceptueel model met behulp van trends van de winst- en verliesposten over de periode 1973-1997. Rijkswaterstaat RIKZ rapport RIKZ/2005.33.
- Rijkswaterstaat (1986). Manual on artificial beach nourishment, Delft Hydraulics Laboratory, The Netherlands.
- Rijn, L.C. van, (1995) Dynamics of the closed coastal system of Holland. Delft Hydraulics rapport H2129. Project Kustgenese.
- Rijn, L.C. van, A.J.H.M. Reniers, T.J. Zitman, J.S. Ribberink, 1995. Yearly-averaged sand transport at the -20m and -8m NAP depth contours of the JARKUS profiles 14, 40, 76 and 103. Rijkswaterstaat, Project Kustgenese.
- Stive, M. J. F. & De Vriend, H. J. (1995) Modelling shoreface profile evolution. *Marine Geology*, 126, 235-248.
- Van Alphen, J.S.L.J. and M.A. Damoiseaux, 1987. A morphological map of the Dutch shoreface and adjacent part of the continental shelf (1:250000). Nota NZ-N-87.21/MDLK-R-87.18. Rijkswaterstaat Directie Noordzee/Meekundige Dienst.

- van der Hout, C.M.; Gerkema, T.; Nauw, J.J.; Ridderinkhof, H. (2015). Observations of a narrow zone of high suspended particulate matter (SPM) concentrations along the Dutch coast. *Cont. Shelf Res.* 95: 27-38
- Van der Meene, J.W.H. (1994) The shoreface-connected ridges along the central Dutch coast. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- Van der Spek, A. J. F., Cleveringa, J., Van Heteren, S., Van Dam, R. L. & Schrijver, B. (1999) Reconstructie van de ontwikkeling van de Hollandse Kust in de laatste 2500 jaar, Report NITG-TNO, Utrecht.
- Van der Valk, L. (1992) Mid- and Late- Holocene coastal evolution in the beach-barrier area of The Western Netherlands. PhD Thesis, Free University, Amsterdam, 235 pp.
- Van der Valk, L. (1996b) Geology and sedimentology of Late Atlantic sandy, wave dominated deposits near The Hague (South-Holland, the Netherlands): a reconstruction of an early prograding coastal sequence. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, 57, 210-229.
- Van der Werf, J.J., Giardino, A. (2009). Effect van zeer grootschalige zandwinning langs de Nederlandse kust op de waterbeweging, zandtransporten en morfologie. Deltares rapport 1200996.
- van Dijk, A.G.P., T. Vermaas, M.P. Hijma. (2014). KPP Onderzoek Bodemdynamiek; Effect van baggeren op bodemdynamiek locatie Maasgeul & Pilot koppeling Kust en Zee. Deltares rapport 1209377-010.
- Van Heeteren, S., A.J.F. van der Spek & S. van Heteren (2011). Evidence and implications of Middle- to Late-Holocene shoreface steepening offshore the western Netherlands. *Proceedings Coastal Sediments 2011*. P. 188-201.
- Van Oeveren-Theeuwes, C., A.J.F. van der Spek, Z. B. Wang, A. Reniers (2015) Plan van Aanpak voor geprioriteerde onderdelen binnen Kustgenese-2; Onderbouwen van de suppletiebehoefte en uitvoeringsmogelijkheden voor het langetermijn kustbeleid. Deltares rapport 1220044-000
- Vermaas, T. (2014). Analyse ontwikkeling diepe vooroever Grevelingen. Deltares memo.

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137

8000 AC Zwolle

Nederland

+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com

Projectnummer: C03011.000517

Onze referentie: 079089026 0.3

BIJLAGE A VERSLAG BIJEENKOMST 1.

**Discussiebijeenkomst Zeewaartse begrenzing Kustfundament, 28-april-2016,
RWS Westraven, Utrecht.**

Deelnemerslijst

Harry de Looff (RWS)
Jelmer Cleveringa (Arcadis)
Ad van der Spek (Deltares)
Maarten Kleinhans (UU)
Ad Stolk (RWS)
Bert van der Valk (Deltares)
Leo van Rijn (ex Deltares, UU, zzp)
Claire van Oeveren (Deltares)

Inleiding

Ter voorbereiding op de beleidsbeslissing zand in 2020 worden in het Kustgenese een aantal onderwerpen onderzocht die betrekking hebben op de onderbouwing van het kustbeleid en –beheer. Een van deze onderwerpen is het ‘kustfundament’, de andere onderwerpen zijn ‘zeegaten’ en ‘bodemdaling’. De vraagstelling rond het kustfundament heeft betrekking op de definitie en de ruimtelijke afbakening van kustfundament. Het belangrijkste aandachtspunt is daarbij de ligging van de zeewaartse grens (die nu ligt op de doorgetrokken NAP -20 m lijn).

