

Opdrachtgevers:  
Rijkswaterstaat WaterINNOvatiebron, Port Delta Research Centre

# DE RIJKE DIJK

## Ontwerp en benutting van harde infrastructuur in de getijzone voor ecologische en recreatieve waarden

Eindrapport Haalbaarheidsstudie, December 2006

Rapport

februari 2007

Opdrachtgevers:

**DE RIJKE DIJK**  
**DE RIJKE DIJK**  
Ontwerp en benutting van harde  
infrastructuur in de getijzone voor

Eindrapport Haalbaarheidsstudie, December 2006

M. Baptist (TUD), J. van der Meer (INFRAM),  
M. de Vries (WL|Delft Hydraulics)

Rapport

februari 2007

## Voorwoord

Voor u ligt het resultaat van een intensieve en buitengewone samenwerking. Intensief, omdat door de groep betrokken experts uit zowel de waterbouwkundige als de biologische wereld is geprobeerd om elkaars taal te leren begrijpen en om een werkelijk gezamenlijk resultaat te produceren. De volgens ons bereikte synergie kon niet anders dan ontstaan uit een buitengewone samenwerking, die erg versterkt is door de hartelijke en intensieve medewerking van Havenbedrijf Rotterdam, Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland en Directie Zeeland. Tijdens een aantal veld-excursies zijn de biologen en waterbouwkundigen erin geslaagd om elkaar te verbazen en elkaars kennis te delen. Op deze plek past dan ook een woord van dank voor Cees Joosse, Peter Paalvast en Lodewijk Nijse die ons buitengewoon deskundig en in groot detail met de Zeeuwse en Rotterdamse wateren hebben laten kennismaken.

Dit project is mogelijk geworden door financiering vanuit het WINN-platform (WaterINNOvatiebron) en het Port Research Centre Rotterdam – Delft.

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Introductie .....</b>	<b>1—1</b>
1.1	Achtergrond .....	1—1
1.2	Recreatief medegebruik .....	1—2
1.3	Relatie met beheer en beleid .....	1—2
1.4	De Rijke Dijk .....	1—3
<b>2</b>	<b>Analyse van bestaande ecologische kennis .....</b>	<b>2—1</b>
2.1	Introductie .....	2—1
2.2	Belangrijkste milieugradiënten .....	2—1
2.2.1	De verticale gradiënt .....	2—2
2.2.2	De golfexpositiegradiënt .....	2—3
2.2.3	De stroomsnelheidsgradiënt .....	2—6
2.2.4	De groottegradiënt .....	2—7
2.2.5	De saliniteitsgradiënt .....	2—10
2.3	Materiaal eigenschappen .....	2—10
2.3.1	De ruwheid .....	2—11
2.3.2	De plaatsing .....	2—11
2.3.3	Het watervasthoudende vermogen .....	2—11
2.3.4	De hardheid .....	2—12
2.3.5	De kleur .....	2—12
2.3.6	De grootte .....	2—12
2.3.7	De chemische samenstelling .....	2—12
2.3.8	Conclusies ten aanzien van materiaalkeuze .....	2—13
2.4	Karakteristieke soortengemeenschappen .....	2—13
2.5	Ecotopen systematiek .....	2—14
2.5.1	Belangrijke definities .....	2—14
2.5.2	Omgevingsfactoren .....	2—14
2.5.3	Andere systematieken .....	2—18
<b>3</b>	<b>Analyse van bestaande ontwerpknis .....</b>	<b>3—1</b>
3.1	Introductie .....	3—1
3.2	Civieltechnisch ontwerp van dijken en waterkeringen .....	3—1
3.2.1	Ontwerpregels .....	3—7
3.2.2	Conclusies .....	3—7

3.3	Relevante voorafgaande toepassingen .....	3—8
3.3.1	Dijktuin proeven Oosterschelde.....	3—8
3.3.2	Proef met kunstmatige getijdenpoelen Paalvast en HbR .....	3—8
3.3.3	Eiland in zee .....	3—9
3.3.4	Toepassingen buiten Nederland.....	3—11
<b>4</b>	<b>Ontwerpen van Rijke Dijken .....</b>	<b>4—1</b>
4.1	Resultaat ontwerp 1, Geëxponeerde dijk op diep water.....	4—1
4.1.1	Hoofdpijnen van het ontwerp: .....	4—2
4.1.2	Schetsen .....	4—4
4.2	Resultaat ontwerp 2, Beschutte dijk op diep water.....	4—5
4.2.1	Hoofdpijnen van het ontwerp .....	4—6
4.2.2	Schetsen Ontwerp 2 .....	4—7
4.3	Resultaat ontwerp 3, Beschutte dijk op ondiep water.....	4—10
4.3.1	Hoofdpijnen van het ontwerp omvatten: .....	4—10
4.3.2	Schetsen Ontwerp 3 .....	4—12
4.4	Richtlijnen voor ontwerp en monitoring.....	4—14
4.4.1	Monitoring .....	4—17
4.5	Identificatie van kennislacunes.....	4—17
<b>5</b>	<b>Inventarisatie van kosten en baten.....</b>	<b>5—1</b>
5.1	Kosten .....	5—1
5.2	Baten.....	5—3
5.3	Risico's .....	5—5
5.4	Bruikbaarheid Keuzemodel Kust- en Oeverwerken .....	5—5
<b>6</b>	<b>Inventarisatie van kansrijke locaties.....</b>	<b>6—1</b>
6.1	Potentiële locaties geïdentificeerd door Havenbedrijf Rotterdam .....	6—1
6.2	Locaties geïdentificeerd door Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland ....	6—3
<b>7</b>	<b>Toetsing aan beheer en beleid .....</b>	<b>7—1</b>
7.1	Inleiding.....	7—1
7.2	Europese en nationale wetgeving .....	7—1
7.2.1	Natuurbeschermingswet 1998 .....	7—1
7.2.2	Flora- en faunawet 2002 .....	7—2
7.2.3	Habitatrichtlijn.....	7—3
7.2.4	Vogelrichtlijn .....	7—5
7.2.5	De Europese Kaderrichtlijn Water .....	7—6

	7.2.6	Consequenties van (inter)nationaal beleid voor de haven- of dijkbeheerder .....	7—7
	7.3	Inzet van Rijke Dijken als tijdelijke natuur .....	7—11
	7.4	Vrijstellingen soortenbescherming .....	7—13
<b>8</b>	<b>Referenties</b> .....		<b>8—1</b>
<b>A</b>	<b>Soorten die voorkomen op hard substraat in Nederland</b> .....		<b>A—1</b>
	A.1	Hard substraat oevertypen volgens Meijer & Waardenburg (2002) .....	A—3
	A.2	DELOS studie .....	A—5
	A.2.1	Broad-scale – geographic variation .....	A—5
	A.2.2	Mesoscale – within coastline .....	A—5
		Coastal geology, geomorphology and topography.....	A—6
	A.2.3	Local scale - major abiotic factors and processes.....	A—7
	A.2.4	Local scale - Biological interactions and behaviour .....	A—8
	A.2.5	Micro scale - Complexity .....	A—8
	A.3	BIOMAR classificatie.....	A—9
	A.4	Rapporten Bureau Waardenburg .....	A—13

## Samenvatting

### **Ontwerp en benutting van harde infrastructuur in de getijzone voor ecologische en recreatieve waarden**

De studie is mogelijk gemaakt met de steun van WINN en het Port Research Centre Rotterdam – Delft. Naar aanleiding van de uitkomsten van deze studie wordt bezien of in een volgende fase een praktijkproef in de haven of elders langs de kustzone kan worden gerealiseerd.

#### **Wat is een Rijke Dijk?**

Het klinkt misschien vreemd, maar Nederland heeft in de afgelopen 150 jaar een rotsachtige kust gekregen. Alle dijken langs de zee kust en de estuaria, en de kades en glooiingen in havengebieden hebben in de getijzone een harde constructie met zogenoemde harde substraat. Bijvoorbeeld een teenconstructie of kreukelberm van stortsteen, een benedentalud van natuurlijke of kunstmatige steenbekleding, of verticale betonnen constructies of blokken. Op deze specifieke “rocky shores” hebben zich in de loop van de tijd ecologisch interessante soortengemeenschappen ontwikkeld. Te denken valt bijvoorbeeld aan wieren, korstmossen, alikruiken, zeepokken, oesters, mosselen en zee-anemonen.

In de laatste twintig jaar is redelijk veel onderzoek uitgevoerd naar het leven op harde substraten. Inmiddels is er veel kennis aanwezig die de relatie beschrijft tussen abiotische omgevingscondities (stroming, golven, doorzicht), vorm, structuur, materiaal en de te verwachten ecologische, economische of recreatieve functies van een harde structuur in kustwater. Echter, er wordt nog erg weinig geoptimaliseerd op deze functies bij het verbeteren, onderhouden of aanleg van dijken, laat staan dat echt ontworpen wordt op ecologische functies. Bij ontwerpen staat nog altijd de veiligheid tegen overstromen centraal, of onderhoud volgens gangbare en traditionele principes, zonder direct oog voor de biodiversiteit, recreatief medegebruik, of natuurbeheer.

De Rijke Dijk is het gezamenlijk inzetten van ecologische en civiele kennis voor het ontwerpen van ecologisch diverse zeeeringen, zeedijken, havendammen, golfbrekers of pieren. Deze ontwerpen dienen economisch en planmatig inpasbaar te zijn in een bestaand of nieuw ontwerp voor kust infrastructuur. Gedacht kan worden aan constructie van een Rijke Dijk bij vervanging/onderhoud van bestaande harde infrastructuur of bij nieuw aan te leggen infrastructuur. Mogelijk levert dit initiatief kansen op voor compensatie van verloren natuurwaarden ter plekke van een beoogde ingreep. Mogelijk worden natuurlijke functies versterkt.

De Rijke Dijk concentreert zich voorlopig op constructies in zout of brak water en dan alleen nog in of onder de getijzone (sublittoraal en eulittoraal). Dit betekent dat het boventalud van een dijk en de kruin en binnentalud geen onderwerp voor deze studie zijn. Het uiteindelijke doel van dit project is om een Rijke Dijk pilot-proef te realiseren. Dit rapport omvat de resultaten van de daartoe uitgevoerde haalbaarheidsstudie.

### Welke ecologische kennis hebben we?

Vijf belangrijke milieugradiënten zijn verantwoordelijk voor een variëteit in kusttypen variërend van harde substraten tot zandige kusten en slikken. Dit zijn:

#### *De verticale gradiënt (getij+golven)*

De maximale getijslag langs de Nederlandse kust varieert van ruim 4 meter achter in de Westerschelde tot ongeveer 1,5 meter bij Hoek van Holland, om daarna naar het noorden toe weer toe te nemen tot zo'n 3 meter bij Nieuw Statenzijl. De verticale gradiënt is, samen met de troebelheid van het water, bepalend voor het onderwater lichtklimaat. Dit is van belang omdat hiermee de ondergrens van de zone waarin wieren en algen kunnen groeien wordt bepaald.

- *De golfexpositiegradiënt (geëxponeerd – beschermt)* Golfexpositie vertoont een gradiënt gaande van de geëxponeerde dijken direct aan de kust naar de beschutte locaties in estuaria en havengebieden. Golfwerking is sterk bepalend voor het voorkomen van soortengemeenschappen zowel in zacht als op hard substraat in het subtidaal en intergetijd gebied. Plaatsen met de hoogste expositie aan golven, bijvoorbeeld de dijk bij Westkapelle en het gebied rond de Blokkendam op de Maasvlakte vertonen een zeer karakteristiek beeld. Over het algemeen komen er weinig wieren voor en wordt het substraat bevolkt door de zeepok en schelpdieren zoals de schaalhoorn, alikruik en oester. Op meer beschutte plekken komen paarde-anemonen, mossels en bruin- en groenwieren voor.
- *De stroomsnelheidsgradiënt (stromend – stagnant)* De stroomsnelheid langs een dijk of zeekering is vooral afhankelijk van de getijdestromingen. Stroming van water is mede bepalend voor de aanvoer van voedsel. Het beïnvloedt ook de vestiging van soorten en het vermogen om te blijven zitten.
- *De korrelgroottegradiënt (grof – fijn)* De grootte van het substraat is bepalend voor de soorten die zulk substraat kunnen benutten als habitat. Met name soorten die afhankelijk zijn van beschikbare holtes of stabiliteit van het substraat (altijd dezelfde oriëntatie en locatie) zijn hiervoor gevoelig. De dijkbekleding is uit vele soorten materiaal opgebouwd met zeer verschillende groottes van substraat en daartussen liggende holtes in de vorm van spleten en kieren.
- *De saliniteitsgradiënt (zout – brak)* In estuaria is de variabele saliniteit sterk bepalend voor het voorkomen van soorten in de lengterichting van het systeem. In delen waar de saliniteit sterk varieert, door bijvoorbeeld invloed van de rivierafvoer is het aantal soorten gering. Gaande van zoute naar zoete systemen verdwijnen met name de bruinwieren van het substraat om te worden vervangen door groenwieren. In de Nieuwe Waterweg zijn de overgangen tussen zout en zoet over een korte afstand (ongeveer 30km) goed waar te nemen.
- Wat betreft materiaaleigenschappen zijn de ruwheid, de plaatsing, het watervasthoudend vermogen, de hardheid, de kleur, de grootte en de chemische samenstelling van belang. Ruwe oppervlakken zijn goed voor aanhechting en het kunnen vasthouden van water tijdens laag water (porositeit) ook. Dit betekent dat gladde ondoorlatende materialen als



asfalt en basalt vanuit ecologisch gezichtspunt *niet* moeten worden gebruikt. Juist ruwe en poreuze steen is geschikt, in een brede sortering.

- In de civieltechnische wereld wordt “goede” kwaliteit steen voorgeschreven, conform NEN-EN 13383. Dit betekent een harde, slijtvaste steen die weinig water absorbeert. Vanuit de ecologische hoek zou juist zachte, poreuze steen goed zijn. De twee werelden zouden elkaar kunnen vinden in een overdimensionering qua grootte van de steen, maar met de gewenste zachte en poreuze steenkwaliteit. Om het nadeel van breuk en slijtage te ondervangen, zou dan mogelijk een grotere steensortering gekozen kunnen worden (overdimensionering). Bijvoorbeeld in plaats van een sortering 60-300 kg ‘goede’ kwaliteit breuksteen zou dan gekozen kunnen worden voor een sortering 300-1000 kg zachte en poreuze steen. Het normblad voor waterbouwsteen biedt hiertoe mogelijkheden, maar die moeten dan wel expliciet aangegeven worden.

De invloed van de genoemde milieugradiënten manifesteert zich in een zonerings van planten en dieren met de diepte waarbij de volgende zones (van hoog naar laag) kunnen worden onderscheiden:

*Supralittoraal (boven de getijzone)*

zwarte blauwwieren, korstmossen en alikruik

*Eulittoraal (in de getijzone)*

gewone Zeepok, ruwe Alikruik, kleine groenwieren (bv. Klein Darmwier), kleine bruinwieren (bv. Groefwier, Kleine Zee-eik), grote bruinwieren (bv. Knotswier, Blaaswier, Gezaagde Zee-eik), Gewone Alikruik, Stompe Alikruik en struikvormige roodwieren, bovengrens van voorkomen van filtrerende schelpdieren zoals oester en mossel.

*Sublittoraal (beneden de getijzone)*

Suikerwier en Viltwier, filtrerende schelpdieren, zee-anemonen, zeesterren, zee-anjelier en sponzen.

De ecologische kennis wordt verder in hoofdstuk 2 van het rapport behandeld met vele voorbeelden die op foto zijn vastgelegd.

**Is er ruimte binnen het klassieke dijkontwerp?**

Traditioneel worden dijken vooral door civieltechnici ontworpen en gemaakt. In die zin is een Rijke Dijk niet zomaar ontworpen. Het doel van een dijk of waterkering is het water buitendijks te houden en daarmee overstromingen voorkomen. Situaties zoals 1953 in Nederland, 1954 en 1962 in Duitsland en liefst ook 2005 in de Verenigde Staten (Katrina) moeten kosten wat het kost worden voorkomen. Veiligheid tegen overstromen bepaalt voor een groot deel hoe een waterkering eruit ziet. Ten eerste zijn het in Nederland vaak hoge constructies, want naast een stormvloed die vaak in de buurt van +5 m NAP ligt, moeten ook golven worden gekeerd. Dijken hebben vaak een hoogte die orde +10 m NAP ligt.

De voornaamste conclusie uit het civieltechnisch ontwerp naar de ecologie toe is:

*Bij het ontwerpen van dijken en zeekeringen is de hoogte belangrijk en de bekleding op het buitentalud. Het onderste gedeelte, een deel van het benedentalud en de teen, is veel minder belangrijk en dit is juist de zone*

*waar het getij en dus de ecologie een rol speelt. Vaak worden deze onderdelen traditioneel ontworpen, maar vanuit de Rijke Dijk gedachte is er heel veel vrijheid. Ecologie en veiligheid, of biologen en civielen, bijten elkaar niet. Integendeel, er is alle ruimte voor samenwerking.*

Wat betreft deze vrijheid kan worden gedacht aan:

- bredere stortsteen kreukelbermen
- toepassen van grotere, zachtere en poreuze steen
- toepassen van brede sorteringen (veel grote en kleine stenen)
- ecologisch optimale hoogte van de kreukelberm
- andere toepassingen dan stortsteen
- optimalisatie topklaag van bekledingen benedentalud naar ecologie
- optimalisatie afmetingen blokken (dwarsafmetingen) van benedentalud

In het verleden zijn er wel relevante toepassingen geweest. Te denken valt aan de Dijkuitproeven in de jaren negentig op Neeltje Jans, voorgestelde kunstmatige getijdpoelen in de Hartelhaven, studies naar een eiland in zee en buitenlandse toepassingen als kunstmatige riffen en reefballs.

De ontwerp-kennis en relevante toepassingen zijn verder in hoofdstuk 3 beschreven, met ook hier veel informatie middels foto's.

### **Hoe zien Rijke Dijken eruit?**

De beschreven sturende ecologische factoren en de samengevatte civiele en praktische kennis zijn verder uitgewerkt tot globale ontwerpen voor Rijke Dijken langs de Nederlandse kust. In dit project zijn in de vorm van een ontwerp-atelier globale ontwerpen voor Rijke Dijken gerealiseerd. De ontwerp-opdracht was gebaseerd op verschillende karakteristieke combinaties van diepte en golf-expositie:

1. Geëxponeerde dijk op diep water; bijvoorbeeld Westkappelse Zeedijk, blokkendam Maasvlakte
2. Beschutte dijk op diep water; bijvoorbeeld in de havens van Rotterdam
3. Beschutte dijk op ondiep water; bijvoorbeeld in de estuaria als Wester- en Oosterschelde en de Waddenzee.

Voor ieder van deze combinaties zijn ontwerpen gemaakt door een groep van 'civielers' en 'biologen', waarbij de ecologie voorop stond en waar in laatste instantie naar de "maakbaarheid" is gekeken. Daarbij is uitgegaan van volledig nieuwe dijkontwerpen, niet van aanpassingen aan bestaande dijken.

Bij het ontwerp van een Rijke Dijk is uitgegaan van een optimalisatie van een aantal ontwerp-aspecten:

- *Het dwarsprofiel.* Door bijvoorbeeld een zeer flauw talud in de intergetijdezone te ontwerpen is het oppervlakte intergetijdegebied fors te vergroten. Door onderbrekingen in het profiel te maken zijn getijdpoeltjes te creëren.
- *Materiaalkeuze* (kalksteen, asphalt, beton, basalt, etc.). Poreus, ruw materiaal met een goed watervasthoudend vermogen biedt de beste vestigingsmogelijkheden.

- *Steenzetting*. Door niet te netjes te zetten ontstaan holtes en spleten. Door stenen getrapt te zetten ontstaan kleine poeltjes met water.
- *Sortering* van het materiaal. Gestort materiaal met een brede sortering leidt tot een grotere diversiteit in holtegroottes.
- *3D ontwerp*. Door ontwerpen te maken in drie dimensies, kunnen natuurlijke rotskusten geïmiteerd worden en wordt de verscheidenheid aan habitats vergroot.

In hoofdstuk 4 zijn voor elk van de drie karakteristieke situaties deze ontwerpaspecten ontleed en in tabelvorm samengevat. Uiteindelijk zijn diverse schetsen gemaakt hoe deze Rijke Dijken eruit kunnen zien. Deze schetsen zijn nog steeds “ecologie-gedreven”. Bij een eventuele toepassing in een pilot project zal de civiele kennis de maakbaarheid moeten garanderen. Ook zijn puntsgewijs richtlijnen voor ontwerp en monitoring van Rijke Dijken gegeven. Tot slot zijn kennislacunes geïdentificeerd, waarbij een aantal van de belangrijkste zijn:

- Wat is de beschikbaarheid van zachte steen in juiste grootte sortering voor gebruik als stortsteen in de kreukelzone? Een nadere onderbouwing kan volgen uit informatie over materiaaleigenschappen als de verweringsgraad en het soortelijk gewicht. Als we zachte kalksteen inzetten als stortsteen in de kreukelzone, hoe duurzaam is deze steen dan ten opzichte van de normaal gebruikte steensoorten?
- Wat is een bruikbaar materiaal voor palen in palenbossen, hoe breng je ze aan, wat is het effect op de dijkstabiliteit? Wat is een goede spatiëring?
- Wat is de beste maatvoering en materiaalkeuze van verbeterde eco-zuilen of een nieuwe toplaag op bijvoorbeeld C-fix? Kunnen er grotere blokken worden ontworpen die poeltjes laten ontstaan?

#### **Wat zijn de kosten en baten?**

Op de kosten is nog niet erg diep ingegaan. Kosten betreffen natuurlijk de voorbereiding, het ontwerp, het aanbrengen, de materialen en het beheer en onderhoud. Bij een pilot-project kan dieper op de kosten worden ingegaan.

De baten van de aanleg van een Rijke Dijk moeten worden gezocht in de toename van areaal waarop de productiviteit van bekende, aan hard substraten gerelateerde, soorten is gemaximaliseerd. Dit zou betekenen dat biodiversiteit per strekkende meter niet noodzakelijkerwijs toeneemt, maar wel dat er meer biomassa in het gebied gaat voorkomen. Gebruik van meer diverse sortering van stortsteen levert meer complete habitats op, gebaseerd op een soort van ineenschuiven van habitats die nu door gebruik van vaste klassen van steensortering in de ruimte gescheiden zijn. Voor mobiele aquatische soorten zoals krabben, kreeften en vissen zal het nieuwe areaal zeker aantrekkelijk zijn voor foerageren, opgroeien en reproductie. Dit levert op zijn beurt weer een aantrekkelijke plek op voor sportvisserij.

Het Rijke Dijk areaal wordt natuurlijk benut door vogels voor foerageren (niet voor broeden, het is immers te laag op de dijk), waarbij de productiviteit en het aantal strekkende meters gezamenlijk de draagkracht voor vogels bepaald.

Tenslotte kan voor trekvis zoals zeeprik, zalm, fint en zeeforel het nieuwe areaal uitstekend worden benut als plek voor acclimatisatie aan een zouter of zoeter watersysteem. Dit geldt met name voor Rijke Dijken in havenbekkens, die een langere verblijftijd en daardoor kleinere zoutfluctuaties en gereduceerde hydrodynamiek kennen.

Introductie van nieuwe soorten (over de hele breedte van het voedselweb) door aanleg van Rijke Dijken is niet waarschijnlijk, immers alle te gebruiken substraten met bijbehorende algen- en foeragerende diersoorten komen nu ook al in het gebied voor.

De Rijke Dijken kunnen een rol vervullen in het bevorderen van de ecologische kwaliteit van een gebied, zoals voor de Europese Kaderrichtlijn Water wordt vereist. De biologische waterkwaliteit kan verbeteren door het vergroten van de diversiteit en het creëren van een ecologisch evenwichtige soortensamenstelling, terwijl de chemische waterkwaliteit mogelijk wordt verbeterd door een toegenomen filtreercapaciteit van schelpdieren en de zuurstofproductie door wieren.

Er is een poging gedaan om de nieuwe Rijke Dijk-ontwerpen met het Keuzemodel Kust- en Oeverwerken door te rekenen. Dit leidt verbazingwekkend niet tot een positief resultaat, het keuzemodel bepaald dat de ontwerpen zeer milieu-onvriendelijk zijn! De reden hiervoor is dat het keuzemodel per bekledingstype de negatieve milieubelastingsfactoren bepaald (dus uitloging, energieverbruik bij winning en transport, andere vervuiling, etc). De positieve effecten, bijvoorbeeld dat op zachte kalksteen vegetatie beter groeit, zitten er niet in. En omdat bij de ontwerpen over het algemeen meer materiaal wordt gebruikt, is de milieubelasting volgens het model dus groter. Dus Rijke Dijk ontwerpen scoren slecht op humane gezondheid en grondstoffen. En dat zijn in het model de hoofd-keuzecriteria. Het is aan te bevelen bij de LNC-waardering subjectief voor dit soort glooiingen bij natuur een hoge score in te vullen.

Hoofdstuk 5 beschrijft in meer detail de kosten en de baten van een Rijke Dijk.

### **Hoe zit het met beheer, beleid, wetten en regels?**

De Nederlandse wetgeving regelt de *soortenbescherming* in de Flora- en Faunawet en de *gebiedsbescherming* in de Natuurbeschermingswet. Beide wetten zijn *richtlijnconform* gemaakt aan de Europese Habitatrichtlijn en de Vogelrichtlijn. Bovendien bepaald de Kaderrichtlijn Water dat de (biologische en chemische) waterkwaliteit aan eisen dient te voldoen. In hoofdstuk 7 worden deze wetten en richtlijnen samengevat.

Voor wat betreft de Kaderrichtlijn Water bestaat er een notitie uit maart 2006 "Leidraad gevolgen KRW voor fysieke projecten" waarmee overheden in de periode tot 2009 kunnen beoordelen of de KRW een belemmering vormt voor een positief besluit over een project. De aanleg/verbetering van een Rijke Dijk kan in het licht van de KRW gezien worden als een herstel- en inrichtingsmaatregel bedoeld om de toestand van het water te verbeteren. Dit zal dus alleen maar aangemoedigd worden. Om daadwerkelijk effect te hebben op de ecologische en waterkwaliteit zullen vele kilometers dijk moeten worden verbeterd. Zonder nadere kwantitatieve analyse is het moeilijk aan te geven welke verbeteringen nodig zijn en welk effect deze zullen sorteren.

Een mogelijk probleem voor de beheerders van braakliggende terreinen, havens, waterbekkens, dijken- en zeeweringen is dat soms al natuurwaarde ontstaat voordat, of

ondanks dat een definitieve inrichting van het gebied is gerealiseerd. Voor kades, dijken en zeeweringen geldt dit ook in de cyclus van aanleg en geregeld onderhoud die gedurende de levensduur van de infrastructuur bestaat. In het havengebied geldt bovendien bij uitstek dat deze werken tijdelijk zijn, immers wanneer economische of technische ontwikkelingen voortschrijden, wordt de inrichting van het havengebied steeds opnieuw aangepast wat leidt tot verwijdering, aanpassing en nieuwbouw van deze werken. In dit licht kan een Rijke Dijk eigenlijk alleen maar worden beschouwd als *tijdelijke* natuur.

Een continue aanwezigheid van Rijke Dijken, hoewel niet altijd op dezelfde locatie, wordt vanzelf gerealiseerd naarmate meer klassieke dijken, zeeweringen en kades worden aangepast volgens het nieuwe concept tijdens regulier onderhoud. Dit is vergelijkbaar met de situatie die we nu ook kennen voor klassieke harde substraten. Wanneer werkzaamheden moeten worden uitgevoerd aan dijkvakken is de beste periode hiervoor, ecologisch gezien, de periode van oktober tot december. Dit verstoort de minste sessiele (vastzittende) levensgemeenschappen in de wier- en faunazone en de minste mobiele faunasoorten. In de praktijk zal dit niet altijd in die periode kunnen, omdat in het winterseizoen niet aan primaire keringen mag worden gewerkt. In havengebieden kan het natuurlijk wel in deze periode.

### **Wat zijn kansrijke locaties voor een Rijke Dijk?**

Het uiteindelijke doel van deze studie is te komen tot een of meerdere pilot projecten. Kansrijke locaties bevinden zich bijvoorbeeld in en nabij het havengebied van Rotterdam. Geschikte locaties liggen in het zoute tot brakke gebied en voldoen aan (één van) de drie milieucondities waarvoor de ontwerpen zijn gemaakt. Aansluiting bij regulier onderhoud vergroot de kans op realisatie van een ontwerp. Een goede toegankelijkheid is een randvoorwaarde. De locaties liggen bij voorkeur niet in een gebied van de Rotterdamse haven dat nog geen industriële bestemming heeft, aangezien deze gebieden ieder moment kunnen worden uitgegeven aan een klant, waarmee het karakter grondig kan wijzigen. In hoofdstuk 6 wordt een aantal locaties genoemd waar onderhoudswerk gaat plaatsvinden en die gemakkelijk toegankelijk zijn.

De Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland heeft belangstelling voor pilotstudies met de ontwerpen vanuit de kansen die de ontwerpen kunnen bieden om de kwaliteit van een watersysteem gunstig te beïnvloeden. Dit past goed in de thematiek rond invoering van de Kaderrichtlijn Water. Mogelijke locaties voor een pilot zijn een kribvak langs de Nieuwe Waterweg, de Splitsingsdam en een kribvak bij Hoek van Holland.

In de afgelopen jaren stond verbetering van de steenbekleding van de Westerscheldedijken op het programma. Bij deze verbeteringen is er steeds aandacht geweest om minimaal de bestaande ecologische waarden te handhaven. Inmiddels zijn de dijken langs de Oosterschelde aan de beurt. Hier ligt een kans voor optimalisatie en daarmee de kans voor een pilot project.

Ook meer in het noorden van Nederland staan dijkverbeteringen op het programma, zoals de dijk op Ameland. Mogelijk dat deze verbeteringen gepaard kunnen gaan met een ecologische optimalisatie.

**Tot slot**

Kansen zijn aanwezig en beheerders zijn steeds betrokken geweest bij het verloop van deze studie. De opgedane kennis en vooral de goede samenwerking tussen biologen/ecologen en civieltechnische disciplines heeft een meerwaarde gegeven die verzilverd kan worden in een pilot project.



# 1 Introductie

## 1.1 Achtergrond

Door de aanleg van steeds meer en hogere dijken in de laatste 150 jaar, en zeker als gevolg van de Deltawerken, is van lieverlee op en rond dijken een ecologisch interessante soortengemeenschap ontstaan. Langs vrijwel de gehele Nederlandse kust is een “harde constructie” gemaakt bij dijken in de getijzone, voornamelijk bestaande uit een teenconstructie (vaak stortsteen) en een benedentalud (vaak een steenzetting). Vanuit de ecologie gezien leveren deze harde substraten in brakke en zoute watersystemen habitats op die voorheen niet beschikbaar waren, waarin vele soorten zich voortplanten, opgroeien en foerageren (voedsel zoeken). Wolff (1999) beschrijft deze harde substraten als “the rocky shores”. Op deze wijze ontwikkelden vele dijken zich als belangrijke plekken met een ecologische uitstraling op de omgeving. Dientengevolge heeft dit geleid tot benutting van deze locaties door onder andere sportvissers en sportduikers.

Eén van de eerste uitgebreide onderzoeken naar het leven op harde substraten werd in de tachtiger jaren uitgevoerd door Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren en Bureau Waardenburg BV. (Leewis et al. 1988; Leewis et al. 1989). In latere jaren is onderzoek naar habitats van dijken voortgezet, onder andere in de zogenaamde ‘dijktuin’ experimenten in de Oosterschelde (van den Burg en Everaars, 1999). Ook is onderzoek gedaan naar dijkverbeteringswerken en de effecten op watervogels (Berrevoets and Meininger 2004).

Verder wordt de benutting van harde substraten als habitat actief ingezet bij de ontwikkeling van kunstriffen. Deze kunnen vele ecologische, recreatieve en economische (visserij) functies bedienen. In Nederland zijn structuren als ‘reefballs’ in de vorm van kunstriffen van honderden exemplaren in de Grevelingen aangebracht ([http://www.nob-nl.nl/onderwatersport/archief\\_242.html](http://www.nob-nl.nl/onderwatersport/archief_242.html)). Vanaf 1992 is er gedurende vier jaar door Leewis et al. (1996) in opdracht van Rijkswaterstaat een onderzoek uitgevoerd naar de ontwikkeling van begroeiing op kunstriffen in de Nederlandse zoute wateren (Leewis et al. 1996).

In 2004 is een Europees samenwerkingsproject afgerond (DELOS) waarin de invloed van harde structuren in de kust op locale ecologie is onderzocht (Martin et al. 2005). Tot slot moet genoemd worden dat in de TAW-leidraad Grondslagen voor Waterkeren al expliciet aandacht wordt besteed aan natuurwaarden van harde infrastructuur (TAW 1998).

Er is dus al veel kennis aanwezig die de relatie beschrijft tussen abiotische omgevingscondities (stroomsterkte, golfaanval, doorzicht), vorm, structuur, materiaal, locatie en de te verwachten ecologische, economische of recreatieve functies van een harde structuur in kustwater. Echter, er wordt nog erg weinig *geoptimaliseerd* op deze functies bij het verbeteren, onderhouden of aanleg van dijken, laat staan dat echt ontworpen wordt op ecologische functies. Bij ontwerpen staat nog altijd de veiligheid tegen overstromen centraal, of onderhoud volgens gangbare en traditionele principes, zonder direct oog voor de biodiversiteit, recreatief medegebruik, of natuurbeheer.

## 1.2 Recreatief medegebruik

Elk jaar komen miljoenen mensen voor hun ontspanning naar de kust. Voor een belangrijk deel gaat het om mensen die vooral voor het strand en de badplaatsen komen. Een tweede groep betreft de natuurrecreanten: mensen die hun ontspanning zoeken in het natuurlijke landschap van stranden en duinen. Binnen deze groepen vallen de mensen die gebruik maken van de functies die harde kust-infrastructuur hun biedt. Vissers, die kustnabij in dieper water willen vissen of juist vissen op soorten die aangetrokken worden door hard substraat, zoals zeebaars. Sportvissers maar ook sportduikers kennen de interessante stukken dijk in onze Deltawateren. Gebieden zoals de Grevelingen, het Oostvoornse meer en de Oosterschelde hebben internationale bekendheid onder duikers verworven (ongeveer 700.000 duiken in 2005). Wandelaars die worden aangetrokken door de beleving die hoort bij een zeevering of ‘vogelaars’ en verzamelaars, die op zoek zijn naar de interessante waarnemingen en vondsten die horen bij een rotsachtige kust. In de context van de Rotterdamse haven en omringende gebieden wordt al veel aandacht besteed aan het verbeteren van de recreatieve waarden. Het gebied oefent een grote aantrekkingskracht uit op recreanten en toeristen. Benutting van waterstructuur en oevers is belangrijk om de aantrekkelijkheid van recreatie-mogelijkheden te verbeteren. Zo is er binnen het Project Mainportontwikkeling Rotterdam [www.mainport-pmr.nl](http://www.mainport-pmr.nl) ruimte gecreëerd voor een groene inrichting van de landtong Rozenburg, verbeteren van de toeristisch-recreatieve bereikbaarheid en verzouten van het Oostvoornse Meer ter verbetering van de natuurwaarden.

Het verbeteren van de toegankelijkheid van harde infrastructuur in combinatie met vergroting van ecologische waarde door vergroting van biodiversiteit (meer verschillende soorten) en productiviteit (hogere aantallen en dichtheden van soorten) zal zeker zijn aantrekkingskracht uitoefenen op bepaalde categorieën van recreanten waaronder sportvissers.

## 1.3 Relatie met beheer en beleid

Ten behoeve van aantrekken of versterking van economische activiteiten langs de kust is aanleg van harde infrastructuur soms onvermijdelijk. Daarnaast zijn versterkingen van de Nederlandse waterkeringen noodzakelijk om “droge voeten” te houden. In tegenstelling tot de discussie die wordt gevoerd over de meerwaarde van multifunctionele inrichting van zachte elementen in de kust, speelt deze discussie bij ontwerpen van harde infrastructuur tot nog toe nauwelijks een rol. In het huidige kustbeleid staan echter integrale oplossingen en multifunctioneel gebruik voorop (VenW 2000). Het betrekken van de bestaande en nieuwe harde elementen in de kustzone in het denken over integrale oplossingen kan de potentiële meerwaarden van de kust verder versterken, omdat ook aan harde infrastructuur mogelijk nieuwe kostendragers (recreatie en toerisme en nieuwe natuur) kunnen worden gekoppeld.

Het uitbreiden van de natuurwaarden in de kustzone biedt ook kansen voor het behalen van de doelstellingen uit de Kaderrichtlijn Water. Anderzijds moet bij het ontwikkelen van natuurwaarden rekening gehouden worden met wetgeving op het gebied van de EU Vogel – en Habitatrichtlijn, de Flora- en faunawet en de Natuurbeschermingswet 1998. Aan deze aspecten van beheer en beleid wordt in deze rapportage ook aandacht besteed. Een belangrijke vraag van de (dijk)beheerder is of hij bij een toepassing van een ecologisch



ontwerp in de toekomst geen problemen met natuurbeschermingswetgeving opzoekt. Deze problematiek zal in deze studie ook in kaart worden gebracht. Ten slotte wordt ook geschetst welke baten er te verwachten zijn van het (grootschalig) toepassen van rijke dijken.

## 1.4 De Rijke Dijk

Tot nu toe is bij verbetering, onderhoud of aanleg van harde infrastructuur in de kustzone weinig rekening gehouden met de mogelijkheden die het ontwerp zou kunnen bieden voor creëren en versterken van ecologische, economische of recreatieve functies. In deze haalbaarheidsstudie wordt voorgesteld om de op dit gebied al aanwezige kennis om te zetten in een aantal ontwerpen voor ecologisch diverse zeeweringen, zeedijken, havendammen, golfbrekers of pieren: de Rijke Dijken. Deze ontwerpen dienen economisch en planmatig inpasbaar te zijn in een bestaand of nieuw ontwerp voor kust infrastructuur. Gedacht kan worden aan constructie van een Rijke Dijk bij vervanging/onderhoud van bestaande harde infrastructuur of bij nieuw aan te leggen infrastructuur. Mogelijk levert dit initiatief kansen op voor vervanging van verloren natuurwaarden ter plekke van een beoogde ingreep. Mogelijk worden natuurlijke functies versterkt en draagt deze bij aan het bereiken of behouden van een goede ecologische toestand binnen een waterlichaam. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan verbetering van waterkwaliteit door extra biomassa van filterfeeders, versterken van migratieroutes door introductie van aanvullende ‘stapsteen’ en vergroting van het areaal van paai-, opgroei en fourageerhabitat voor vele soorten in het gebied.

De Rijke Dijk concentreert zich voorlopig op constructies in zout of brak water en dan alleen nog in of onder de getijzone (sublittoraal en eulittoraal). Dit betekent dat het boventalud van een dijk en de kruin en binnentalud geen onderwerp voor deze studie zijn.

Het uiteindelijk doel van dit project is om een Rijke Dijk pilot-proef te realiseren. Dit rapport omvat de resultaten van de daartoe uitgevoerde haalbaarheidsstudie. Het project wordt uitgevoerd in samenwerking met derde partijen zoals de Rijkswaterstaat directies Zuid Holland en Zeeland, Rijkswaterstaat RIKZ en Gemeentelijke Havenbedrijf Rotterdam NV. Hoofduitvoerders van het project zijn de Technische Universiteit Delft (Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen, INFRAM en WL | Delft Hydraulics).

De haalbaarheidsstudie is mogelijk gemaakt met de steun van WINN en het Port Research Centre Rotterdam – Delft. Naar aanleiding van de uitkomsten van deze studie wordt in een volgende fase gezien of een proef in de haven of elders langs de kustzone op korte termijn kan worden gerealiseerd. Daarnaast wordt met deze studie ook deels invulling gegeven aan het onderzoek binnen het NEW Delta Interreg IIIB thema “aquatische indicatoren”.

## 2 Analyse van bestaande ecologische kennis

### 2.1 Introductie

Zoals in de inleiding aangegeven is er al veel kennis verzameld over levensgemeenschappen van harde substraten. Achtergrondmateriaal is verzameld in appendices. Appendix 1 beschrijft de belangrijkste soorten(groepen) die voorkomen op harde substraten in de Nederlandse zoute wateren. Appendix 2 geeft een overzicht van de hard substraat oevertypen die voorkomen in Nederlandse zoute wateren. Appendix 3 geeft een overzicht van factoren die de verspreiding en dichtheid van soorten en levensgemeenschappen langs de kust bepalen op verschillende ruimtelijke schalen. Deze tekst is afkomstig van de DELOS studie (DELOS, 2004) en is in het Engels geschreven. Appendix 4 geeft de BIOMAR classificatie van ecotopen van hard substraat (BIOMAR is gebaseerd op monitoring van Engelse en Ierse kusten). Appendix 5 geeft een lijst met rapporten van ecologische surveys op hard substraat uitgevoerd door Bureau Waardenburg. Deze kennis is gebruikt om het in Nederland gebruikte Zoute wateren ecotopenstelsel (ZES) uit te breiden met ecotooptypen voor hard substraat, waarvan al een aanzet werd gegeven in een studie van Leewis, De Jong en Dankers in het kader van BEON (Leewis, 1998). In de volgende paragrafen wordt een overzicht gegeven van deze kennis-basis.

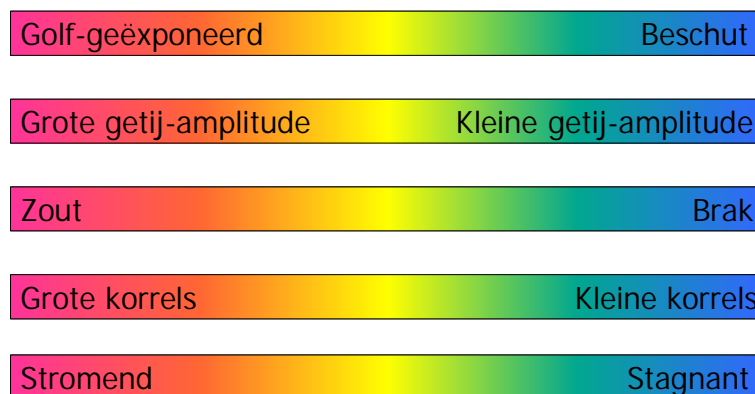
Uit de publicatie van Wolff (1999) blijkt dat Den Hartog (1959) ongeveer 100 macro-algen soorten aantrof op hard substraat, Nienhuis (1980) publiceerde een lijst met ongeveer 200 aan hard substraat gebonden soorten waaronder micro-algen en in de brakke zone voorkomende zoetwater soorten. Onderzoek heeft aldus aangetoond dat in Nederland op de dijken natuurlijke soortengemeenschappen voorkomen, in het algemeen in weinig geëxponeerde milieus, die enigszins minder soortenrijk zijn dan vergelijkbare gemeenschappen op hard substraat in de Kanaalzone en elders. Een belangrijk deel (misschien wel de helft van het totale aantal algensoorten) is in de laatste honderd jaar in Nederland als nieuwe soort geïntroduceerd. In de provincie Zeeland is ongeveer 700 ha subtidaal en 500 ha intertidaal hard substraat aanwezig. Wolff stelt vast dat de harde substraten de meest soortenrijke gemeenschappen herbergen van alle kust-ecosystemen in Nederland. Echter, deze waarde op natte infrastructuur, die werd aangelegd en vaak nog wordt beheerd zonder ecologisch oogmerk, is lange tijd niet herkend en erkend. Slechts in het laatste decennium wordt beheer en ontwikkeling van de natte natuurwaarde van dijken een thema dat door enkele beheerders (Waterschappen en Rijkswaterstaat, met name in het Zeeuwse) onderdeel is gemaakt van beleid.