Geschiedenis zeewaartse grens

Beleidscontext waarbinnen de grens tussen vooroever en Noordzeebodem voor het eerst is vastgelegd was het zandwinbeleid voor de Noordzee. In eerste instantie in Mer zandwinning 1989/1990, waarbij op basis van verschillende functies (kustverdediging, ecologie) keuze is gemaakt voor fysieke NAP -20 als grens zandwinning. Daarna rond 1998 Beleidsplan Voordelta, waarin versimpelende NAP -20 m lijn, vanwege het verspringen van deze lijn door de zeelandbanken. Hiermee is de aanzet gegeven voor de doorgaande NAP -20m lijn.

Het argument voor de grens zit in de vorm van het kustprofiel: ‘knik’ van 1:100 naar 1:1000. Deze ‘knik’ ligt grosso modo in Delta en Wadden op NAP -20. Bij Hollandse kust ligt het wat dichterbij de kust (ca. NAP – 16). Ook daar is vanuit ecologische waarden en beperkt inzicht in de functie voor de stabiliteit van de kustlijn van de diepere onderwateroever, toch voor doorgaande – 20 m lijn gekozen. Vanuit zandwinning is deze doorgetrokken NAP -20 m de grens waarvan landwaarts NAP -20 geen zandwinning mag plaatsvinden.

Na de definitie voor de zandwinning is deze grens ook gaan fungeren als de zeewaartse grens van het kustfundament (in 4e Nota Waterhuishouding (en daarna nota ruimte) definitie van Kustfundament).

Eigenlijk is sprake van twee grenzen/ lijnen, die samenvallen: de landwaartse grens van het gebied waar zandwinning mag plaatsvinden en de zeewaartse grens van het kustfundament.

De grens vanuit het zandwinbeleid heeft als beleidsdoel onder andere om de invloed van zandwinning op het kustprofiel (met de daarbij behorende functies) te beperken.

De grens vanuit het kustfundament markeert het gebied dat vanuit het kustbeleid zou moeten meegroeien met de stijgende zeespiegel voor het behoud van de functies van de kust.

Kennis vanuit de programma’s voor kustbeheer en –beleid (Kustgenese en Kusst2000/5)

Vanuit Kustgenese 1 (en daarna Kust2000 en Kust2005) ook aandacht voor zandwinning hoger in het kustprofiel en de gevolgen voor de kust en voor de diepte tot waar golfwerking plaatsvond. Ook argumenten uit de Holocene kustontwikkeling

gebruikt voor het vastpinnen van de uitwisseling van sediment tussen vooroever en noordzeebodem.

In KG1: Sedimenten met holocene schelpen komen voor tot 10 km uit de kust en vanuit holocene zanden is de kust gevormd. Dit willen we in stand houden. Dit was argument om de sluitdiepte (closure depth) ver zeewaarts te leggen. Voor Delta en Wadden vrij snel op NAP -20m, voor Hollandse kust dichterbij. Het geologisch inzicht over het jhanteren van dit criterium is daarna overigens nog wel veranderd.

In KG1 en K2005 zijn ook de eerste berekeningen naar de invloed van golven gedaan, die met traditionele formules (Hallermeier) uitkwamen op ca. NAP -10m als invloedszone. In dit kader is ook het werk van Claire Hinton (Kust2000) naar de depth of closure op basis van de doorloedingen relevant.

In kader van KG1 en K2005 is ook gekeken naar wat 'versteiling' van het kustprofiel is genoemd. Deze term heeft een dramatische ondertoon, omdat nog steeds sprake is van heel flauwe hellingen. 'Iets minder steil' of 'minder flauw' dekt de lading beter.

Alternatieve benaderingen voor een definitie van de zeewaartse grens.