### 2.2 Belangrijkste milieugradiënten

Vijf belangrijke milieugradiënten zijn verantwoordelijk voor een variëteit in kusttypen variërend van harde substraten tot zandige kusten en slikken. Dit zijn:

- De verticale gradiënt (getij+golven, groot- klein)
- De golfexpositiegradiënt (geëxponeerd – beschut)
- De stroomsnelheidsgradiënt (stromend – stagnant)
- De korrelgroottegradiënt (grof – fijn)

De saliniteitsgradiënt (zout – brak)



Figuur 1. Kenmerken van dominante gradiënten

### 2.2.1 De verticale gradiënt

De verticale gradiënt is het resultaat van getij, golven en windopzet. Het resulteert in droogvallen van organismen en daarmee ook in fluctuaties in temperatuur, uitdroging en voedselbeschikbaarheid. Ondiep in de sublittorale zone resulteert deze gradiënt in de lichtbeschikbaarheid voor planten, samen met het zwevend stofgehalte in het water. Over het algemeen bestaat er een duidelijke verticale zonering van soorten, al naar gelang het vermogen van soorten om de stress van fysieke factoren te weerstand en door de variatie in hun respons op biologische factoren (zoals competitie en predatie).

De maximale getijslag langs de Nederlandse kust varieert van ruim 4 meter achter in de Westerschelde tot ongeveer 1,5 meter bij Hoek van Holland, om daarna naar het noorden toe weer toe te nemen tot zo'n 3 meter bij Nieuw Statenzijl. Achter in de Oosterschelde is de maximale getijslag gereduceerd na aanleg van de Oosterscheldekering tot ongeveer 3 meter. In het havengebied van Rotterdam is bedraagt de maximale getijslag ongeveer 2 meter. In landinwaartse richting, gaande van de havens in het Maasvlaktegebied neemt het getij snel af. De waterstand in de Nieuwe Waterweg en daarop aangesloten havens en kanalen wordt eveneens beïnvloed door de rivierafvoer. Indien we aannemen dat de gemiddelde helling van het benedentalud van een dijk in het havengebied in een getijzone ongeveer 1:3 bedraagt levert dit per strekkende meter ongeveer 6 m<sup>2</sup> substraat op in de getijzone, bij een getijslag van 2 meter. In het Rotterdamse havengebied is er ongeveer 200 km glooiing en 70 km kademuur aanwezig. In oppervlakte zou dit in het Rotterdamse zo'n 120 ha glooiing en 70 ha verticale kademuur opleveren. Hiernaast is nog extra oppervlak aanwezig in de meer horizontaal aangelegde teenconstructies of kreukelbermen aan de voet van het dijklichaam. De hoogteligging van dit bermsubstraat is variabel en afhankelijk van de vorm van de vooroever. Het is niet onrealistisch te veronderstellen dat de oppervlakte aan hard substraat in de kreukelbermen vergelijkbaar is met de 120 hectare in de getijzone op de dijk, zodat tezamen ongeveer 240 hectare hard substraat aanwezig is.

De verticale gradiënt is, samen met de troebelheid van het water, bepalend voor het onderwater lichtklimaat. Dit is van belang omdat hiermee de ondergrens van de zone waarin wieren en algen kunnen groeien wordt bepaald. In de Oosterschelde worden tijdens perioden met weinig wind doorzichten gemeten tot enkele meters. In de Nederlandse kustzone van de Noordzee is het doorzicht over het algemeen lager, vanwege het hoge aanbod aan slib uit rivieren en de meer intensieve golfwerking. Het Rotterdamse havengebied toont een

variabel beeld. Delen die onder de invloed van rivierwater staan, kunnen zeer troebel zijn met doorzicht in de orde van tientallen centimeters. Delen, bijvoorbeeld rond de Maasvlakte, die aan Noordzee water zijn blootgesteld zijn over het algemeen minder troebel met doorzichten tot maximaal een meter. De meetpunten Haringvliet en IJmuiden geven een gemiddeld doorzicht tussen de 80 en 150 cm, de meetpunten Maassluis en Vrouwezand geven 40 tot 100 cm. We kunnen hieruit concluderen dat de combinatie van getijslag en troebelheid resulteert in een fotische zone (waar nog licht kan doordringen en dus primaire productie kan plaatsvinden) die het breedst zal zijn in de Oosterschelde.

### 2.2.2 De golfexpositiegradiënt

Golfexpositie vertoont een gradiënt gaande van de geëxponeerde dijken direct aan de kust naar de beschutte locaties in estuaria en havengebieden. Deze gradiënt wordt bepaald door heersende windrichtingen en de ligging van de dijk, strijklengte en golfbuiging om obstakels. De golfexpositie resulteert in stress, maar ook in voedselbeschikbaarheid. Gebieden met een netto sedimentatie of juist een hoge turbulentie geven een zeer verschillende soortensamenstelling.

Golfwerking is sterk bepalend voor het voorkomen van soortengemeenschappen zowel in zacht als op hard substraat in het subtidaal en intergetijde gebied. Plaatsen met de hoogste expositie aan golven, bijvoorbeeld de dijk bij Westkapelle en het gebied rond de Blokkendam op de Maasvlakte vertonen een zeer karakteristiek beeld. Over het algemeen komen er weinig wieren voor en wordt het substraat bevolkt door de zeepok *Balanus balanoides* en schelpdieren zoals de schaalhoorn *Patella vulgata*, alikruik en oester. Op meer beschutte plekken komen paarde-anemonen (*Actinia equina*), mossels en bruin- en groenwieren voor.

In havens is een additionele bron van golven te verwachten, namelijk de boeg- en hekgolf van langsvarende schepen. Afhankelijk van de afmetingen en snelheid van een schip kunnen deze golven aanzienlijk zijn, wat vooral bij de snelle ferry van de Stena Line tot uiting is gekomen.



Foto 2.1. Geëxponeerd hard substraat (breuksteen - onderste deel foto) nabij Blokkendam (bovenste deel foto) op de Maasvlakte. Op iets luwe locaties treffen we al groenwieren (*Enteromorpha* sp.) aan. Substraat is Doornikse kalksteen van 1-3 ton.



Foto 2.2. Zeepokken, paarde-anemonen en mossel broed in beschutte habitats op verder zeer geëxponeerde breuksteen (Doornikse kalksteen) nabij de Blokkendam op de Maasvlakte



Foto 2.3. Geëxponeerd substraat met juveniele (jonge) oesters.



Foto 2.4. Losgeraakt Haringmanblok in energierijke zone biedt voldoende beschutting om bruinwieren een habitat te verschaffen.

Wanneer de golfwerking afneemt, neemt de aanwezigheid van wieren in het subtidale en intergetijdegebied toe. In de diepere zones treffen we bruinwieren aan die hogerop worden verdrongen door groenwieren.



Foto 2.5. Uitbundig met bruinwier (met name *Fucus vesiculosus*) begroeide berm van stortsteen (Doornikse kalksteen, gewicht 2-3 ton) in meer beschutte zone nabij Maasvlakte (ingang Hartelkanaal, tegenover Papegaaiebek).

### 2.2.3 De stroomsnelheidsgradiënt

De stroomsnelheid langs een dijk of zeewering is vooral afhankelijk van de getijdestromingen. Stroming van water is mede bepalend voor de aanvoer van voedsel. Het beïnvloedt ook de vestiging van soorten en het vermogen om te blijven zitten. Locaties waar als gevolg van een lage stroomsnelheid slib sedimenteert zijn meestal niet geschikt voor hard substraat levensgemeenschappen.

Stroming zal in gebieden met geringe golfwerking bepalend zijn voor de maximale energie op hard substraat. Het is te verwachten dat in gebieden met sterke golfwerking en brekende golven, zoals de Blokkendam en Westkapelle, de stroming relatief minder van belang zal zijn. Maximale stroomsnelheden veroorzaakt door getijwerking liggen (in de diepere geulen) rond 1.5 m/s. In ondieper water neemt deze snelheid af door bodemwrijving. In intergetijdegebieden wordt veelal niet meer dan 0.5 m/s gemeten. Te verwachten is dat de soortengemeenschappen van diepere subtidale zones, die (ver) onder de brekerzone liggen sterker door stroomsnelheid worden bepaald dan in de ondiepere zone.

Combinatie van stroming en golfwerking zal zeker ook een rol spelen in transport van zand en slib en zal daarmee de aard van habitats op harde substraten beïnvloeden. Bij lage stroming en grotendeels ontbreken van golven is er weinig of geen energie beschikbaar om slib en zand te verplaatsen en zal een hard substraat ‘verzanden en/of verslibben’ en daardoor een andere soortengemeenschap en dus ecologische waarde verkrijgen.

Naast de getijslag en de vorm van de getijcurve is, met name in kanalen en havens, additionele invloed te verwachten van de stroming die wordt opgewekt door schepen. Het langsvaren van een schip door een (smal) kanaal wekt een achterwaarts gerichte stroming op. De schroefstraal van manoeuvrerende schepen kan een zeer krachtige stroming opwekken, waarvan bekend is dat het de bekleding van een dijk kan ‘wegblazen’.

#### 2.2.4 De groottegradiënt

Typische grootte-ranges van substraat van kusten kunnen variëren van een paar micrometers op slikken, een paar honderd micrometers op zandstranden, een paar centimeters op grindstranden, tientallen centimeters op keienstranden, tot meters op rotskusten en artificiële zeeweringen. Ergens in deze range ligt de overgang van zacht substraat naar hard substraat, maar deze is niet eenduidig gedefinieerd. De gemiddelde korrelgrootte van een natuurlijke kust wordt deels bepaald door de expositie aan golven en stroming en deels door de geologische geschiedenis van het gebied. Het resulteert in verschillende habitats voor soorten.

De grootteverdeling van het harde substraat van dijken is bepalend voor de groottesortering van holtes tussen afzonderlijke harde elementen. Steeds grotere holtes bieden schuilplaatsen voor steeds andere soorten, maar geven ook steeds minder bescherming tegen de fysieke factoren (golfwerking, stroming) of tegen predators. Leewis (mond.med.) schat de maximale effectieve grootte van schuilplaatsen op ongeveer een halve meter, afhankelijk van de grootte van de opening.

De grootte van het substraat is bepalend voor de soorten die zulk substraat kunnen benutten als habitat. Met name soorten die afhankelijk zijn van beschikbare holtes of stabiliteit van het substraat (altijd dezelfde oriëntatie en locatie) zijn hiervoor gevoelig. De dijkbekleding is uit vele soorten materiaal opgebouwd met zeer verschillende groottes van substraat en daartussen liggende holtes in de vorm van spleten en kieren. Materialen zoals Basalton, Hydroblock, Haringman en basalt vallen in de kleinste klasse voor wat betreft grootte van substraat en bijbehorende holtes (centimeter schaal, zie foto's 2.6 en 2.7).





Foto 2.6. Basalton substraat (20x20cm blokken) met daartussen spleten op centimeter schaal. De spleten werden weer opgevuld met losse steenslag om de Basalton te fixeren. Kleine poeltjes worden gevuld door golfploep. Locatie: hoog in het intergetijdegebied, met aangroei van korstmossen (gele kolonies).



Foto 2.7. Twee typen blokken met eco-toplaag zoals gebruikt langs de Westerschelde. De blokken zijn ontworpen, door gebruik van een extra open laag van kleine stortsteen, om aangroei met wieren te versterken. De roodgekleurde blokken (links) maken gebruik van lavasteen als toplaag. De Hydroblocks (rechts) hebben een toplaag van open colloïdaal

beton Grootteschaal van substraat en holtes millimeters in de toplaag tot een centimeter. Door de goede 'pasvorm' zijn de ruimtes tussen de blokken beperkt in vergelijking met bijvoorbeeld basalt. Merk ook het gebruik van split op waarmee de blokken worden gefixeerd.



Foto 2.7 Hydroblock met ecotop met beoogde functie, sterke aangroei van bruinwieren in de intergetijde zone. Rechts een kunstmatig substraat zonder 'eco'-laag.

Vanaf de centimeterschaal is een vrij compleet groottespectrum aanwezig tot uiteindelijk de schaal van meters, zoals de blokken die aangetroffen worden op de Blokkendam. Vastgesteld kan worden dat het gebruik van gestapelde steen leidt tot kleine variatie in grootte van holtes. Gebruik van stortsteen, zelfs als de blokgrootte vergelijkbaar is, leidt tot het voorkomen van meer holtes met een aanzienlijke variatie in grootte.



Foto 2.8. Doornikse kalksteen (300-1000 kg) gestort in de berm en op de dijkvoet (Westerschelde, nabij Borssele). Gebruik van uniforme steensortering met losse storting levert zeer variabele holtes op. Hoogteligging bepaald sterk de soortensamenstelling die wordt aangetroffen.

### 2.2.5 De saliniteitsgradiënt

Fluctuaties in saliniteit doen zich voor langs de verticale gradient als gevolg van getijdepoeltjes die achterblijven bij laagwater. In deze poeltjes kan de saliniteit toenemen als gevolg van verdamping of afnemen door neerslag. Natuurlijk is er ook een horizontale saliniteitsgradiënt in estuaria. De gevoeligheid voor saliniteit verschilt van soort tot soort.

In estuaria is de variabele saliniteit sterk bepalend voor het voorkomen van soorten in de lengterichting van het systeem. In delen waar de saliniteit sterk varieert, door bijvoorbeeld invloed van de rivierafvoer is het aantal soorten gering. Gaande van zoute naar zoete systemen verdwijnen met name de bruinwieren van het substraat om te worden vervangen door groenwieren. In de Nieuwe Waterweg zijn de overgangen tussen zout en zoet over een korte afstand (ongeveer 30km) goed waar te nemen.

## 2.3 Materiaal eigenschappen

Verschillende eigenschappen van materialen beïnvloeden de vestiging en groei van organismen (Leewis et al, 1989):

### 2.3.1 De ruwheid

Ruwheid op een dijk betekent in civieltechnische termen een ruwheid van het dijkprofiel die de mogelijke golfoploop en golfoverslag bij een storm kan beperken. Een glad talud, zoals een steenzetting, asfalttalud of zelfs een grastalud, geeft een hoge oploop van golven bij een maatgevende storm. Ruwheidselementen, of bijvoorbeeld een laag breuksteen, remmen de golfoploop en heeft daarmee een grote ruwheid. Hoewel deze *vormruwheid* uiteindelijk ook van belang is voor begroeiing van hard substraat, is ten eerste de *materiaalruwheid* van het oppervlak zelf van belang. De ruwheid van het oppervlak beïnvloedt de mogelijkheden voor vestiging, in het bijzonder op plaatsen met hoge stroomsnelheden of sterke golfaanval. Glad materiaal is bijvoorbeeld basalt en asfalt. Deze materialen, en zeker asfalt, zijn daarmee geen goede materialen in een ecologisch ontwerp. Beton heeft al een zekere mate van ruwheid, zeker als enige slijtage plaats heeft gevonden door golfwerking. Toch is beton niet echt ruw. De meeste steenzettingen bestaan nu uit kunstmatige betonnen stenen. Deze zijn dus niet optimaal wat de ecologie betreft. Meer ruwheid kan worden verkregen door een kunstmatige ruwe toplaag aan te brengen van kleine steentjes. De grootte en de soort van de steentjes bepaalt dan de ruwheid van het oppervlak. Bij het Hydroblock is er bijvoorbeeld voor gekozen om een toplaag te maken van open colloïdaal beton. De aangebrachte grindkorrels zijn zelf vrij glad, maar tussen de korrels zijn openingen die mogelijkheden geven tot aanhechting. Bij Basalton is gekozen voor een toplaag van lavasplit; dit materiaal is van zichzelf vrij poreus, en hier kan begroeiing zich dan ook eenvoudig op hechten. De ruwheid van natuursteen varieert met het type steen.

### 2.3.2 De plaatsing

Steenbekledingen hebben een bepaalde vorm en worden op een bepaalde manier geplaatst. Zowel de vorm als de plaatsing beïnvloeden de open ruimtes tussen de stenen. Rechthoekige blokken die dicht tegen elkaar worden geplaatst bevatten minder holtes of kieren, zodat er minder vestigingsmogelijkheden zijn. Deze blokken zijn minder geschikt voor de Rijke Dijk. In de tegenwoordige dijkenbouw worden deze bekledingen ook niet veel meer toegepast, want een waterdichte bekleding zorgt bij het teruglopen van een golf voor onderdrukken tegen de bekleding, zodat deze eruit gedrukt kan worden. Beter is een blokform waarbij de waterdruk niet wordt opgesloten. Basalton is een goed voorbeeld en zo'n bekleding geeft open ruimtes tussen de stenen. Het mag duidelijk zijn dat een asfalttalud volledig dicht is en wat dat betreft geen enkele houvast biedt.

### 2.3.3 Het watervasthoudende vermogen

In de civieltechnische wereld wordt bij de beschrijving van de te gebruiken steen vaak de maximale waterabsorptie voorgeschreven. Voor standaard waterbouwsteen met CE-keur geldt (NEN-EN 13383) dat als de absorptie meer is dan 0,5%, de steen afgekeurd wordt, tenzij dit expliciet toegestaan wordt. Hoe minder waterabsorptie, hoe sterker de steen en hoe beter de kwaliteit. Maar dit is voor begroeiing juist niet de goede kwaliteit. Het vasthouden van water gedurende de laagwaterperiode bevordert plantengroei. Het watervasthoudend vermogen is dus van groot belang in de getijzone. Kalksteen houdt langer water vast en hierop zijn meer algen te vinden.

#### 2.3.4 De hardheid

Een harde steen is civieltechnisch een goede steen. Ook hier geeft NEN-EN 13383 standaardwaarden (bijv  $CS_{80}$  en  $M_{DE30}$ ). Standaard waterbouwsteen met CE-keur voldoet hieraan. De hardheid is ook bepalend voor de vestiging van soorten. Sommige soorten boren in steen en dat lukt beter bij zachte kalksteen dan bij harde basalt of graniet. Bij toepassing van breuksteen in een Rijke Dijk-ontwerp moet dus vooral worden geoptimaliseerd op zachte, poreuze en ruwe steen. Dit in tegenstelling tot de huidige ontwerpraktijk.

#### 2.3.5 De kleur

Donkere stenen vertonen meer extreme temperatuurverschillen wat in het algemeen minder gunstig is. In die zin is basalt vanwege de donkere kleur geen goede steen en asfalt geen goede bekleding.

#### 2.3.6 De grootte

Bij steenbekledingen is niet direct de grootte van de steen maatgevend voor stabiliteit bij storm, maar vooral de dikte (de lengte van de zuil). Bij de renovatie van de taludbekledingen langs de Wester- en Oosterschelde worden vooral dikkere steenbekledingen aangebracht. De grootte van de doorsnede van een blok verschilt niet zoveel bij de verschillende types op de markt (20-40 cm doorsnee). De dikte zelf heeft nauwelijks invloed op begroeiing. Het is mogelijk grotere blokken te ontwerpen, bijvoorbeeld van 1 m x 1 m, en zodanig dat water in holtes in het oppervlak van de blokken achterblijft tijdens laag water. Deze zijn tot op heden niet door de marktpartijen ontwikkeld, omdat het plaatsen gecompliceerder is.

De grootte is belangrijk voor de soortendiversiteit. De sortering breuksteen wordt nu meestal gebaseerd op de benodigde grootte voor stabiliteit tijdens maatgevende storm. Maar er is niets op tegen om een grotere sortering toe te passen, of een veel bredere sortering met een grotere variatie van grote en kleine stenen. Bij een traditionele keuze van 60-300 kg steen zou ecologisch gezien gedacht kunnen worden aan 300-1000 kg (zachte en poreuze) steen, maar ook wel aan een brede sortering van 60-1000 kg zachte en poreuze steen. Deze sorteringen worden traditioneel niet toegepast, maar bieden wel mogelijkheden voor de Rijke Dijk. NEN-EN13383 geeft alleen 15-300 kg als brede standaard sortering, een sortering 60-1000 heeft een leverancier niet op voorraad, en zal meestal door menging van 60-300 + 300-1000 gemaakt moeten worden.

#### 2.3.7 De chemische samenstelling

De chemische samenstelling van stortsteen of steenbekleding kan de soortengemeenschap beïnvloeden, met name wanneer metaalslakken worden gebruikt. Ook vanuit de chemische samenstelling lijkt asfalt geen goede optie voor een Rijke Dijk te zijn. Metaalslakken worden niet meer toegepast. Als vanuit ecologische hoek bekend is welke chemische

samenstelling schadelijk is voor het ontstaan van een Rijke Dijk, dan kan bij de materiaalkeuze hier rekening mee worden gehouden.

### 2.3.8 Conclusies ten aanzien van materiaalkeuze

Wat betreft materiaaleigenschappen moet voor een Rijke Dijk het toepassen van een asfaltalud of een zetting van basalt worden vermeden. Ruwe oppervlakken zijn goed en een optimalisatieslag voor kunstmatige oppervlakken op steenbekledingen is mogelijk door gebruik van een bredere sortering materiaal.

In de civieltechnische wereld wordt “goede” kwaliteit steen voorgeschreven, conform NEN-EN 13383. Dit betekent een harde, slijtvaste steen die weinig water absorbeert. Vanuit de ecologische hoek zou juist zachte, poreuze steen goed zijn. De twee werelden zouden elkaar kunnen vinden in een overdimensionering qua grootte van de steen, maar met de gewenste zachte en poreuze steenkwaliteit. Om het nadeel van breuk en slijtage te ondervangen, zou dan mogelijk een grotere steensortering gekozen kunnen worden (overdimensionering). Bijvoorbeeld in plaats van een sortering 60-300 kg ‘goede’ kwaliteit breuksteen zou dan gekozen kunnen worden voor een sortering 300-1000 kg zachte en poreuze steen. Het normblad voor waterbouwsteen biedt hiertoe mogelijkheden, maar die moeten dan wel expliciet aangegeven worden.

## 2.4 Karakteristieke soortengemeenschappen

De invloed van de genoemde milieugradiënten manifesteert zich in een zonerings van planten en dieren met de diepte waarbij de volgende zones (van hoog naar laag) kunnen worden onderscheiden (Campbell 1994; Nienhuis, 1979):

### *Supralittoraal (boven de getijzone)*

- zwarte blauwwieren, korstmossen en alikruik *Littorina neritoides*

### *Eulittoraal (in de getijzone)*

- vanaf hier en dieper: Gewone Zeepok (*Balanus balanoides*)
- Ruwe Alikruik *Littorina saxatilis*
- kleine groenwieren (bv. Klein Darmwier *Blidingia minima* en *enteromorpha* sp.)
- kleine bruinwieren (bv. Groefwier *Pelvetia canaliculata*, Kleine Zee-eik *Fucus spiralis*)
- grote bruinwieren (bv. Knotswier *Ascophyllum nodosum*, Blaaswier *Fucus vesiculosus*, Gezaagde Zee-eik *Fucus serratus*)
- Gewone Alikruik *Littorina littorea* (tot in sublittoraal)
- Stompe Alikruik *Littorina littoralis*, *Patella* (tot in hoog sublittoraal) en struikvormige roodwieren
- Bovengrens van voorkomen van filtrerende schelpdieren zoals oester en mossel

### *Sublittoraal (beneden de getijzone)*

Suikerwier *Laminaria saccharina* en Viltwier *Codium tomentosum*.