De afgelopen jaren is gekeken naar andere definities voor de zeewaartse begrenzing, bijvoorbeeld op basis van de (dominante) fysische herverdelings processen, al dan of niet voorzien van en tijdschaal/frequentie van optreden. Meetbare veranderingen treden op in de

zeereep, brandingszone en ondiepe vooroever. De tijdschalen waarop verandering plaatsvindt zijn langer/de omvang van de verandering op de diepe onderwateroever zijn kleiner en vallen daarmee buiten het bereik dat meetbaar is met de technieken die inde ondiep kustzone worden ingezet.

Belangrijke vraag is of we voldoende kennis van het systeem hebben om zo'n overstap naar een andersoortige definitie te maken. Weten we daar genoeg voor om dit te doen? Bv dat je bij 1/100 of 1/200 event verlies naar dieper water accepteert. En spelen andere functies, zoals de ecologische betekenis van de vooroever daar nog een rol bij? En vanuit het beleid en beheer blijft een duidelijke streep op de kaart gewenst, die niet snel hoeft te worden aangepast, zodat het uitvoerbaar en werkbaar is.

Wat weten we:

Het zou een goede start zijn voor een vervolgdiscussie als een overzicht beschikbaar is van de basiskennis:

- Waterbeweging (inclusief windgedreven en dichtheidsgedreven stromingen) en golven
- Sedimenttransport uit metingen
- Sedimenttransport en condities afgeleid uit de producten (boxcores en kernen)
- De frequentieverdeling van de verschillende condities
- Korrelgrootteverdelingen van de vooroever
- Morfologie van de vooroever
- Slib in de het water en in het sediment van de vooroever
- De rol van organismen in het sediment en het water (en wanneer dit wel of geen rol speelt).

Informatiebronnen hiervoor zijn de verschillende kustlijninzorg onderzoeken, het Sandpit werk en verschillende 'klassiekers'. Numerieke modelonderzoeken uit 1990 leverden steeds kustwaartse transporten op over de -20 voor 4 raaien Hollandse kust. 10 m³/m/s was destijds de bovengrens. Misschien dat het nu met verbeterde reken capaciteit gebiedsdekkend kan. Verliezen tgv langtransport bleken toen veel groter te zijn. En uit de berekeningen bleek het belang van windgedreven en dichtheidsgedreven stroming is een belangrijke factor op dieper water.

Discussiepunten/kennisleemtes:

- Werkt de uitwisseling van sediment van de Noordzeebodem naar de vooroever op dezelfde wijze bij de buitendelta's ?
- Hoe om te gaan met de compartimenten van de kust/uitwisseling in dwarsrichting.
- Als je de zeevaartse grens goed hebt vastgelegd, heb je dan ook de garantie dat het kustprofiel meegroeit met de stijgende zeespiegel, doordat het sediment 'netjes' over het kustprofiel wordt verdeeld.

Opmerkingen bij de aanpak kennisontwikkeling

Meettechnieken zijn verbeterd: waarschijnlijk valt met de nieuwe –hoge resolutie- bodemopnamen nog veel te leren, onder andere over de verandering in bodemvormen? Daar is inmiddels ook veel van bekend. Een windkracht 7 storm verandert de bodemvormen snel ook op NAP -15 – NAP 18m naar Hummocky Cross Stratification. Dit herstelt zich overigens ook weer binnen enkele weken tot het oorspronkelijke regelmatige megaribbel patroon.

Informatie (metingen) over zandwinputten (MV2, Riacon) geven in potentie veel informatie over de sedimenttransporten op dieper water. Daarbij moet wel worden gecontroleerd wat de sedimentsamenstelling van de opvulling is

Bij de burens kijken kan heel zinvol zijn, omdat in Duitsland en België veel onderzoek wordt uitgevoerd op Noordzee en vooroever.

Het modelinstrumentarium is verder ontwikkeld en biedt nieuwe mogelijkheden om a lá KG1 transporten te berekenen.

Op basis bodemligginggegevens (Jarkus, doorlodingen en vaklodingen) nog eens kijken naar de geometrie van het kustprofiel en de actieve zones en 'grootschalige enveloppen' vaststellen, conform het werk van Claire Hinton (1998).

Hoe verder?