Filtrerende schelpdieren, zee-anemonen, zeesterren, zee-anjelieren en sponzen.

De ligging van deze zones wordt niet alleen bepaald door de hoogte ten opzichte van het gemiddeld waterniveau, maar ruwweg kan gesteld worden dat supralittoraal boven gemiddeld hoogwater ligt en beïnvloed wordt door spatwater (boven de getijzone), en dat het eulittoraal zich tussen gemiddeld hoog water en gemiddeld laag water bevindt (de getijzone). Het sublittoraal kan zich afhankelijk van de helderheid van het water uitstrekken tot tientallen meters onder de waterspiegel, zo worden er in de heldere wateren bij Bretagne suikerwieren aangetroffen tot een diepte van 25 meter.

## 2.5 Ecotopen systematiek

In Nederland is een systematiek ontwikkeld waarmee ecotopen die voorkomen in zoute en brakke systemen langs de kust kunnen worden geclassificeerd. Dit is overigens niet alleen in ons land het geval. Het in Nederland gebruikte Zoutwater Ecotopen Stelsel (ZES) wordt gebruikt om het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen te karteren, om veranderingen in de tijd te kunnen evalueren en om de effecten van veranderende omgevingsfactoren op potentieel voorkomen van levensgemeenschappen te kunnen voorspellen. Informatie gepresenteerd in deze paragraaf is ontleend aan de RIKZ rapportage over de opzet van het ZES in Bouma et al. (2005).

### 2.5.1 Belangrijke definities

*Ecotopen* zijn ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door fysisch-chemische, biologische en antropogene condities ter plaatse. Een ecotoop is een herkenbare, min of meer homogene landschappelijke eenheid. Een ecotopenstelsel is een classificatiesysteem van ecotopen waarin de van belang zijnde ecotopen in een gebied (watersysteem) op overzichtelijke wijze gerangschikt zijn. Kenmerkend voor een ecotopenstelsel is dat de indelingskenmerken van het stelsel zijn gekoppeld aan beleids- en beheersmaatregelen.

Een *habitat* is de leefomgeving waarin een bepaalde soort specifiek voorkomt. Een soort kan verschillende habitats nodig hebben in de loop van een jaar of zijn levenscyclus. Deze habitats kunnen bij elkaar liggen (bijvoorbeeld lage zandplaat – hoge zandplaat; lage zandplaat – sublittoraal) of in verschillende gebieden liggen (bijvoorbeeld toendra Siberië – Waddenzee). Een *fysiotoop* is een eenheid die homogeen is voor abiotische omstandigheden die van belang zijn voor biotische aspecten. Bij gelijk beheer, eenzelfde ontwikkelingsstadium, en zonder extreme omstandigheden in het recente verleden (storm, ijsgang, e.d.) zijn fysiotoop en ecotoop dezelfde ruimtelijke eenheid. Een *eco-element* geeft een mogelijke toestand van (een deel van) een ecotoop aan, gebaseerd op specifieke informatie met betrekking tot een soort (groep).

### 2.5.2 Omgevingsfactoren

Om ecotopen te kunnen indelen is informatie nodig over de omgevingsfactoren die bepalend zijn voor het voorkomen van soorten. In het ZES worden hiertoe de volgende variabelen gedefinieerd en geclassificeerd, zie onderstaande Tabel 2.1 (overgenomen uit Bouma, 2005).





Tabel 2.1. Lijst van variabelen, klassen en klassengrenzen behorend bij het ZES

Variabelen en klassengrenzen:

variabelen	klassen	klassengrenzen
1 <i>gemiddelde zoutgehalte en zoutvariatie</i>	weinig variabel brak weinig variabel zout variabel brak/zout	5,4 - 18 en variatie $\leq$ 100% > 18 en variatie $\leq$ 100% > 5,4 en variatie > 100%
2 <i>substraat 1</i>	hard substraat zacht substraat	steen, hout, veen etc. sediment
3 <i>diepte 1</i>	sublitoraal litoraal supralitoraal	< GLWS (permanent onder water) GLWS – GHWD (elk tij overspoeld) > GHWD (niet elk tij overspoeld)
4 <i>hydrodynamiek*</i> strijkkrigte (kusten)  lineaire stroomnelheid (sublitoraal en litoraal)  orbitaalsnelheid (litoraal + supralitoraal)	hoogdynamisch (golven)  hoogdynamisch (stroming) laagdynamisch (stroming)  stagnant (geen stroming)  hoogdynamisch (golven) laagdynamisch (golven)  hoogdynamisch	Noordzeekust  Klassengrenzen zijn afhankelijk van gebruikt model. Theoretisch ligt de grens bij 0,8 m/s zijde de grens waarop megaribbels ontstaan 0 m/s  Klassengrenzen zijn afhankelijk van gebruikt model. Uit resultaten tot nu toe blijkt onderstaande grens goed werkbaar > 0,2 m/s

Het is duidelijk dat ook hard substraat wordt gebruikt in het ecotopenstelsel als basis voor een classificatie. Figuur 2.1, geeft een dendrogram van de gedefinieerde ecotopen. Duidelijk is het belang van zoutgehalte, hoogteligging, dynamiek en type substraat als basis van de indeling. Geen nadere uitwerking wordt gegeven voor de substraat typen steen en hout. Toepasbaarheid van het ZES in het kader van karteren en voorspellen van de ecotopen op harde substraten in de mate van detail zoals bestudeerd in de Rijke Dijk studie wordt hierdoor beperkt omdat verschillende soorten hard substraat een sterke invloed uitoefenen op voorkomen van soorten en zelfs zonerings.

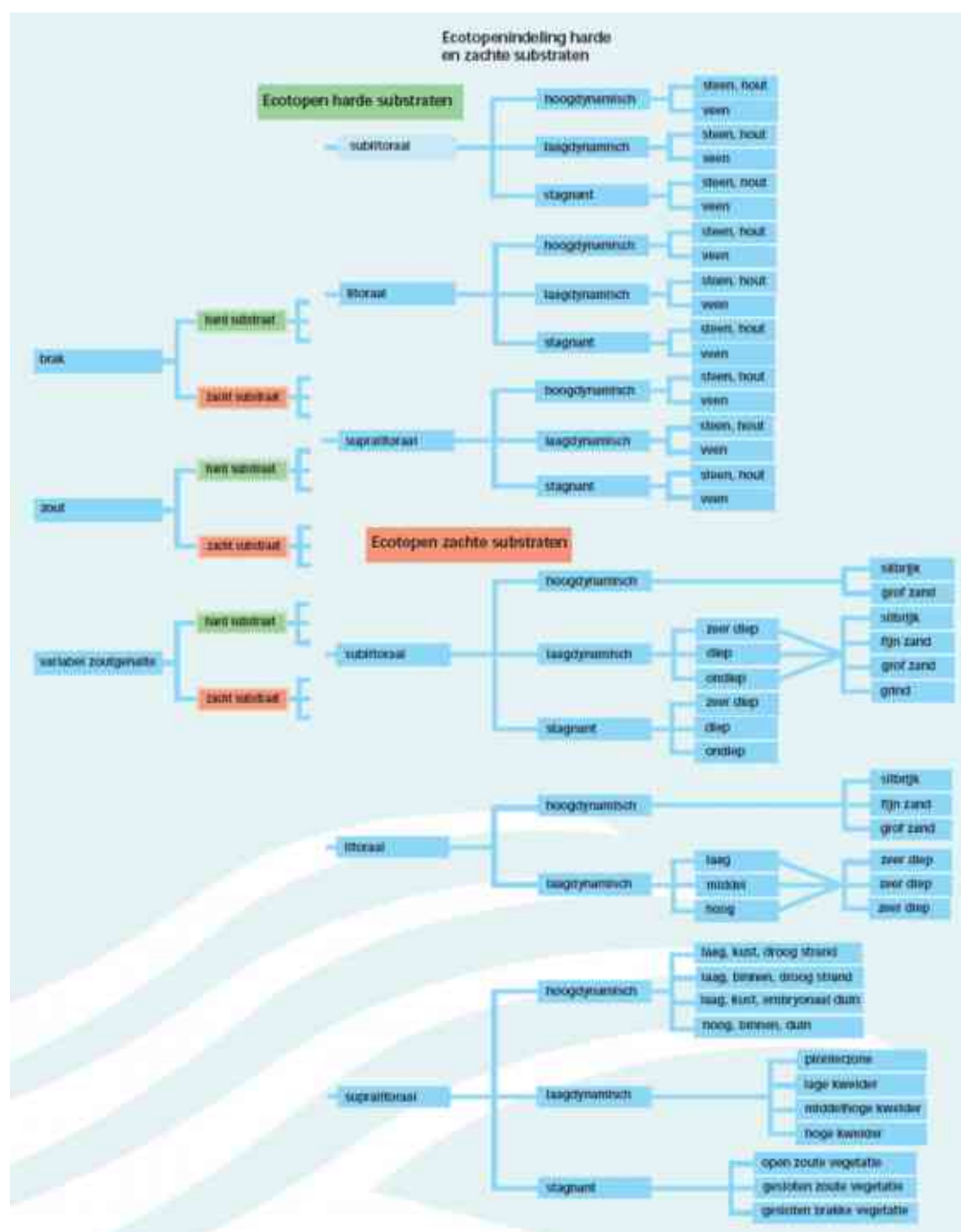


Foto 2.9. Substraat type beïnvloedt de hoogte waarop soorten op een dijktalud kunnen voorkomen. Stellendam buitenhaven.



Foto 2.10. Substraat type beïnvloedt de hoogte waarop soorten op een dijktalud kunnen voorkomen. Zie de verspringing in de groen bruin algen zone halverwege de foto, Nieuwe Waterweg, tegenover Stena Line, Hoek van Holland.

Figuur 2.1. Ecotopenindeling van harde en zachte substraten volgens het ZES (kopie uit Bouma et al., 2005).



### 2.5.3 Andere systematieken

In het BIOMAR-Life project is een ecotopen-indeling opgezet die is toegesneden op harde en zachte ecotopen die voorkomen langs de kusten van het Verenigd Koninkrijk en Ierland. Dit systeem (zie voorbeeld in de bijlage) bevat zeer gedetailleerde definities van ecotopen in een hiërarchie (van groot naar klein: ecotoop-complex, ecotoop, sub-ecotoop) die op ruimtelijke schaal is gebaseerd. Ook in dit systeem zijn bepalende omgevingsfactoren

gedefinieerd en geclassificeerd. Hard substraat wordt omschreven als ‘Rock’ of ‘Bedrock’, ‘Boulders’. Geen onderscheid wordt gemaakt op basis van bijvoorbeeld steensoorten. Er is een gedetailleerde beschrijving van substraat in vele grootteklassen, waarbij ‘boulders’ weleens relevant voor onze stortsteen in de bermnen zouden kunnen zijn. Klassegrenzen van de meeste omgevingsfactoren zijn fysisch gezien niet erg duidelijk gekwantificeerd (behalve voor substraten).

In Europa is een generieke ecotopen-classificatie opgezet in het EUNIS project. Het ZES is door de opstellers vergeleken met EUNIS. Duidelijk is dat de gedefinieerde ecotopen niet volledig overeenkomen. In sommige gevallen is ZES meer gedetailleerd (zie Z1.112-113, sublitorale veenbanken), in andere gevallen EUNIS. BIOMAR definieert ‘biotopes’ (ecotopen) maar benut de karakteristieke voorkomende soorten in de definitie en naamgeving (Appendix 4). BIOMAR lijkt veel meer dan de andere twee systemen te focussen op classificatie gebaseerd op soorten die voorkomen in typische soortengemeenschappen.

Tabel 2.2. Vergelijking ZES en EUNIS voor harde substraten (uit Bouma, 2005).

ZES.1	EUNIS
<b>X1.1 hard substraat in het sublitoraal</b>	<b>A3 sublittoral rock and other hard substrata</b>
Z1.111 hoogdynamisch steen/hout	A3.2 infralittoral rock moderately exposed to wave action and/or currents and tidal streams A3.6 circalittoral rock moderately exposed to wave action or currents and tidal streams
Z1.121 laagdynamisch steen/hout	A3.3 infralittoral rock sheltered from wave action and currents and tidal streams A3.7 circalittoral rock sheltered from wave action and currents including tidal streams
Z1.131 steen/hout in stagnant water	A1.42 hydrolittoral solid rock (bedrock)
Z1.112 hoogdynamische veenbank Z1.122 laagdynamische veenbank Z1.132 veenbank in stagnant water	A1.45 hydrolittoral peat
eco-element scheepswrak	---
eco-element mosselbank	A1.44 hydrolittoral <i>Mytilus edulis</i> beds

ZES.1	EUNIS
<b>X1.2 hard substraat in het litoraal</b>	<b>A1 littoral rock and other hard substrata</b>
Z1.211 hoogdynamisch steen/hout	A1.2 littoral rock moderately exposed to wave action
Z1.221 laagdynamisch steen/hout	A1.3 littoral rock sheltered from wave action
Z1.212 hoogdynamische veenbank Z1.222 laagdynamische veenbank	A1.45 hydrolittoral peat
<b>X1.3 hard substraat in het supralitoraal</b>	---

In ZES, BIOMAR en EUNIS worden de ecotopen gekoppeld aan het voorkomen van soorten gekoppeld (zie bijvoorbeeld bijlagen A1 en A4). Onderstaand voorbeeld uit BIOMAR geeft een duidelijk beeld van het niveau van de biologische kennis en de koppeling met de omgevingsvariabelen.

Hieronder volgt een voorbeeld voor een ‘Zeepokken en bruinwieren’ ecotoop-complex MLR.BF (de hoogste en minst gedetailleerde laag in de gebruikte hiërarchie), uit BIOMAR database.

Tabel 2.3 Ecotoop MLR.BF, classificatie omgevingsfactoren

Salinity: Full  
 Wave exposure: Moderately exposed  
 Substratum: Bedrock; boulders  
 Zone: Eulittoral  
 Height band: Upper shore, Mid shore, Lower shore

Ecotoop-complex beschrijving (letterlijk overgenomen uit de database):

“On moderately exposed rocky shores the extent of fucoid cover is typically less than that found on sheltered shores (SLR.F). The fucoids form a mosaic with barnacles on bedrock and boulders, rather than the blanket cover associated with sheltered shores, except for on the lower shore where there may be dense *Fucus serratus* (MLR.Fser). Beneath the band of lichens at the top of the shore (LR.YG and LR.Ver) the channel wrack *Pelvetia canaliculata* typically occurs overgrowing the black lichen *Verrucaria* spp. with sparse barnacles (MLR.PelB). Below, barnacles and limpets *Patella* may cover extensive areas of rock (ELR.BPat), particularly on steep or vertical rock. In the absence of ELR.BPat, the spiral wrack *Fucus spiralis* may occur (SLR.Fspi). On the mid shore the bladder wrack *Fucus vesiculosus* generally forms a mosaic with barnacles (MLR.FvesB). Finally, the serrated wrack *Fucus serratus*, dominates the lower shore (MLR.Fser); a number of sub-biotopes have been described: lower shore bedrock and boulders may be characterised by mosaics of *F. serratus* and turf-forming red algae (MLR.Fser.R); where the density of *F. serratus* is greater (typically common - superabundant) and the abundance of red algae less MLR.Fser.Fser should be recorded. The presence of boulders and cobbles on the shore can increase the micro-habitat diversity which often results in a greater species richness. Although the upper surface of the boulders may bear very similar communities to MLR.Fser.Fser there is often an increase in fauna (crabs, tube-worms, sponges and bryozoans) and MLR.Fser.Fser.Bo should be recorded.”

Tabel 2.4 Karakteristieke soorten, hun typische abundantie, de kans op voorkomen en de betrouwbaarheid van de voorspelling, volgens BIOMAR

<b>Species</b>	<b>Typical abundance</b>	<b>Frequency</b>	<b>Faithfulness</b>
<i>Chthamalus montagui</i>	Frequent	*	***
<i>Semibalanus balanoides</i>	Frequent	****	*
<i>Patella vulgata</i>	Frequent	****	*
<i>Gibbula umbilicalis</i>	Occasional	*	**
<i>Melarhapse neritoides</i>	Frequent	*	**
<i>Flustrellidra hispida</i>	Occasional	*	**
<i>Lomentaria articulate</i>	Occasional	**	**
<i>Membranoptera alata</i>	Occasional	*	**
<i>Leathesia difformis</i>	Occasional	*	**
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Occasional	*	**
<i>Fucus serratus</i>	Abundant	****	*
<i>Pelvetia canaliculata</i>	Frequent	*	**
<i>Verrucaria maura</i>	Common	*	**

## 3 Analyse van bestaande ontwerp kennis

### 3.1 Introductie

In het kader van dit project zijn in samenwerking met eindgebruikers Havenbedrijf Rotterdam en Rijkswaterstaat Directie Zeeland een aantal veld-excursies georganiseerd. Gedurende deze visites zijn tal van karakteristieke locaties bezocht en zijn aspecten van milieugradiënten, materiaalsamenstelling en dijkontwerp in detail bekeken. Hiernaast is al discussierend een overzicht ontstaan van de relevante studies die zijn uitgevoerd voorafgaand aan dit project. Tijdens de gezamenlijke excursies is veel informatie uitgewisseld tussen waterbouwkundigen en biologen, waarbij veel inzicht is verkregen in de wijze waarop vanuit de verschillende disciplines naar een dijk wordt gekeken. De biologen dalen af naar de teen of kreukelberm en speuren naar details langs de waterlijn, de ingenieurs bevinden zich in de nabijheid van de kruin en beschouwen de dijk en de zee vanuit aspecten zoals golven, bekleding, stabiliteit en veiligheid.



Figuur 3.1 Twee verschillende werelden

### 3.2 Civieltechnisch ontwerp van dijken en waterkeringen

Traditioneel worden dijken vooral door civieltechnici ontworpen en gemaakt. In die zin is een Rijke Dijk niet zomaar ontworpen. Het doel van een dijk of waterkering is het water buitendijks te houden en daarmee overstromingen voorkomen. Situaties zoals 1953 in Nederland, 1954 en 1962 in Duitsland en liefst ook 2005 in de Verenigde Staten (Katrina) willen we koste wat het kost voorkomen.



Foto 3.1a-c. Historische dijkdoorbraken

Veiligheid tegen overstromen bepaalt voor een groot deel hoe een waterkering eruit ziet. Ten eerste zijn het in Nederland vaak hoge constructies, want naast een stormvloed die vaak in de buurt van +5 m NAP ligt, moeten ook golven worden gekeerd. Dijken hebben vaak een hoogte die orde +10 m NAP ligt. Het bovenste gedeelte en het binnentalud is vaak van gras.





Foto 3.2 Afsluitdijk



Foto 3.3 Waddenzeedijk

Naast voldoende hoog moet een waterkering onder maatgevende stormcondities voldoende sterk zijn. Dit houdt in dat vooral het gedeelte rondom de stormvloedstand en daar beneden bestand moet zijn tegen zware golfaanval. Veelal bestaat het buitentalud uit een boventalud (vaak gras), een berm en benedentalud (vaak een bekleding zoals een steenzetting of asfalt) en een teenconstructie of kreukelberm.



Foto 3.4 Boventalud (gras), berm (asfalt) en benedentalud (eerst gepenetreerde basalt en daarna basalt).

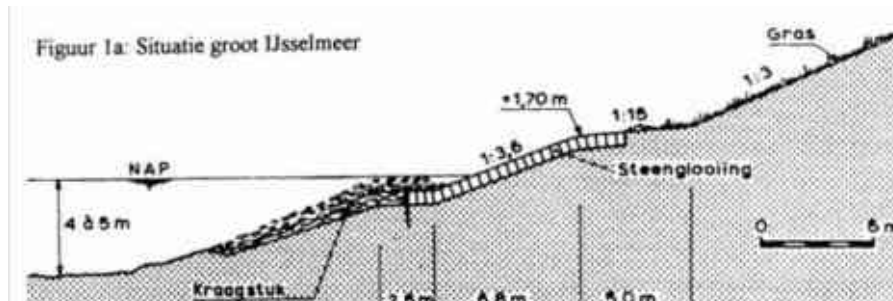


Foto 3.5 Benedentalud: basalt en Noorse steen

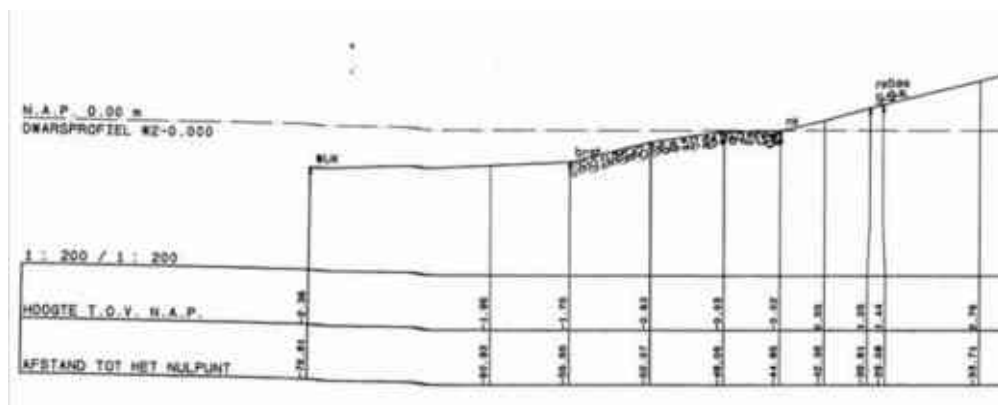


Foto 3.6 Een kreukelberm als teenconstructie

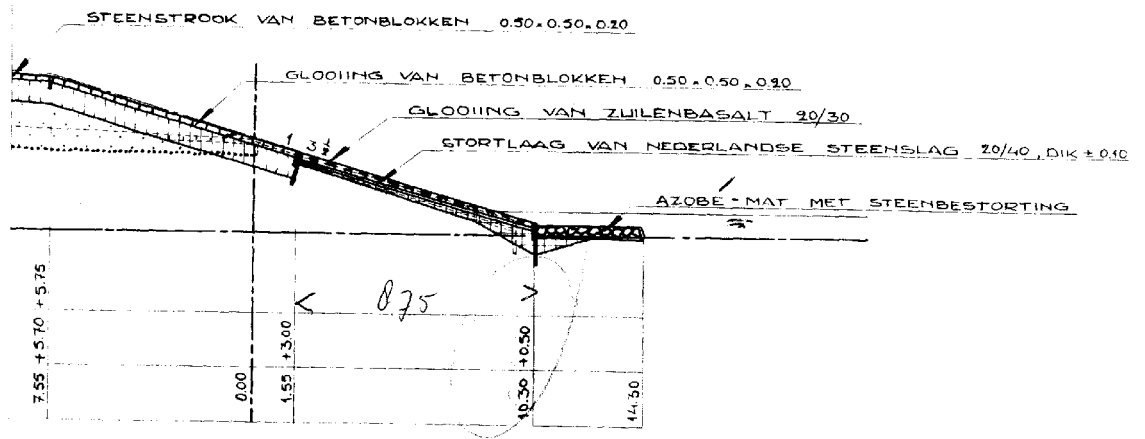
Er is heel veel onderzoek verricht naar steenbekledingen op het benedentalud en er zijn veel richtlijnen voor het ontwerpen en toetsen. Het onderste deel, de teenconstructie of kreukelberm wordt echter vaak traditioneel ontworpen. Een aantal ontwerpen van teenconstructies wordt in de onderstaande figuren gegeven.