- De komende maanden worden gebruikt om vast te stellen welke onderzoeken uitgevoerd moeten worden. Dat betekent:
- Overzicht maken van de beschikbare kennis.
- Onderzoeksvragen in beeld brengen.
- Duidelijk krijgen wat voor type antwoorden worden verwacht: kleine stapsgewijze toename inzicht of een flinke stap voorwaarts en met welke onzekerheden
- Onderzoeksaanpak scherp krijgen: Wat zijn onze opties? Rekenen, analyseren, meten?
- Waar liggen inhoudelijk de prioriteiten onze prioriteiten?
- Maak keuze wat te onderzoeken, ook in licht van beleidsbeslissing rond (nieuwe/aangepaste) definitie KF.

Beging juni volgende discussiebijeenkomst om de bovenstaande stappen (deels) te doorlopen.

BIJLAGE B VERSLAG BIJEENKOMST 2.

Concept verslag tweede discussiebijeenkomst Zeewaartse begrenzing KF, 21-6-2016

Deelnemerslijst

Harry de Looff (RWS)
Jelmer Cleveringa (Arcadis)
Ad van der Spek (Deltares)
Ad Stolk (RWS)
Jebbe van der Werf (Deltares)
Claire van Oeveren (Deltares)
Van te voren is gesproken met Leo van Rijn

Inleiding

Op 28 april 2016 is er een eerste discussiebijeenkomst georganiseerd over de zeewaartse begrenzing van het kustfundament. Deze tweede bijeenkomst is een vervolg, dat specifiek gericht is op het scherp krijgen van de mogelijke, gewenste en noodzakelijke onderzoeksinspanningen ter voorbereiding van de beleidsbeslissing zand in 2020. In het programma Kustgenese 2 wordt een aantal onderwerpen onderzocht die betrekking hebben op de onderbouwing van het kustbeleid en – beheer. Een van deze onderwerpen is het ‘kustfundament’, de andere onderwerpen zijn ‘zeegaten’ en ‘bodemdaling’.

De vraagstelling rond het kustfundament heeft betrekking op de definitie en de ruimtelijke afbakening van kustfundament. Het belangrijkste aandachtspunt is daarbij de ligging van de zeewaartse grens (die nu ligt op de doorgetrokken NAP -20 m lijn).

Input voor deze bijeenkomst bestaat uit het conceptdocument “Vraagspecificatie Zeewaartse grens kustfundament” en het verslag van de voorgaande bijeenkomst.

Terugblik op de eerste bijeenkomst

Het belang van het herkennen van twee grenzen die samenvallen op de NAP -20m lijn wordt nog een benadrukt:

- Landwaartse grens voor zandwinning
- Zeewaartse grens voor het kustfundament

Dat betekent dat het aanpassen van een grens niet noodzakelijkerwijs betekent dat de andere grens ook aangepast moet worden (niet uitgesproken, want logisch is dat de grens van het kustfundament niet zeewaarts van de grens voor het zandwinnen dient te liggen).

Het belangrijkste criterium voor het vaststellen van de grenzen op de NAP -20 m is geometrie van het kustprofiel (de overgang van de flauwe helling van de vooroever naar de vlakkere Noordzee bodem. Hierbij is een ruime bandbreedte geconstateerd. Een locatie specifieke onderbouwing van het ‘waarom’ van deze vorm van het kustprofiel is niet (?) gevonden. Er zijn wel verwijzingen naar meer generieke beschrijvingen en verklaringen voor de vorm van kustprofielen.

De rol van het kustfundament voor de functies van de kust

De doorgetrokken NAP -20 m lijn is gekozen van het voorzorgsprincipe: deze grens biedt in ieder geval voldoende zekerheid dat de functies van de kust behouden blijven. Meer kennis biedt mogelijk ruimte voor het definiëren van een andere grens, met tenminste dezelfde zekerheden ten aanzien van functiebehoud.

Van uit het zandwinperspectief is nagedacht over 'wat er mis gaat' als zandwinning hoger in het profiel, dat wil zeggen landwaarts en zeewaarts⁶ van de NAP -20 m lijn plaatsvindt. Hieraan zijn (o.a. door Jebbe van der Werf) modelsimulaties uitgevoerd. De uitkomst hiervan is dat de gevolgen voor de kustzone redelijk beperkt zijn, 12 m verdieping in de vorm van "zandgoot" buiten de -20 m gaf b.v. 10% toename golfhoogte in kustzone. Vergelijkbare conclusies zijn getrokken bij studies naar de gevolgen voor (extreme) zandwinning op de Zeeuwse banken⁷. Omgekeerde scenario's ('gaat het goed als je het kustfundament aanvult ') zijn niet op zo'n manier uitgevoerd.

Het is en blijft belangrijk om de doelstelling van het onderhoud van het kustfundament te blijven beschouwen: "Wat moet worden gedaan om de functies die de kust vervult in stand te houden"? Dat betekent bijvoorbeeld dat bij het beschouwen van scenario's, zoals met zandwinning landwaarts van de NAP -20 m lijn, de gevolgen worden gekoppeld aan de functies van de kust. Dat geldt ook voor het beantwoorden van de vraag: "welk deel van het kustprofiel moet mee groeien met de stijgende zeespiegel voor het behoud van de functies. "

De beantwoording van deze vragen kan eigenlijk niet los worden gezien van meer operationele vragen over de wijze waarop het onderhoud van het kustfundament plaatsvindt/plaats zou moeten vinden. Operationele vragen daarbij is: "Hoe moet je het meegroeien vormgeven?" en meer specifiek: "Is het voldoende om het bovenste deel van het kustprofiel aan te vullen en –een keer in de zoveel tijd- de natuurlijke processen de herverdeling over het profiel te laten verzorgen?". En wat is dan 'een keer in de zo veel tijd', inclusief de vraag hoe vaak er een storm mag optreden die een netto transport van de kust naar dieper water op gang kan brengen en de vraag of het zand dan terug komt in het ondiep kustprofiel.

De bovenstaande vragen en de beantwoording er van zijn niet direct (of indirect) te koppelen aan *volumebehoud* en *zandverliezen*. De verdeling van het volume over het profiel is tenminste zo belangrijk.

Operationele kennis ten dienste van het beheer

Opgemerkt wordt dat de grens is getrokken in 1990 en dat de 26 jaar daarna niet alleen veel systeemkennis heeft opgeleverd, maar ook veel praktische operationele kennis. Aan de oorspronkelijke werkwijze (zandsuppleties op het strand) voor het aanvullen van de zandvoorraad zijn werkwijzen toegevoegd voor het grootschalig aanvullen van de zandvoorraad (onderwatersuppleties, geulwandsuppleties, zandmotor, kustversterkingen,...). De toegenomen operationele kennis biedt zicht op alternatieve beheersscenario's, gericht op het repareren van incident gestuurde grootschalige achteruitgang van de kust (voor alle duidelijkheid, in aanvulling op de MKL-BKL systematiek, t.a.v. van de zandvoorraad in een grotere rekenschijf). De gewenste zekerheid kan ook worden geborgd via deze route. Het in de jaren '90 gehanteerde kader voor tijdelijke zandwinputten op de ondiepe vooroever (o.a. bij de 'punaise-proef' te Heemskerk) geeft een idee over de criteria in termen van tijd en volume, die gehanteerd kunnen worden over het toestaan van tijdelijke achteruitgangen van de zandvoorraad.

Er zijn meerdere opties om op een veilige manier om te gaan met de kust. Het oorspronkelijke gedachtengoed bij het beleid rond het kustfundament laat zich samenvatten als: 'met een overmaat aan zand zit je altijd goed '. Mogelijk zijn de risico's niet zo groot als eerder verondersteld en zijn de functies van de kust ook te handhaven met minder zand.

⁶ Van der Werf, J.J., Giardino, A. (2009). Effect van zeer grootschalige zandwinning langs de Nederlandse kust op de waterbeweging, zandtransporten en morfologie. Deltares rapport 1200996.

⁷ Boers M. en J.J.Jacobse, 2000. Zandwinning op de zeebanken; Effecten op golfcondities langs de kust van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden. Rapport RIKZ-OS-2000.138x.

Van zandverliezen naar stabiele kustprofielen

De suggestie wordt gedaan om onderzoek te doen naar een stabiel kustprofiel, dat past bij de ligging van de basiskustlijn. Daarbij horen tijdschalen: stabiel op een tijdschaal 1,5, 10, 25, 50 jaar / bij een 50-200 jaar storm *en scenario's voor de stijging van de*

Dat vereist:

- Goede kennis van de verschillende (maatgevende) processen per locatie, met een frequentie van optreden;
- Deelgebieden (sedimentcirculatiecellen, logische eenheden,...);
- Een 3D beeld (dus geen raai benadering maar een gebiedsmodel van een deel van Nederlandse kust), vanwege het belang van langs en dwarstransporten;
- Kennis van ingrepen en hun gevolgen (met inbegrip van de tijdschalen voor herverdelingsprocessen);
- Gevoeligheidsanalyse (op de wijze van de eerdere Van Rijn modelstudies).