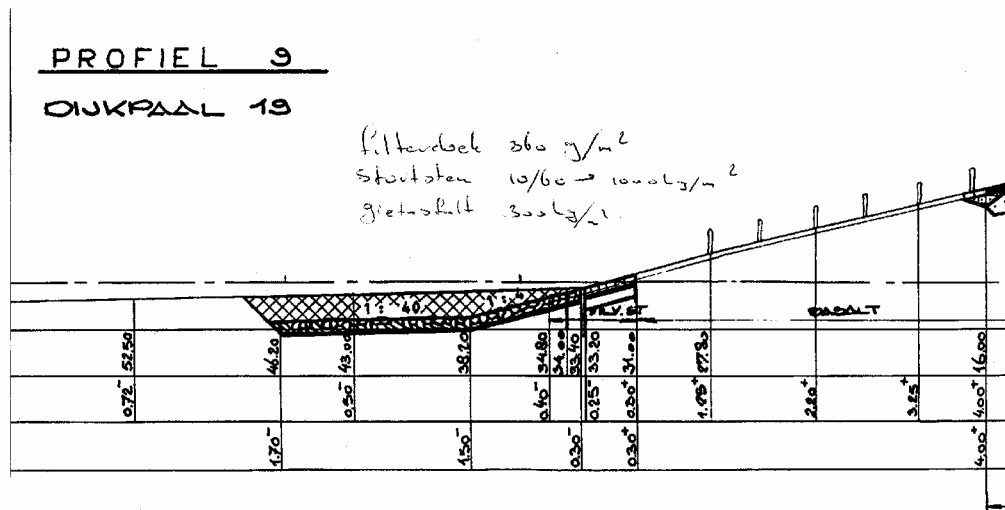
Figuur 3.2 IJsselmeer: een stortstenen berm rondom de waterlijn met een breuksteen onderwatertalud en een steenzetting op het benedentalud



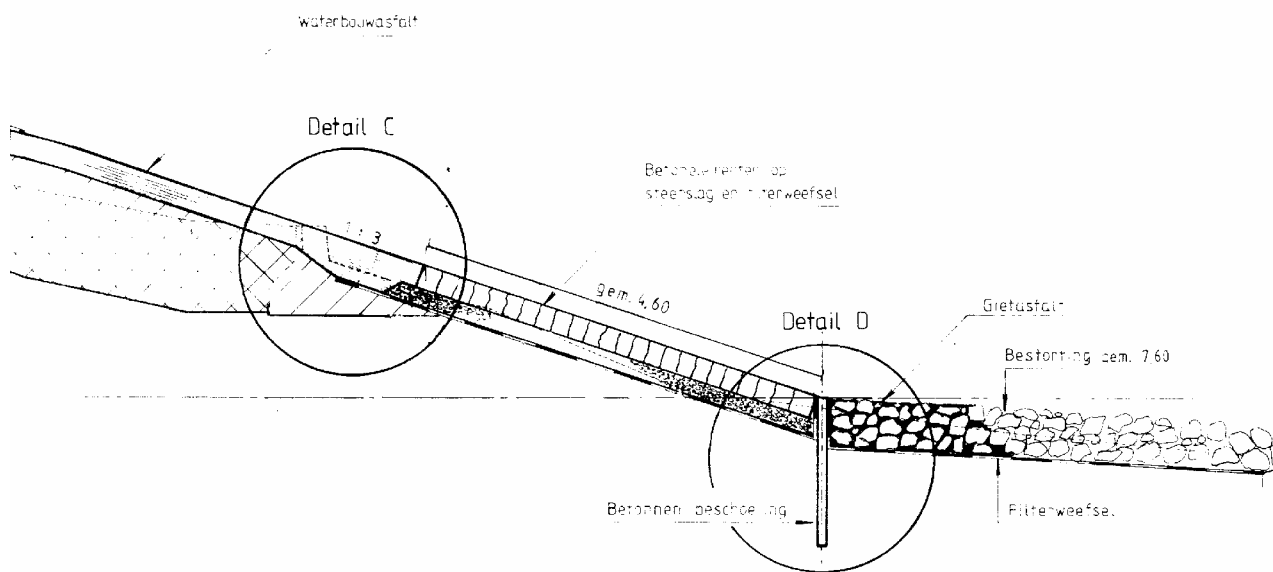
Figuur 3.3 Waddenzee: stortsteen rondom NAP en op onderwatertalud



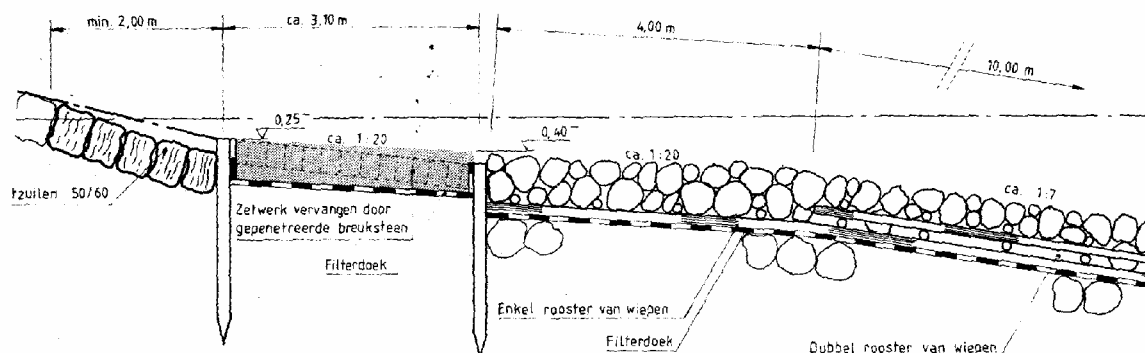
Figuur 3.4 Paulinapolder: een kreukelberm op het voorland



Figuur 3.5 Een teenbestorting lager dan het voorland



Figuur 3.6 Prins Hendrikpolder: een kreukelberm op het voorland



Figuur 3.7 Pettemer zeewering

### 3.2.1 Ontwerpregels

De teen is gelegen in de zone die te maken krijgt met dagelijkse, of zeer frequente golfaanvallen. Het ontwerp hiervan moet derhalve bestand zijn tegen golven met een significante golfhoogte van meer dan 2 meter. Recent zijn er vrij eenvoudige ontwerpregels afgeleid voor een minimaal ontwerp van een stortstenen teen of kreukelberm:

1. Als geen schade is gewenst of toelaatbaar is, geldt:  
10-60 kg voor significante golfhoogte ( $H_s$ )  $\leq 2$  m  
40-200 kg voor  $H_s > 2$  m
2. Als enige schade acceptabel is voor extreme situaties, dan geldt:  
10-60 kg voor  $H_s < 3$  m
3. Als de bovenkant van de teenbestorting gelijk ligt met het voorland is in alle gevallen 10-60 kg voldoende.

Samengevat bestaat het civieltechnisch ontwerpen van een benedentalud met teenconstructie vaak uit het toepassen van breuksteen voor de teen en een taludbekleding voor het benedentalud. De breuksteen moet een minimale afmeting hebben voor stabiliteit tegen zware golfaanval en de bekleding een minimale dikte. Bij het uiteindelijke ontwerp wordt dan nog naar aanleg- en onderhoudskosten gekeken.

### 3.2.2 Conclusies

De voornaamste conclusie uit het civieltechnisch ontwerp naar de ecologie toe is:

Bij het ontwerpen van dijken en zeeweringen is de hoogte belangrijk en de bekleding op het buitentalud. Het onderste gedeelte, een deel van het benedentalud en de teen, is veel minder belangrijk en dit is juist de zone waar het getij en dus de ecologie een rol speelt. Vaak worden deze onderdelen traditioneel ontworpen, maar vanuit de Rijke Dijk gedachte is er heel veel vrijheid.

Wat betreft deze vrijheid kan worden gedacht aan:

- bredere stortsteen kreukelbermen

- toepassen van grotere, zachtere en poreuze steen
- toepassen van brede sorteringen (veel grote en kleine stenen)
- ecologisch optimale hoogte van de kreukelberm
- andere toepassingen dan stortsteen
- optimalisatie toplaag van bekledingen benedentalud naar ecologie
- optimalisatie afmetingen blokken (dwarsafmetingen) van benedentalud

Het is duidelijk dat de keuzevrijheid in vorm, sortering en materiaal kan leiden tot verandering van de kosten die voor aanleg en onderhoud die normaliter van ‘standaard’ dijken en zeekeringen worden begroot. De gevolgen hiervan worden in hoofdstuk ??? ‘kosten en baten’ besproken.

### 3.3 Relevante voorafgaande toepassingen

#### 3.3.1 Dijk tuin proeven Oosterschelde

In de Oosterschelde werd in 1992 op Neeltje Jans een proefvak aangebracht (Dijk tuin 1) om inzicht te krijgen in de natuurwaarde die zich zou ontwikkelen op verschillende typen dijkbeekleding. Deze proef werd in 1996 afgerond. In 1997 is een vervolgonderzoek opgestart (Dijk tuin 2) om de natuurwaarde van intussen ontwikkelde nieuwe typen beekleding te beproeven. In het eerste onderzoek is gekeken naar natuursteen en beton varianten. In het tweede onderzoek zijn nieuw ontwikkelde beton varianten meegenomen (Basalton met eco-toplaag, Hydroblock met ecotoplaag, PIT-polyzuilen met eco-toplaag), is het effect van gebruik van twee soorten gietasfalt in combinatie met breuksteen bestudeerd en is colloïdaal spuitbeton beproefd. De ontwerpen van de dijkbeekleding werden gemaakt met het programma ANAMOS van Waterschap Zeeuwse eilanden. Proefvakken hadden een grootte van 15x25m.

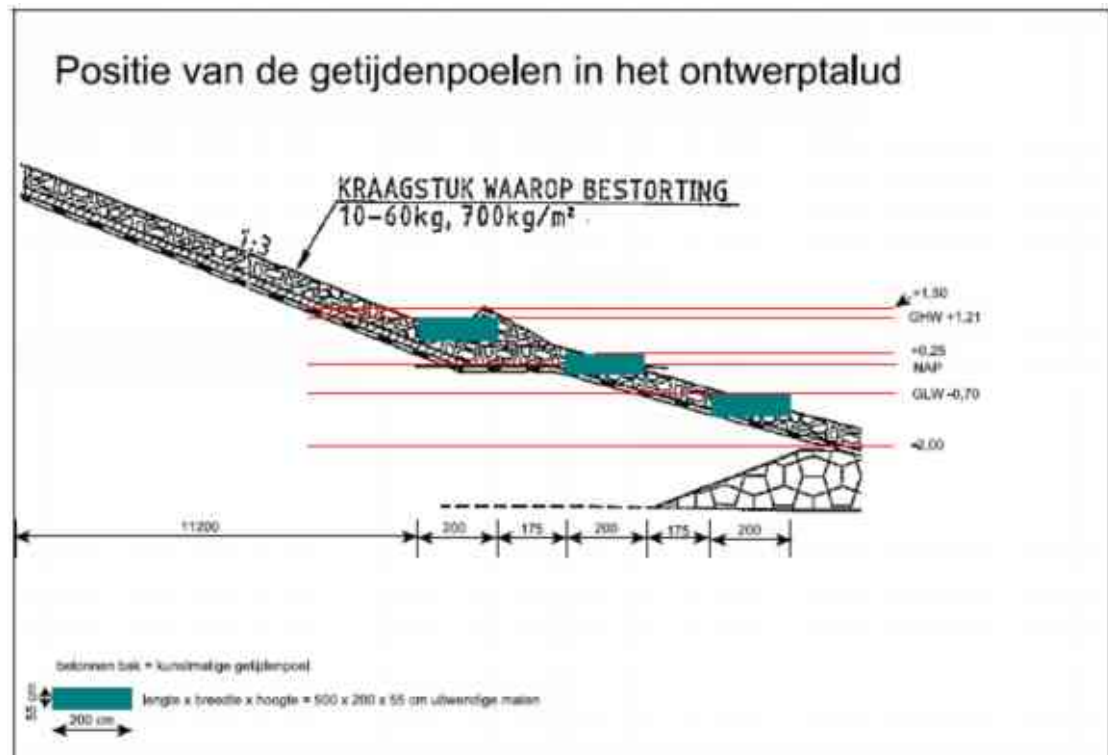
Kosten van uitvoering en beheer zijn beschreven en een milieuwaardering op basis van DUBO aspecten is gemaakt. De ecologische ontwikkeling van deze vakken is gedurende een aantal jaren in detail gevolgd door Rijkswaterstaat RIKZ.

Dit onderzoek geeft bruikbare inzichten in veel ontwerp aspecten die ook voor een Rijke Dijk van toepassing zijn. Het is echter vooral geconcentreerd op toepassing van aangepaste beekleding in de intergetijd zone. De biologische waarde lijkt vooral te liggen in de ontwikkeling van meer of minder dichte wier-vegetaties met bijbehorende fauna.

#### 3.3.2 Proef met kunstmatige getijdenpoelen Paalvast en HbR

Havenbedrijf Rotterdam heeft P. Paalvast (Ecoconsult) gevraagd om een ontwerp voor kunstmatige getijdenpoelen, voor toepassing in de Hartelhaven. Hierbij was de doelstelling om de natuurwaarde van harde taluds te versterken door het creëren van min of meer permanente poeltjes, die een geschikte habitat zouden kunnen vormen voor soorten zoals anemonen, alikruiken en mosselen en mobiele dieren als garnalachtigen, krabben, heremietkreeften, zeesterren en juveniele vis.

Deze getijdenpoelen zijn niet aangelegd. De in het talud te verwerken getijdenpoelen zouden gaan bestaan elk uit een bak van gewapend zeewaterbestendig beton met een buitenmaat van 500 x 200 x 55 cm met een wanddikte van 15 cm. De binnenmaat is daarmee 470 x 170 x 40 cm. Deze bakken zouden zodanig in het talud worden geplaatst, dat de bovenranden zich respectievelijk op het niveau van GHW (+1,21m NAP), GW (+0,25m NAP) en GLW (-0,70m NAP) bevinden. Hoe de bakken zich tot het ontwerptalud verhouden is weergegeven in figuur XXX.



Figuur 3.8. Getijdenpoelen in talud Hartelhaven (ontwerp). Figuur en beschrijving is overgenomen uit projectvoorstel van P. Paalvast.

### 3.3.3 Eiland in zee

In het kader van een studie door WL | Delft Hydraulics naar de aanleg van een eiland in zee ten behoeve van de luchtvaart is aandacht gegeven aan het ontwerp van zeeweringen en de consequenties voor de soorten (Baptist et al, 1997):

#### *Begin citaat*

De harde kustverdediging van het te ontwerpen eiland heeft een verschillende opbouw voor de verschillende zijden van het eiland. De meest geëxponeerde zijdes (west, zuid en noord) bevatten brede onderwaterbermen om de golfaanval te verminderen. Voor de oostelijke, beschutte zijde is dit niet noodzakelijk.

De zuid- en noorduiteinden zijn identiek aan elkaar en bestaan uit twee onderwaterbermen op NAP -10 en NAP -2 en een dijk tot NAP +17. De onderwaterbermen bestaan uit een schuin oplopende dam en een bermgedeelte van ieder 50 meter lengte. De

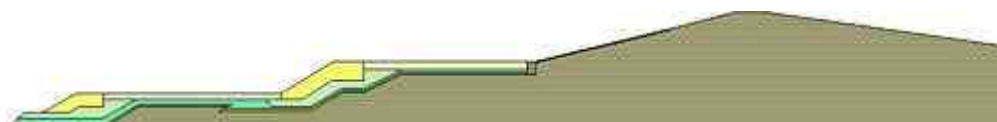
onderwaterdammen zijn opgebouwd uit een dubbele laag betonnen kubussen met een doorsnede van 2.0 meter (20 ton) voor de diepste dam en 2.6 meter (40 ton) voor de ondiepe dam. Het bermgedeelte is opgebouwd uit stortsteen van 3-7 ton voor de diepe berm en 5-10 ton voor de ondiepe berm. Deze stenen worden niet netjes gestapeld maar semi-willekeurig gestort. Er zullen grote holtes ontstaan tussen de blokken, waar planten en dieren zich kunnen vestigen.

De zuidwest- en noordwestzijde van het eiland heeft een soortgelijke opbouw, maar is verschillend wat betreft de ondiepe berm. Deze loopt op van -1m NAP tot +1m NAP, zodat in deze intergetijde zone een specifieke soortengemeenschap ontstaat.

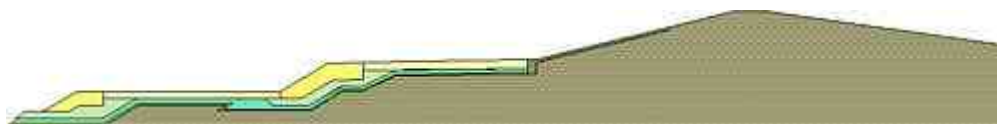
De oostzijde van het eiland bestaat uit een schuin aflopende dijk met een helling van 1:2 en is opgebouwd uit relatief kleine stortsteen van 1-3 ton.

Het westelijke uiteinde tot slot bevat een berm die op +2m NAP ligt, zodat de relatief hoge golven gebroken worden.

Geadviseerd wordt beton te gebruiken dat een grote ruwheid heeft aan de buitenkant. Een goedkope productiemethode bereikt dit resultaat. Ruw beton geeft meer aanhechtingmogelijkheden voor flora en fauna.



Figuur 3.9a: De westelijke punt van het eiland (bovenste berm op NAP +2m en NAP +1m)



Figuur 3.9b: De noordwestelijke punt en zuidwestelijke zijde (berm tussen NAP -1m



Figuur 3.9c: De noordelijke en zuidelijke punt van het eiland (berm op NAP -2m)



Figuur 3.9d: De landzijde (oostzijde) van het eiland (harde oever met een intergetijdegebied van 200m). Figuren afkomstig van <http://eilandinzee.wldelft.nl>.

De verschillende zijden van het eiland bevatten dus sublittorale bermen, eulittorale bermen en supralittorale bermen, resulterend in een diverse soortensamenstelling. In het ontwerp voor de zuidwest- en noordwestzijde bevindt de intergetijdezone zich op de ondiepe onderwaterberm die bekleed is met stortsteen van 5-10 ton. Er zal een brede zone ontstaan voor typische eulittorale soorten. Bij een gemiddelde getijslag van 1.85 meter zal bij hoog



water deze berm bijna geheel onder water lopen, terwijl bij laag water de gehele berm droogvalt. In deze strook zullen de bovengenoemde groen- en bruinwierzones met geassocieerde organismen gevonden worden. Vanwege de relatief grote porositeit van de dam zal het zeewater zich tussen de stenen van de berm bevinden over een lengte van 60 meter. Afhankelijk van de lichtindringing is groei van wieren tussen de blokken mogelijk en zullen zich ook dierlijke organismen kunnen vestigen.

De ondiepe berm voor het zuid- en noorduiteinde bevindt zich in zijn geheel op een diepte van NAP -2m. Dit betekent dat deze berm te allen tijde onder water ligt, met een minimale waterdiepte van 1 meter. De ondiepe ligging garandeert een rijke verscheidenheid aan soorten, terwijl dit gebied tegelijkertijd een slecht foerageergebied voor meeuwen vormt. Dat is belangrijk, want aan deze uiteinden van het eiland bevinden zich startende en landende vliegtuigen. Dit gaat ook op voor het westelijke uiteinde. Hier is gekozen voor een berm die in zijn geheel boven water ligt, om de golven te breken en om geen foerageermogelijkheid te bieden voor meeuwen.

*Einde citaat*

Uit dit voorstel blijkt duidelijk dat door middel van aanpassing van het ontwerp, zowel habitats voor gewenste soorten kunnen worden gecreëerd als voor ongewenste soorten kunnen worden vermeden.

### 3.3.4 Toepassingen buiten Nederland

De Rijke Dijk ontwerpen kunnen worden gezien als kunstriffen, die als doel hebben om zowel een civiele als biologische functie te vervullen. In Europa is onderzoek naar de potenties van kunstriffen reeds 3 decennia gaande. Veel onderzoek is gedaan in de landen rond de Middellandse zee. Belangrijke insteek is geweest om habitats te beschermen of te herstellen. Van meer recente datum zijn onderzoeken om de bruikbaarheid van kunstmatige materialen te beproeven in relatie tot verhoging van productiviteit van specifieke soorten (zoals kreeften, schelpdieren of commerciële vissoorten). In Rusland en Polen is gewerkt aan het effect van riffen als biofiltreerders om waterkwaliteit te beïnvloeden (zie overview artikel van Jensen, 2002). In Europa is in vele landen ervaring (in zowel zoete als zoute systemen) over de constructie, plaatsing en het effect van 'reefballs' ([www.reefball.org](http://www.reefball.org)). In de Grevelingen is het Kabbelaarsrif geplaatst dat bestaat uit honderden 'reefballs' met een diameter van 1-3 meter.