Verder moet rekening worden gehouden met afwijkende (stabiele) profielen bij de aanwezigheid van (in lijn met indeling in deelgebieden):

- Shoreface-connected ridges
- Zeeland banken;
- Buitendelta's & Zeegaten.

De eerste stap van een gebiedsindeling is een grofstoffelijke onderverdeling in deelgebieden waar sprake is van een 'normaal' stabiel profiel en waar een van de bovenstaande geomorfologische eenheden een rol speelt, op basis van de geomorfologische kaart (Van Alphen). Daar zal ook duidelijk uit moeten blijken hoeveel (kilometer, %) van de vooroever onder welke categorie valt.

Stap 1 zandsysteem kust 2.0 en & Atlas vooroever

De suggestie om de aandacht te verleggen van 'transporten' naar stabiliteit van de vooroever (met inbegrip van de notie dat stabiliteit/morfodynamiek bestaat bij de gratie van transporten) geeft aanleiding om als eerste stap in het onderzoek een update te maken van het Technische rapport 1 "zandsysteem kust". Hierin kunnen al een aantal van de bovenstaande analyses worden uitgevoerd en vragen worden beantwoord. Hiermee wordt de basis gelegd voor verdere onderzoeksvragen en de beantwoording daarvan.

De behoefte om de basiskennis van de vooroever te vergroten wordt breed gevoeld. Het gaat om het gebied aan de zeezijde van de brekerbanken tot ruwweg de NAP -20 m dieptelijn. In vergelijking met de gegevens die uit de diepere delen van de Noordzee en van de brekerbanken bekend zijn, is het aantal waarnemingen in dit "Terra Incognita" beperkt.

De behoefte aan basiskennis omvat:

- Gedetailleerde bodemkaarten (op basis van hoge resolutie multibeam ladingen, met voldoende overlap parallel aan de kustlijn gevaren), die zicht geven op de aan- dan wel afwezigheid van bodemstructuren (ribbels, sporen van doorgraving, sporen van visserij,...). Het liefst van verschillende momenten, voor en na stormcondities (mogelijk op de wijze waarop de *Quick Reaction Force* is georganiseerd).
- Kennis van de sedimentaire structuren, bodemopbouw en korrelgrootteverdelingen op basis van boxcores (tot ongeveer de bovenste 30 cm van de zeebodem) en vibrocores (afhankelijk van het type vibrocorer tot maximaal 6 m in de zeebodem).

Mogelijk biedt het monitoringprogramma rond de suppletie Callantssoog, die op dieper water dan reguliere onderwatersuppleties wordt uitgevoerd, aanknopingspunten voor het uitbreiden van de basiskennis.

De uitwerking van een aantal multibeam metingen die zijn uitgevoerd door de Marine en plaatsvinden binnen KPP BenO Kust geven dit jaar inzicht in variatie in de bodemligging op de Noordzeebodem, met een stukje vooroever. Voor verdere samenwerking met de Hydrografische Dienst heeft Ad Stolk bruikbare contacten.

Stap 2. Metingen op de vooroever, modellen, pilots en analyse

Een verdere invulling van de noodzakelijke/gewenste onderzoeksinspanning kan plaatsvinden na een eerste ronde met een goede kwalitatieve / theoretische analyse. Hierbij zal ook duidelijk worden welk onderzoek noodzakelijk is om zekerheden te geven die nodig zijn voor het nemen van beleidsbeslissingen en welk onderzoek gewenst is om het systeembegrip te vergroten.

Pilots: Verschillende grootschalige ingrepen (zandmotor, duincompensatie, versterking HPZ) zijn dermate omvangrijk dat deze waarschijnlijk gevolgen hebben (gehad) die zich uitstrekken tot op de dieper vooroever. Analyse van de gegevens rond deze projecten (voor zover deze het diepere bereik omvatten) kan mogelijk al inzicht geven in de stabiliteit van de kustprofielen, de herverdelingsprocessen voor sediment en de omstandigheden waaronder deze een rol spelen. Mogelijk wordt een deel van dit type analyses al uitgevoerd, bijvoorbeeld als onderdeel van het NEMO project: navragen is aanbevolen.