Foto 3.7. Reefballs in Kabbelaarsrif, de Grevelingen.

Een interessant project is het Schotse Loch Linnhe artificial reef project waar men onderzoek doet aan de effecten van een met betonblokken gebouwd rif op de lokale biodiversiteit, met nadruk op effecten op de visstand ([www.sams.ac.uk](http://www.sams.ac.uk)). Het rif (42.000 ton gestort materiaal) bevindt zich op een diepte van 10 tot 20 meter en is dus volledig subtidaal.



Foto 3.8 Ontwerpen gebruikt in de Loch Linnhe Artificial Reef project. Twee varianten, links het 'massieve' blok en rechts het 'complexe' blok



Foto 3.9 4000 'complexe' blokken liggen klaar voor transport en toepassing.

Een niet Europees voorbeeld voor een Rijke Dijk zijn de kunstmatige blokken die geplaatst zijn in de 'seawall' voor Kansai Airport in Japan (Furodoi et al, 2002, ook de figuren in deze paragraaf zijn daaruit ontleend). Doelstelling was om de oppervlakte wier-habitat die verloren zou gaan bij de aanleg van het vliegveld in zee te compenseren, om op die wijze het functioneren van het ecosysteem van het gebied niet meer dan nodig te verstoren. Hiertoe zijn speciale betonblokken ontwikkeld die geoptimaliseerd werden zowel in vorm als in plaatsing als basis voor wiergroei (Kajime, oftewel de 'kelp' Sea bamboo, *Ecklonia maxima*). Belangrijke resultaten waren de waarneming dat de soortendiversiteit na een aantal jaren niet significant meer afweek van een natuurlijke wier-habitat, de wier-biomassa op de speciaal ontwikkelde substraten was hoger (tot 4x) dan in de natuurlijke situatie. Mogelijk zijn de verschillen veroorzaakt door de beschikbaarheid van gunstiger substraat en meer helder water (4-5m doorzicht) in vergelijking met de kust nabije zone.

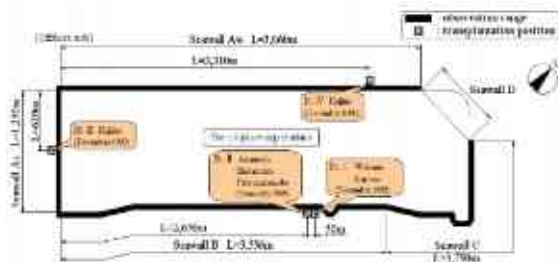


Fig-3.1 Seaweed seedling transplantation positions and observation range



※ Type-A : 2×2×0.5m, type-B,C: 2×2×1m

Photo-3.1 Types of attaching ground

Table-3.1 Outline of the 1<sup>st</sup> phase seaweed bed formation

Seawall	Date	Seaweed	Type of seaweed bed	Lift	Number and type of attaching ground	
					Clay (approximate)	Flax (approximate)
Seawall B	1 Dec. 1995	Wakana	Kelp	Manual	SW-4 Type-A block	Type-B block
		Eucema			SW-4 Type-A block	Type-B block
	8 Aug. 1997	Alginaria	Softwood	Manual	SW-2 Type-A block	Type-B block
		Tyrocystaceae			SW-2	Type-B block
Seawall A	8 Dec. 1996	Eucema	Kelp	Manual	SW-4 Type-A block	Type-C block
Seawall A	17 Dec. 1996	Eucema	Kelp	Manual		Type-C block

Table-3.4 Characteristics of C-type seaweed blocks by shape

Type	Major characteristics
C1-type	Horizontal holes (through holes) are made from the side to offer a gathering place for fish.
C2-type	Vertical holes are made from the top to offer a gathering place for fish.
C3-type	Horizontal blind holes are made from the side for lobsters, and its upper surface is stepped to facilitate staying of seedlings by eddy current.

Opvallend is dat in het ontwerp rekening is gehouden met habitat voorwaarden van meer soorten dan alleen de bestudeerde wieren. Overigens zijn de resultaten voor wat betreft voorkomen en dichtheden van vissoorten en kreeften niet gerapporteerd. Wel is bekeken op welke wijze larven en juveniele ‘spotted parrot’-vis vanuit de wierdijken met de heersende watercirculatie en drijvende algenbundels werd verspreid in het omliggende gebied. Hieruit bleek dat de aangelegde ‘Rijke Dijk’ rond het vliegveld wellicht een belangrijke rol zou kunnen spelen in het ecosystemefunctioneren op grotere ruimteschaal in Osaka Bay. Onderstaande figuur laat het sterke effect zien van verschillende ontwerpen.

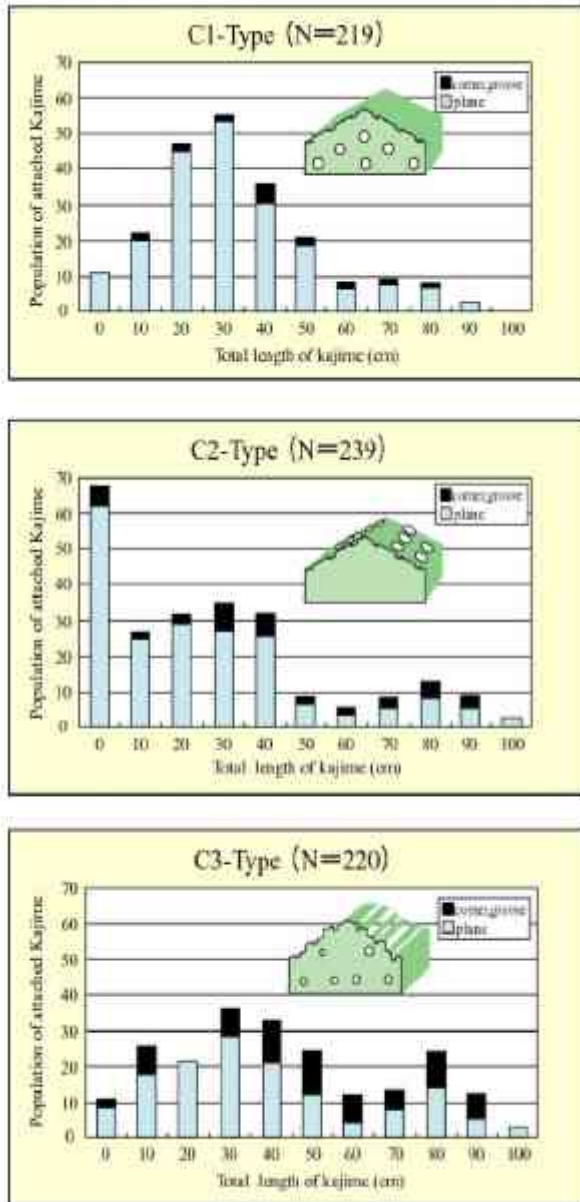


Fig.-3.4 Population of attached Kajine by its length

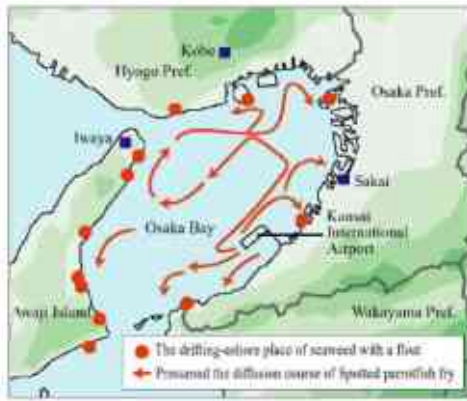


Fig-3.11 Migration and dispersion of floating seaweed and Spotted parrotfish



Photo-3.2 Juvenile Spotted parrotfish following floating seaweed, and floating seaweed with a transmitter

## 4 Ontwerpen van Rijke Dijken

De in hoofdstuk 2 beschreven sturende factoren en in hoofdstuk 3 samengevatte praktische kennis kunnen verder worden uitgewerkt tot globale ontwerpen voor Rijke Dijken langs de Nederlandse kust.

In dit project zijn in de vorm van een ontwerp-atelier globale ontwerpen voor Rijke Dijken gerealiseerd. De ontwerpopdracht was gebaseerd op verschillende karakteristieke combinaties van diepte en golf-expositie:

1. Geëxponeerde dijk op diep water;
2. Beschutte dijk op diep water;
3. Beschutte dijk op ondiep water.

Voor ieder van deze combinaties zijn ontwerpen gemaakt door een groep van ‘civielers’ en ‘biologen’. Belemmerende factoren zoals kosten of onderhoud zijn in deze fase van het vrij-ontwerpen niet meegenomen. Ook is uitgegaan van volledig nieuwe dijkontwerpen, niet van aanpassingen aan bestaande dijken.

Uit de bovenstaande randvoorwaarden wordt duidelijk dat geen onderscheid is gemaakt tussen brakke en zoute systemen. Vanuit de beschikbare biologische kennis kan vrij nauwkeurig de invloed van zoutgehalte op (niet) voorkomen van soorten worden beschreven. De getijslag is bepalend voor de verticale zonering van soorten en zal dus een rol spelen in combinatie met de hellingen die zijn gekozen in de diverse ontwerpen.

Bij het ontwerp van een Rijke Dijk is uitgegaan van een optimalisatie van een aantal ontwerpaspecten:

- *Het dwarsprofiel*. Door bijvoorbeeld een zeer flauw talud in de intergetijdezone te ontwerpen is het oppervlakte intergetijdegebied fors te vergroten. Door onderbrekingen in het profiel te maken zijn getijdepoeltjes te creëren.
- *Materiaalkeuze* (kalksteen, asphalt, beton, basalt, etc.). Poreus, ruw materiaal met een goed watervasthoudend vermogen biedt de beste vestigingsmogelijkheden.
- *Steenzetting*. Door niet te netjes te zetten ontstaan holtes en spleten. Door stenen getrap te zetten ontstaan kleine poeltjes met water.
- *Sortering* van het materiaal. Gestort materiaal met een brede sortering leidt tot een grotere diversiteit in holtegroottes.
- *3D ontwerp*. Door ontwerpen te maken in drie dimensies, kunnen natuurlijke rotskusten geïmiteerd worden en wordt de verscheidenheid aan habitats vergroot.

### 4.1 Resultaat ontwerp 1, Geëxponeerde dijk op diep water

De geëxponeerde dijk op diep water is een type dat voorkomt aan de buitenzijde van havens, aan de zeezijde van grote kunstwerken (Stormvloedkering, Haringvlietsluizen), als afsluiting van zeegaten (Brouwersdam) of als primaire zeewering (Pettemer zeewering). Kenmerkend is de ligging aan open en diep zeewater, waarbij de dijk vrijwel dagelijks is blootgesteld aan een grote golfaanval en stevige stroming.

Er is meestal geen, of slechts een smalle kreukelzone aanwezig en de vooroever is steil. Over het algemeen is de eulittorale zone beperkt in omvang, maar de sublittorale zone steekt diep. In het ontwerp liggen dus kansen om de eulittorale zone te vergroten en de sublittorale zone optimaal te benutten. Bovendien is een kenmerkende eigenschap van het geëxponeerde karakter dat er een grote spatwaterzone aanwezig is in het supralittoraal.

Mogelijkheden voor ecologisch rijke ontwerpen zijn geïnspireerd door natuurlijke rotskusten. Hierin treft men bijvoorbeeld langgerekte plateaus aan in het eulittoraal, de zogenaamde 'rocky benches'. Ook kan men refereren naar rotsachtige uitsteeksels uit de kust, de 'rocky outcrops'. Deze verlengen niet alleen de kustlijn, maar creëren ook microhabitats aan de beschutte zijde van de outcrop. Tot slot kan er gebruikt worden gemaakt van rif-achtige systemen; steil opgaande wanden waarin soorten een habitat kunnen vinden en waarin zich schuil- en paaiplaatsen voor vis bevinden.

#### 4.1.1 Hoofdlijnen van het ontwerp:

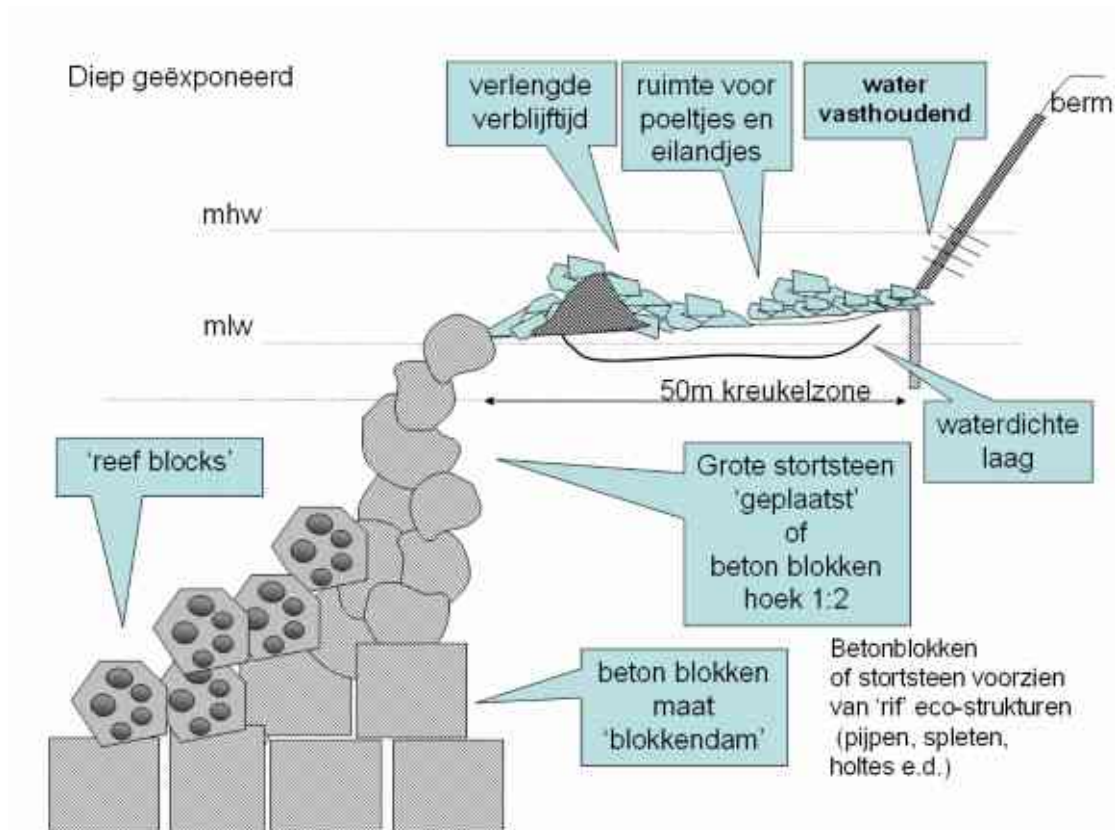
- Water is diep, veel golfwerking, meestal stevige stroming, nu en dan aanzienlijke helderheid. Golfbreker of havenhoofd aan diep water.
- Supralittoraal is interessante brede zone door invloed grote hoeveelheid zout spatwater.
- Eulittoraal in horizontaal en vertikaal benutten door creëren van maximale oppervlakte met flauwe energetische gradiënten.
- Oppervlak in sublittoraal benutten omdat hier veel biodiversiteit en productiviteit kan worden gecreëerd.

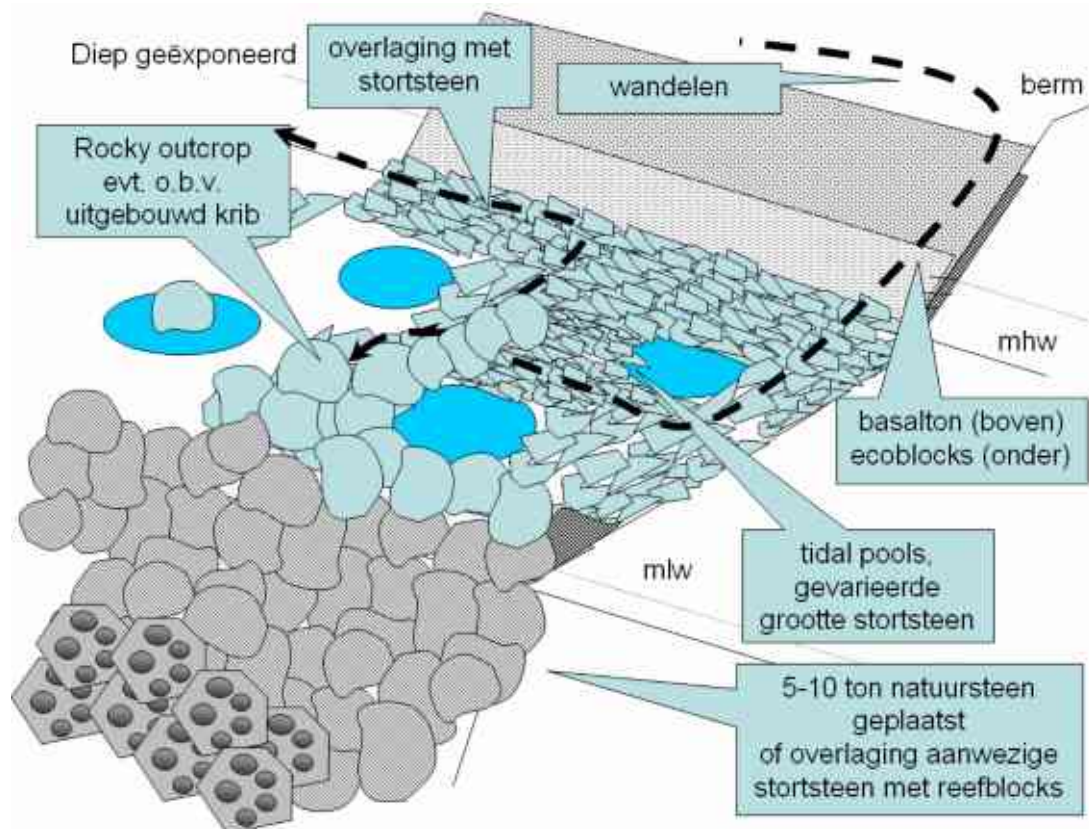


	<b>Supralittoraal</b>	<b>Eulittoraal</b>	<b>Sublittoraal</b>
Fysische karakteristieken			
Diepte	meer dan -5 meter NAP		
Stroomsnelheid	nvt	>0.5m/s	>1.0m/s
Golfwerking	veel spatwater	Hs>>0.5m	
Licht	nvt	gehele zone	mogelijk bovenste paar meter
(Zoutgehalte)		zout	zout
Dwarsprofiel	<b>steenglooiing</b>	<b>kreukelzone</b>	<b>voorland</b>
Hellingshoek(en)	liefst flauw om brede zonering te bewerkstelligen (1:5)	zo flauw mogelijk	steil (1:3, 1:2)
Onderbrekingen in het profiel		eventueel afsluiten met berm of 'rocky outcrops'	'rocky outcrops'
Materiaalkeuze	variabel, eco- toplaag	stortsteen (Vilvoordse of andere poreuze steen)	Stapeling met holle blokken. grote blokken grote stortsteen
Steenzetting	watervasthoudend gezet	ongelijkmatig gestort	(on)gelijkmati g gezet
Sortering van het materiaal	grootte van spleten en holtes: centimeters- decimeters.	minimale steen grootte 50cm? de steen moet stabiel onder golven zijn	500kg – 10 ton maximale nuttige spleetgrootte 50 cm
3D ontwerp		variatie grootte sortering en hoogte in lengterichting, aanbrengen poeltjes	variatie grootte sortering holtes en spleten, overhang creëren.
Beoogde soortengemeenschappen	Zonering van wieren en uitgebreide korstmossen zonering + halofyten (zoutminnende planten).	bruinwieren met bijbehorende fauna	fotische zone: wieren, daaronder (grote) vissen, kreeften, sepia, zeebaars, snotolf, dodemansduim .
Beoogd recreatief medegebruik			duiken en vissen

(recreatief,  
commercieel)

## 4.1.2 Schetsen





## 4.2 Resultaat ontwerp 2, Beschutte dijk op diep water

De beschutte dijk op diep water is een type algemeen als haven-oever of haven kade. Kenmerkend is dat er voor de dijk een smalle of geen kreukelzone aanwezig is in combinatie met een steile of diepe (kunstmatige) vooroever. In sommige gevallen is de kreukelzone begroeid met wieren, of liggen er mossel-of oesterbanken, maar in de meeste gevallen is deze vooroever onbegroeid. De steile vooroever is arm aan soorten.

Een gunstig aspect aan de diepe ligging is dat er gebruik gemaakt kan worden van de lange eu- en sublittorale zone tussen gemiddeld hoog water en de onderkant van de vooroever. De smalle eulittorale zone is geschikt te maken voor verschillende typen organismen, zowel wieren als benthische fauna, voor zover er een kreukelberm aanwezig is. Waar geen licht beschikbaar is, kan, mits de watercirculatie ten behoeve van voedselaanvoer en verversing voldoende is, onder een kade nog een hoge productie van filtrerende schelpdieren worden gehaald ('donker palen-bos').

In de sublittorale zone is ruimte voor een rif-achtig ecosysteem. Dit houdt in dat, gaande van boven naar beneden wieren worden vervangen door habitats voor onder andere holtedieren, kreeftachtigen en vissen. Een eerste inschatting is dat deze variant benut zou kunnen worden door trekvisserij die in het brakke gebied rond de Nieuwe Waterweg op zoek zijn naar geschikte plekken om zich aan te passen aan nieuwe zoutgehaltes voordat verder kan worden gemigreerd.