Modellen: De modelontwikkeling heeft niet stilgestaan en daarom is het zeker zinvol om in aanvulling op eerder werk nieuwe berekeningen uit te voeren. Hierbij is veel aandacht nodig voor de wijze van schematisatie (lessons learned uit Sandpit), de keuze voor 1D,2D dan wel 3D berekeningen, de ruimtelijke resolutie en de verschillende condities. Voor een goede beoordeling van de kwaliteit van de modellen zijn meetgegevens noodzakelijk. Het aantal metingen dat beschikbaar is van de vooroever is beperkt (na het Sandpit project is mogelijk nuttige informatie verzameld in Megapex en ROFI projecten. Aanvullende metingen met meetframes op diep water om snelheden, concentraties, transporten (wellicht) en beddingvormen te meten zijn zeer welkom. Een type metingen dat in het geheel niet beschikbaar is, is metingen aan de erosiebestendigheid van de zeebodem. In situ metingen daaraan (bijvoorbeeld met een stroomgoot die op de zeebodem wordt geplaatst), of semi-in-situ metingen, met een kleine stroomgoot aan boord van een schip kan veel gewenst inzicht opleveren dat direct toepasbaar is bij modelsimulaties

Onderwerpen die (altijd) aandacht vragen zijn:

- Golf-stroominteractie (lopend PhD onderzoek bij Unesco IHE, waarbij bevindingen worden geïmplementeerd in de Delft 3D);
- Zandtransportprocessen, met name golfgedreven
- Vermogen model om stabiel kustprofiel te simuleren
- Interactie bodemvormen en KF
- Invloed van deining, lange golven, infragravity waves.

Laboratiummetingen zijn in potentie bruikbaar als aanvulling op metingen op de vooroever. In eerste instantie zou een inventarisatie kunnen gemaakt worden van bestaande metingen (b.v. de Lip metingen in de Deltagoot) en hierop voortbouwend de mogelijkheid om lab metingen in te zetten t.b.v. het onderzoeken van profielstabiliteit en zandtransporten op dieper water.

Een deel van de onderzoeksvragen waarop de bovenstaande inspanningen antwoord op geeft, heeft geen directe betrekking op het kustbeleid en –beheer van het kustfundament. Wel zullen antwoorden op deze vragen op termijn bijdragen aan een beter systeembegrip van de vooroever en dan wel belangrijk zijn voor het kustbeleid en –beheer. Het verdient de overweging om hiervoor op vergelijkbare wijze als rond de zeegaten in te zetten op één of meerdere onderzoeksprogramma die door Universiteiten worden uitgevoerd en waarbij cofinanciering door Rijkswaterstaat plaatsvindt. Naast de contacten met de UU (Maarten Kleinhans, Gerben Reussink) zullen hiervoor de TUD (Ad Renierse, Stefan Aarninkhof) en UT (Pieter Roos, Suzanne Hulscher)worden gesproken.

Samenwerkingsmodel

Door de ervaringsdeskundigen met Kustgenese 1 werd de samenwerkingsvorm voor dat project geroemd: de mix van ervaren en jonge onderzoekers die in drie werkgroepen opereerden hebben en veel inzicht opgeleverd en geleidt tot een nuttige overdacht van kennis en inzichten. Een van de randvoorwaarden bij deelname was dat voor de deelname aan de werkgroepen niet apart werd betaald, mensen kwamen om wat te leren en bij te dragen. De suggestie om ook bij KG2 met werkgroepen of kenniscommunities te werken wordt door alle aanwezigen ondersteund.

Hoe verder?

De maanden wordt het rapport 'kennisvraagspecificatie' afgerond. Op- en aanmerkingen zijn van harte welkom.

Met een aantal deskundigen zal nog apart contact worden opgenomen, dat zijn in iedere geval Maarten Kleinhans, Jan Mulder en Quirijn Lodder. Verder zal contact worden gezocht met de TUD en UT.

Daarna zal de verdere invulling en uitvoering van het Kustgenese 2 werk worden opgepakt door Deltares.