Momenteel is er in het Rotterdamse havengebied zo'n 200 km glooiing en 70 km kademuur. In de toekomst mag wellicht meer lengte aan kademuur worden verwacht. Voordelen voor een havenbeheerder zijn duidelijk:

- Minder materiaal in de glooiing,
- Meer uitgeefbaar oppervlak voor opslag en gebruik,
- Kortere afstand schip tot laad/losplaats goederen

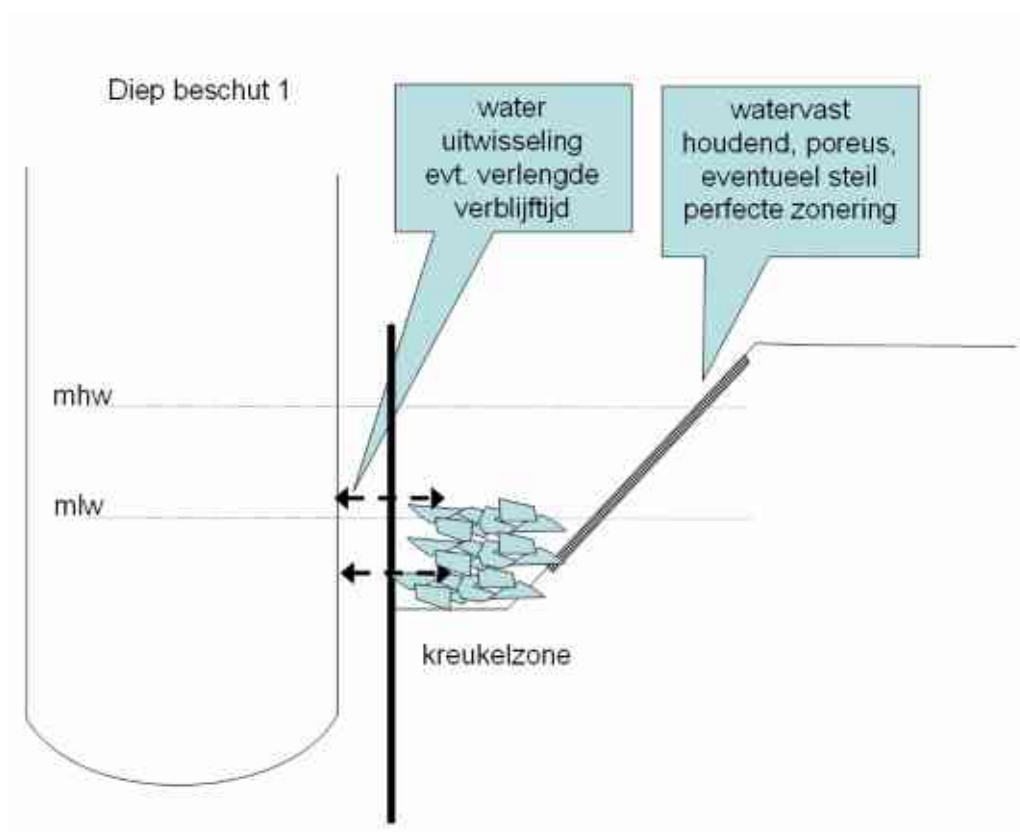
#### 4.2.1 Hoofdlijnen van het ontwerp

- water is diep, weinig golfwerking, meestal geringe stroming, kans op stratificatie, kans op aanzienlijke helderheid. Bijvoorbeeld havenkade of oever aan diep water.
- zoveel mogelijk oppervlak in sublittoraal omdat hier de meeste biodiversiteit en productiviteit kan worden gecreëerd.
- benutten van ruimte onder kade
- aanleg van natuurvriendelijke oevers met kreukelzone en ideale zonering

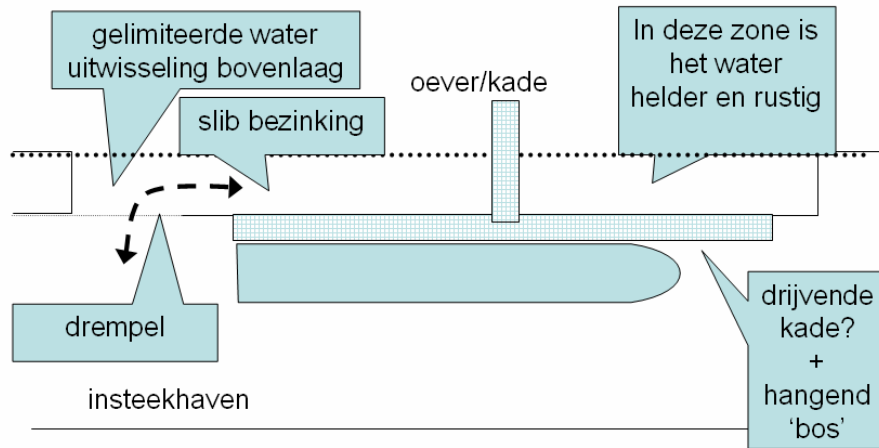
	<b>Supralittoraal</b>	<b>Eulittoraal</b>	<b>Sublittoraal</b>
Fysische karakteristieken			
Diepte	meer dan -5 meter NAP		
Stroomsnelheid	nvt	<0.5m/s	
Golfwerking	weinig spatwater	Hs<0.3m	
Licht	nvt	gehele zone	waarschijnlijk bovenste paar meter
(Zoutgehalte)		zout/brak/zoet	zout (stratificatie)
Dwarsprofiel	<b>steenglooiing</b>	<b>kreukelzone</b>	<b>voorland</b>
Hellingshoek(en)	steil (1:3)	zo flauw mogelijk	steil/vertikaal (<1:3)
Onderbrekingen in het profiel		Afsluiten met vertikaal profiel	
Materiaalkeuze	variabel, eco-toplaag	stortsteen (Vilvoordse of andere poreuze steen)	Stapeling met holle blokken. grote blokken grote stortsteen
Steenzetting	watervasthoudend gezet	ongelijkmatig gestort	(on)gelijkmatig gezet
Sortering van het materiaal	grootte van spleten en holtes: centimeters-decimeters	De steen moet stabiel zijn onder golfaanval	500kg – 5 ton Mogelijkheid voor soorten om aan plafond te hangen. Maximale nuttige holte-grootte 30-50cm.

3D ontwerp		variatie grootte sortering en hoogte in lengterichting, zie ook bovenaanzicht	variatie grootte sortering haltes en spleten, overhangs in lengterichting, zie tekening
Beoogde soortengemeenschappen	Zonering van wieren en beperkte korstmossen zonering	bruinwieren met bijbehorende fauna	fotische zone: wieren, daaronder (grote) vissen, kreeften, sepia zeebaars, snotolf, dodemansduim.
Beoogd recreatief medegebruik			duiken en vissen (recreatief, commercieel)

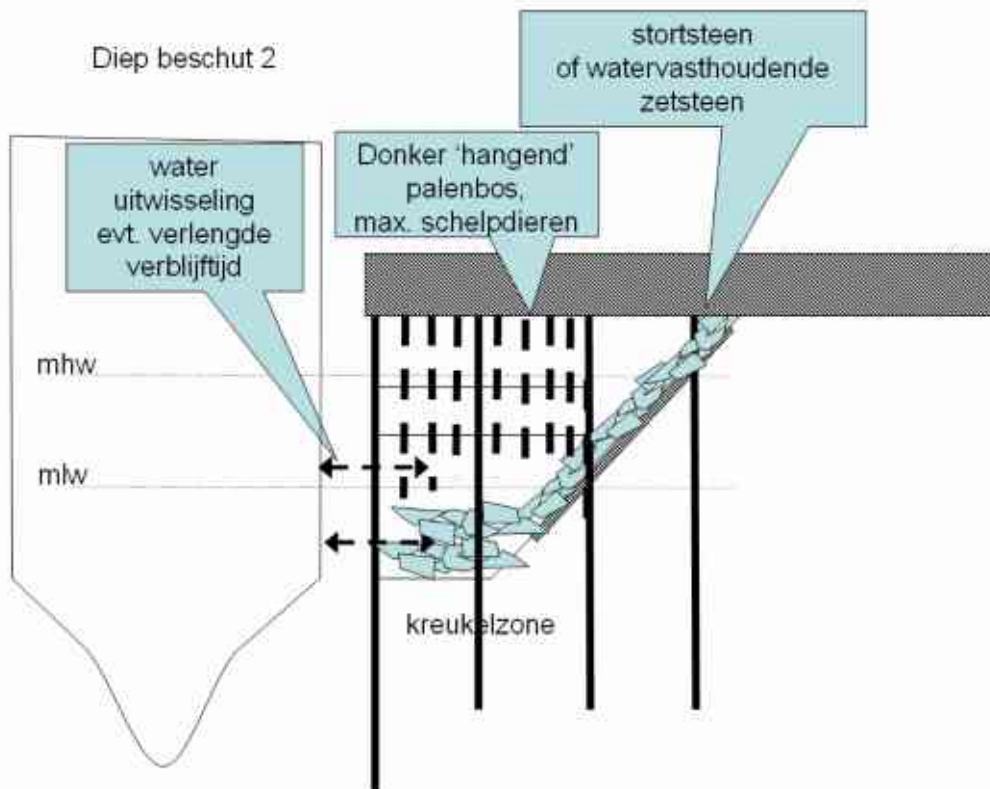
#### 4.2.2 Schetsen Ontwerp 2

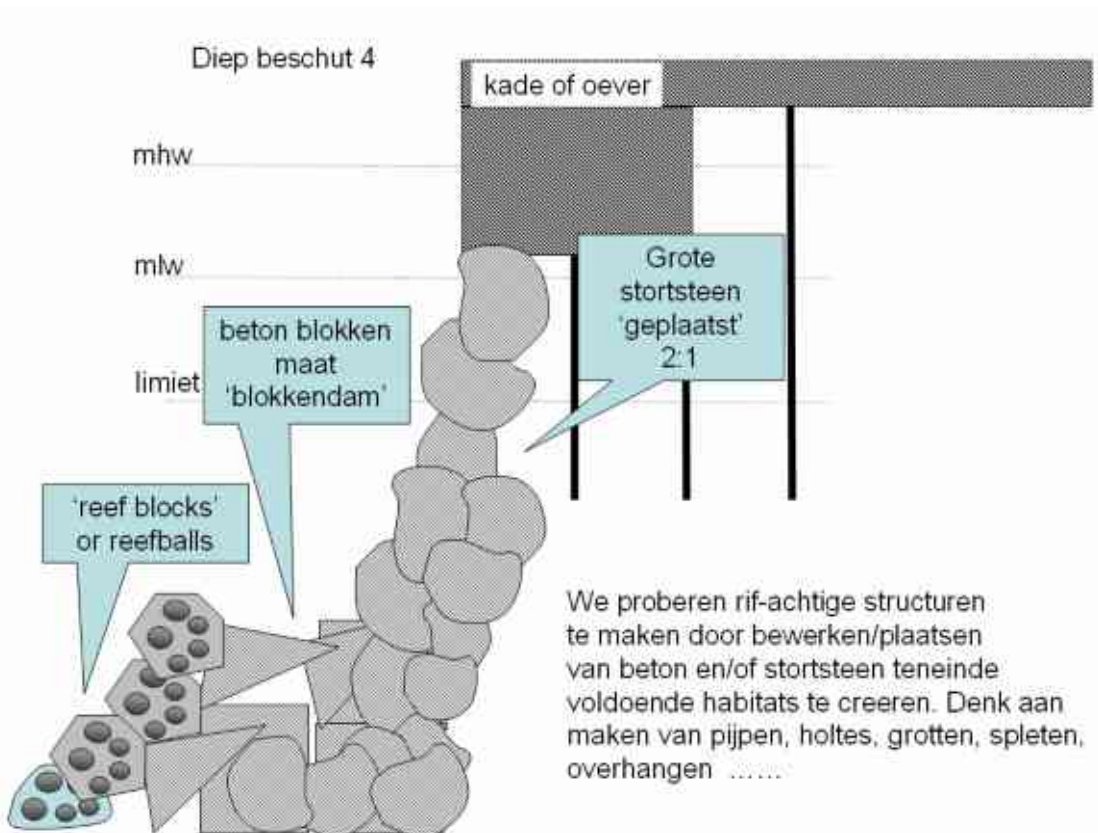
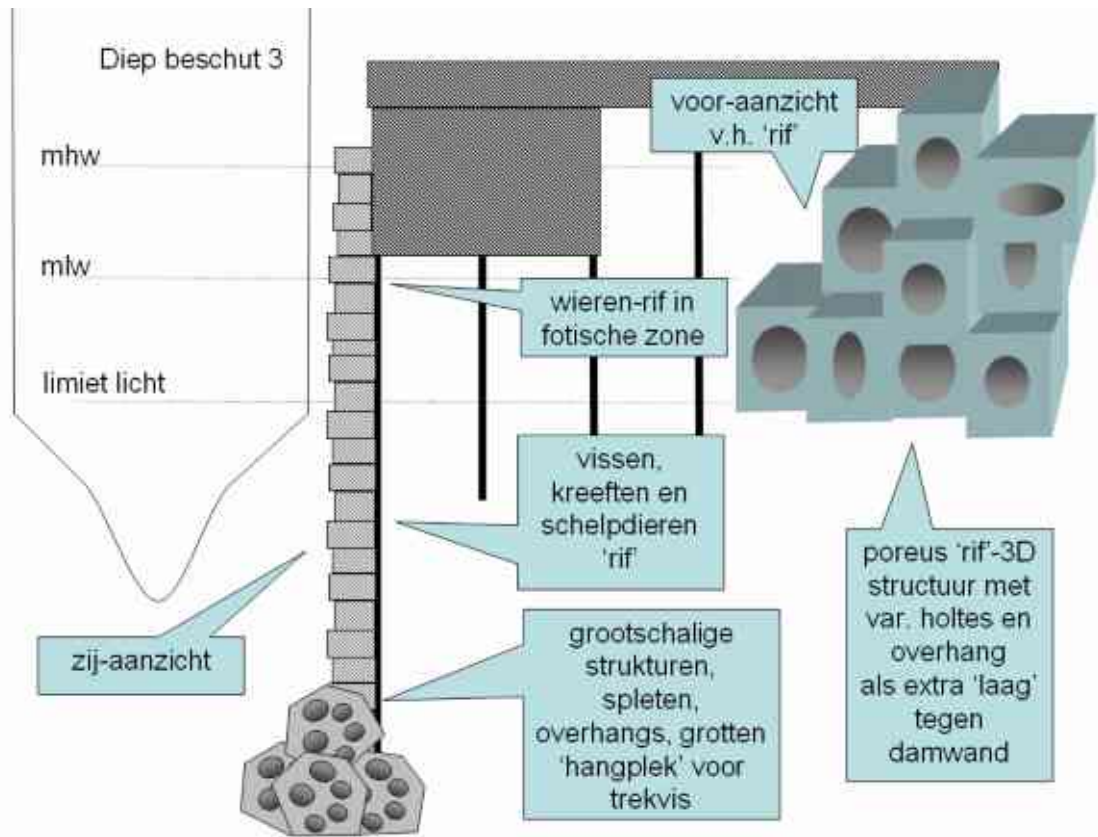


Diep beschut 1, bovenaanzicht



Diep beschut 2





Een idee van Johan Offermans (HbR) is om onder de kade of aan palen stalen ringen aan te brengen met daaraan hangende, verzwaarde touwen waarop organismen kunnen groeien.

### 4.3 Resultaat ontwerp 3, Beschutte dijk op ondiep water

De beschutte dijk op ondiep water is een veel voorkomend type. Kenmerkend is dat er voor de dijk vaak een slibbige of zandige, flauw hellende, ondiepe vooroever aanwezig is. In zeldzame gevallen is deze begroeid met zeegras, of liggen er mossel-of oesterbanken, meer frequent is deze begroeid met schor/kweldervegetatie, maar in de meeste gevallen is deze vooroever onbegroeid.

Een voordelig aspect aan de ondiepe ligging is dat er gebruik gemaakt kan worden van een eulittorale zone tussen gemiddeld laag en gemiddeld hoog water. Deze eulittorale zone is geschikt te maken voor verschillende typen organismen, zowel wieren als benthische fauna. Door gebruik te maken van reliëf en waterdichte lagen kunnen intergetijdepoeltjes worden gecreëerd.

#### 4.3.1 Hoofdlijnen van het ontwerp omvatten:

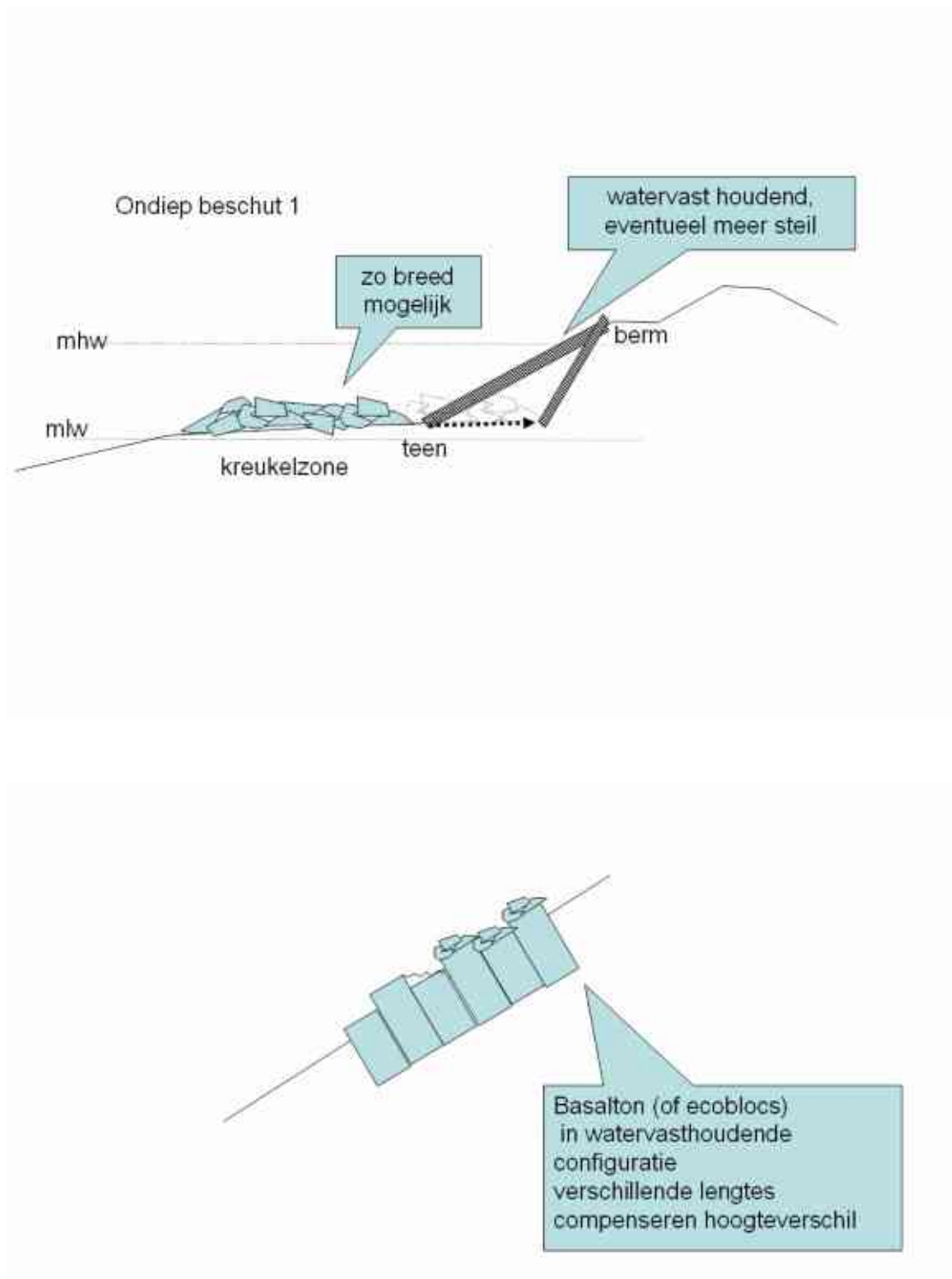
- zoveel mogelijk oppervlak in kreukelzone
- maximale watervasthoudendheid (poeltjes in kreukelzone en aanpassing steenzetting teen) en verlenging verblijftijd
- maximale productiviteit halen door inzetten palenbos
- benutting van kreukelzone en poeltjes door recreanten

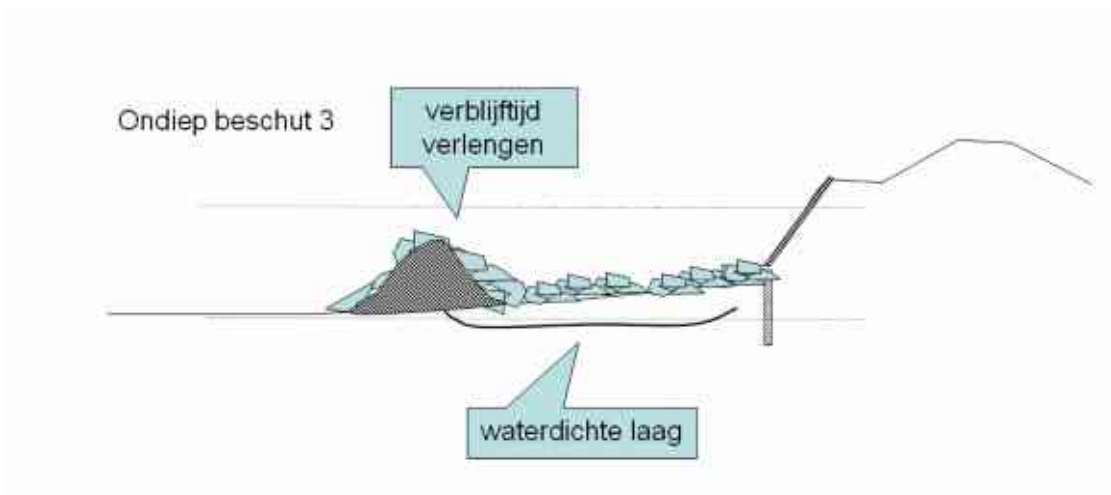
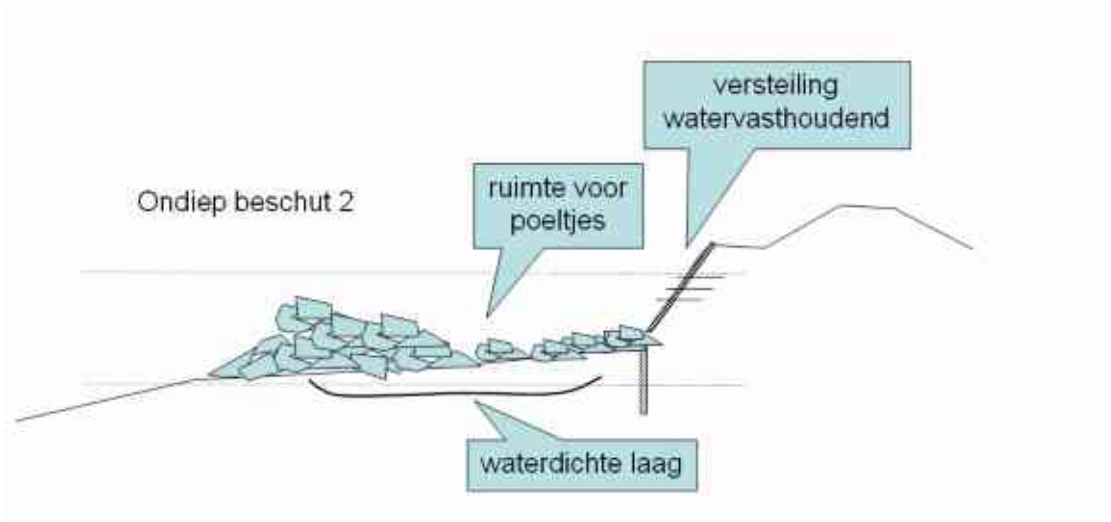
	<b>Supralittoraal</b>	<b>Eulittoraal</b>	<b>Sublittoraal</b>
<b>Fysische randvoorwaarden</b>			
Stroomsnelheid	nvt	<0.5m/s	
Golfwerking (Zoutgehalte)	spatwater	Hs<0.5m	
<b>Dwarsprofiel</b>	<b>steenglooing</b>	<b>kreukelzone</b>	<b>voorland</b>
Hellingshoek(en)	variabel	flauw profiel, op een hoogte van GLW+0.25*getij-amplitude evt. met verhoging aan uiteinde.	Natuurlijke helling met slibbig of zandig substraat
Materiaalkeuze	eco-varianten van basalt of hydroblock	stortsteen (soort?) met geotextiel Vilvoordse of andere poreuze	variant 4 palenbos van beton of hout

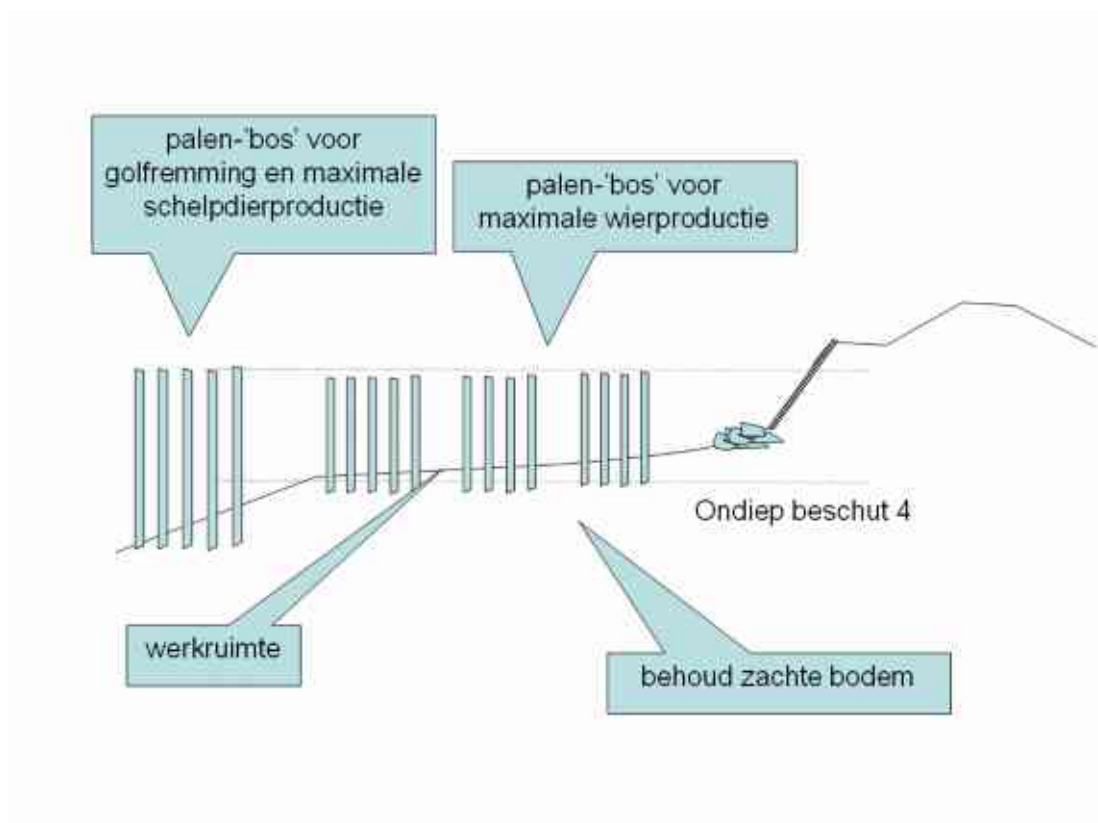


		steen	
Steenzetting	Trapsgewijs, watervasthoudend. Af en toe grotere poelen. Voldoende grote spleten voor aanhechting wieren.	ongelijkmatig met hier en daar bulten en poeltjes	
Sortering van het materiaal	variatie aanbrenge in de grootte van het uitgangsmateriaal. holtes: centimeters-decimeters	Holtes voldoende groot voor beschutting. De steen moet stabiel zijn onder golfaanval	
3D ontwerp		Wandelpaden door de kreukelberm? zie ontwerp 1	
Beoogde soortengemeenschappen	Zonering van wieren / korstmossen	Bruinwieren, paarde-anemonen, botervisjes	palenbos: schelpdieren/wieren
Beoogd recreatief medegebruik	wandelen	vissen, spelen, verzamelen, observeren	vissen, verzamelen

## 4.3.2 Schetsen Ontwerp 3







In ontwerp 3.4 wordt een verticale structuur aangebracht die effectief golven uitdempt en een maximale te benutten oppervlakte voor schelpdier- en wiergroei schept. Bovendien blijft de zachte bodem grotendeels onaangetast en zal zelfs opslibben.

#### 4.4 Richtlijnen voor ontwerp en monitoring

Onderstaand wordt puntsgewijs een aantal richtlijnen genoemd voor ontwerp en monitoring van toepassing op de bovenstaande ontwerpen.

- De meerwaarde van een (donker) palenbos, ontwerp 3.4 is reëel voor productie, zolang nutriënten en licht beschikbaarheid niet limiterend zijn. Dit principe wordt ook benut bij mosselpalen in Bretagne en mossel-touwen in de Oosterschelde. Naarmate de palen minder geëxponeerd staan, neemt de begroeiing door wieren toe. Voldoende lange palen zullen een verticale zonering van soorten vertonen (dit is ook te zien op bestaande paal constructies in havens. Ruimtelijke spatiering 1 per meter, met als materiaal ruw prefab beton en/of ongeschaafd hout levert waarschijnlijk nog geen groei-limitatie door concurrentie om licht en voedsel op. De palen en zeker de wier-priiken op de palen zouden door hun voedselbeschikbaarheid en schuilplaatsen kunnen werken als zogenaamde 'fish attracting devices' (een principe dat toegepast wordt in visserij in de tropen). Het is in een commerciële opzet wellicht mogelijk om grondstoffen uit wieren halen (met name uit *Fucus* en *Laminaria* soorten) voor allerlei industriële toepassingen (cosmetica, tandpasta, geneesmiddelen, agar, etc.) maar ook voor culinaire doeleinden. De optimale plaatsing in de verticaal, paallengte, spatiering en golfdempend effect op de dijk of zeewering is nog nauwelijks onderzocht.

- De grootte van intertidale poeltjes is niet beperkt tot een minimum, variatie in diepte vanaf een paar centimeter tot decimeters en grootte is waardevol.
- Variatie van het ontwerp in lengterichting langs de dijk of zeewering, levert meer biodiversiteit op en is recreatief interessant.
- Het verticale rif, ontwerp 2, vertoont een sortering en biologische zonering van boven naar beneden. Sortering bovenin is relatief fijn, met weinig spleten, maar wel met maximale aanhechtingspunten voor wieren. Dit is niet triviaal, gezien de verticale positie en de noodzaak van zaden om zich in rustig water te hechten. Hiervoor is veel ruwheid in het grensvlak van stroming langs de wand nodig (n.b. variërende stroomrichting door getij). De ruwheid moet groter zijn dan de steensortering op ecoblocks. Eerste schatting is dat de structuren orde 10-20 cm moeten zijn om voldoende plekken op te leveren waar zaden voldoende lang kunnen blijven liggen om te kiemen. Onder de fotische zone worden een grotere variatie met overhangen en holtes gecreëerd.
- De grootte van de holle stenen in het rif bepaald welke soorten zich zullen vestigen. Holtes kunnen een kegelvorm en een flesvorm krijgen met openingen tot 50 cm diameter). De diepte van een holte hoeft niet langer te zijn dan maximaal 1 meter. Wellicht is het interessant om hier en daar meerdere uitgangen te creëren? Dit geeft ook voor een rif gevormd met natuursteen in een geëxponeerde omgeving een indicatie van de optimale groottesortering (ontwerp 1).
- De oversteek van de overhangen hoeft niet meer 50cm tot een meter te bedragen, om de bijbehorende fauna een goede habitat te geven (mond.med. Rob Leewis).
- Wanneer manoeuvres van schepen langs een kademuur veel voorkomen, zou de extreme langsstroming kunnen worden afgeremd door hierop afgestemde stroomremmende verticale structuren aan te leggen.
- Reefballs hoeven niet groter te zijn dan een meter doorsnede, een mengsel van verschillende groottes is te prefereren. Ontwerpen en constructie methoden kunnen van het internet worden gedownload. Zie bijv. [www.reefball.org](http://www.reefball.org). Opmerking vanuit de beheerders is dat de 'ballen' wellicht te makkelijk weggrollen in een energierijke omgeving. Wellicht kunnen we beter gaan voor stapelbare reef-'blokken' of '-pyramides'.
- Het is mogelijk dat aanleg van diepstekende rif-achtige structuren introductie van nieuwe diersoorten van diepere rotsgemeenschappen tot gevolg heeft.
- Gebruik van andere materialen en constructies mag nimmer de primaire functie van een dijk aantasten. Suggestie van beheerders is of er ontwerpen mogelijk waarmee de biologische meerwaarde als een extra (en liefst ook makkelijk verwijderbare) 'laag' op de standaard ontwerpen wordt aangebracht. De bovenbelasting van kraanbanen op kades is zeer groot. Ontwerpen van een nieuwe constructie van een kade is daardoor lastig. Het lijkt meer haalbaar om een niet-functioneel voorzetstuk te bevestigen aan een

bestaande kade. Een idee van Johan Offermans (HbR) was om op een stalen damwand extra profielen (dwarsplankjes) aan te brengen voor begroeiing met organismen.

- Eco-blocs zijn geoptimaliseerd voor aangroei van wieren, niet als habitat voor andere soorten. Hier kan nog veel vooruitgang worden geboekt. Zijn er nog andere bruikbare materialen, vormen?

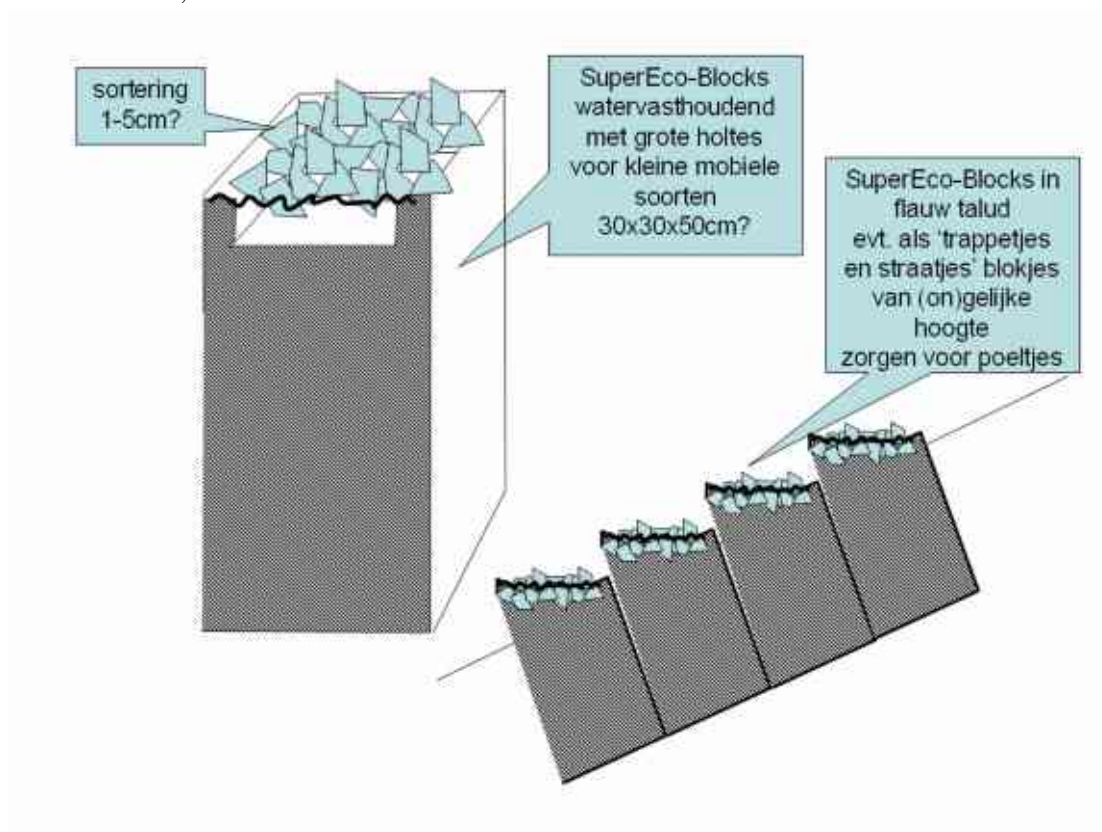




Foto 3.10. Verzakking van betonblokken (3 ton) op zeewering Westkapelle produceert vanzelf biologisch interessante poeltjes. Dit effect kan worden versterkt.

#### 4.4.1 Monitoring

Monitoring van nieuw aangelegd hard substraat is noodzakelijk om het effect te bepalen. Dit betreft zowel biologische monitoring (soorten inventariseren) alsmede civiel-technische monitoring (stabiliteit constructie, losse stenen, etc.). De biologische monitoring geeft eveneens inzicht in het gebruik door mobiele visgemeenschappen in de vorm van identificatie van eieren en juvenielen. Hiernaast is monitoring door bevissing noodzakelijk om het effect op de visgemeenschap aan te tonen. Om te kunnen vergelijken met een 'baseline' is een referentiesysteem en/of een historische tijdserie geschikt. De civiel-technische monitoring zal moeten uitmaken of het ontwerp voldoet aan de veiligheidsnormen en of er een sterk vergrote onderhoudsinspanning nodig is. Gezien de soms gevaarlijke locaties is uitvoering van monitoring in het subtidaal niet triviaal. Sommige typen kades bevatten een soort onderwatersteigers. Dit is een gevaarlijk milieu voor monitoring. Het is een besloten ruimte vanuit de ARBO-richtlijn en er kunnen zich gevaarlijke stoffen bevinden.

#### 4.5 Identificatie van kennislacunes

Per ontwerp is de optimale maatvoering en materiaalkeuze op grond van ecologische overwegingen wel globaal bekend. De sortering wordt breder, de stenen worden zachter en ruwer, door extra grootte wordt de benodigde stabiliteit gerealiseerd. In de vooroever en op

de kreukelzone kunnen palen worden geplaatst, die een effect hebben op golven en stroming waarbij tegelijkertijd zacht substraat wordt gehandhaafd. Met geotextiel en klei worden ondoorlatende kreukelzones gecreëerd. De teen wordt voorzien van watervasthoudende elementen en een meer ruwe structuur. Echter, er resteren nog een aantal belangrijke technische vragen:

- Wat is de beschikbaarheid van Vilvoordse steen in juiste grootte sortering voor gebruik als stortsteen in de kreukelzone? Een nadere onderbouwing kan volgen uit informatie over materiaaleigenschappen als de verweringsgraad en het soortelijk gewicht
- Als we zachte kalksteen inzetten als stortsteen in de kreukelzone, is dit dan net zo duurzaam als de normaal gebruikte steensoorten?
- Het onderwatertalud staat bloot aan een flinke belasting door de schroefstraal van manoeuvrende schepen. Binnenvaartschepen, die zelf manoeuvreren, leveren de grootste belasting, in tegenstelling tot de echt grote jongens die tegen de kade aan worden geduwd. De belasting door scheepsgolven bevindt zich in het intergetijdegebied en iets daar onder en boven.
- Biologisch gezien is een stabiele sortering van groot en klein door elkaar het meest gewenst. Hoe brengen we dit effectief aan?
- Wat is het kleinste materiaal (met wierbegroeing) dat stabiel is onder stroming en golven? In de Oosterschelde is dit ongeveer 10cm diameter (experiment in een stroomgoot doen?).
- Wat is een bruikbaar materiaal voor palen, hoe breng je ze aan, wat is het effect op de dijkstabiliteit? Wat is een goede spatiering?
- Hoe kunnen we voorkomen dat de vulling met klein materiaal tussen de grote blokken op de dijk bij storm een ‘zandstraal’ effect heeft op planten en dieren?
- Wat is de beste maatvoering en materiaalkeuze van verbeterde eco-zuilen?
- Wat is het effect van ruimtelijke structuren die water op de dijk vasthouden (zoals straatjes en trappetjes van eco-zuilen) op golfoploop en dijkonderhoud?
- Wat kosten de nieuwe vormen en sorteringen die toegepast gaan worden bij aanleg en in onderhoud?
- Welke nieuwe materialen (zoals C-fix van Shell, <http://www.c-fix.com/>) zijn bruikbaar voor ons doel en creëren meerwaarde?
- Kunnen we de Rijke Dijk ontwerpen niet combineren met verbeterde ontwerpen voor hogere zones op de dijken (zoals bijvoorbeeld overlaging)



## 5 Inventarisatie van kosten en baten

In hoofdstuk vier zijn drie ontwerpen met verschillende varianten beschreven. Het is duidelijk dat er vele mogelijkheden zijn om de functie van een dijk of zeewering in ecologische zin te verbeteren. De uiteindelijke haalbaarheid hangt af van

- de aard van de additionele functionaliteit (biodiversiteit, productiviteit, recreatie, visserij). Deze worden in de paragraaf ‘Baten’ uitgewerkt.
- kosten van (productie van) benodigd materiaal
- aanleg en onderhoudskosten
- kosten van monitoring
- kosten bij beëindiging van de functie
- toegevoegde risico’s vanuit primair gebruik van het gebied. Deze worden in de paragraaf ‘Risico’s’ uitgewerkt. Een speciaal ‘risico’ is de mogelijkheid dat nieuwe natuur in het havengebied conflicteert met de wensen van de gebruiker van het gebied uit het oogpunt van economisch rendement, als beëindiging in strijd is met vigerend natuurbeleid. Dit wordt in hoofdstuk 7 uitgewerkt.

### 5.1 Kosten

Het is nog niet mogelijk om precies aan te geven wat de meerkosten van een Rijke Dijk ontwerp zullen gaan bedragen. Hiervoor zijn een aantal redenen te noemen:

1. De ontwerpen zijn erg globaal en bieden weinig houvast voor een begroting
2. De ontwerpen gebruiken soms materialen en sorteringen die nu niet in de standaard ontwerpen worden gebruikt (bijv. afwijkende groottes en brede sortering Vilvoordse kalksteen te gebruiken als stortsteen in de kreukelzone)
3. De ontwerpen gebruiken nieuwe vormen (reefblocks en verbeterde ecozuilen) die nog niet zijn geproduceerd
4. De locaties zijn niet precies bekend, hierdoor wordt een inschatting van aanlegkosten moeizaam. Het is wel duidelijk dat toegankelijkheid een belangrijk issue is dat de aanlegkosten sterk gaat bepalen. Een locatie op de splitsingsdam die alleen per boot bereikbaar is zal een stuk duurder worden dan een locatie langs de Nieuwe Waterweg die via de weg kan worden bereikt.

Enkele prijzen zijn al in te schatten, uitgaande van kosten van aanleg van een traditioneel werk (op basis van tabel die wordt gebruikt door een grote aannemer, prijspeil 2005, exclusief de toeslag van orde 50-60 % die normaal wordt gerekend bij aannemen en uitvoeren van werk):

- Verwijderen reeds aangebracht materiaal
- Aanschaf en aanbrengen van geotextiel of klei.
- Aanschaf en aanbrengen van stortsteen (type wordt niet nader benoemd)
- Productie en aanbrengen van ecoblocks

Nog niet bekend zijn de kosten van:

- Aanschaf en aanbrengen van biologisch geoptimaliseerd voorzetstuk voor havenkades.
- Aanschaf en aanbrengen houten of betonnen palen of hangende kabels (palenbos)
- Productie en aanbrengen van nieuwe varianten ecoblocks

In onderstaande tabel wordt er echter wel een schatting van mogelijke prijzen voor typische rijke dijk structuren gegeven op basis van kosten van traditionele posten.

Post	eenheid	prijs (euro)	
grond ontgraven	tot 10.0000 m <sup>3</sup> (per m <sup>3</sup> )	0.65	wellicht nodig als we klei gebruiken om bodems af te dichten
grond vervoeren per as	10-20km	4.75	
verwerken klei in berm	m <sup>3</sup>	0.65	
aanbrengen geotextiel	m <sup>2</sup>	2.25	
levering en plaatsen betonzuilen	m <sup>2</sup>	80	nieuwe vormen van identiek materiaal zullen waarschijnlijk niet veel duurder zijn. Reefblocks vallen wellicht ook in deze prijsklasse (n.b. wel natte plaatsing!)
leveren en aanbrengen breuksteen 1-3 ton (nat)	ton	40	blijkbaar maakt de soort steen weinig uit in de prijsstelling. Prijs gebaseerd op rechtstreeks storten, niet op plaatsen van individuele steen. Overigens is deze sortering kleiner dan de grootste sortering bij Rijke Dijk ontwerpen.
leveren en aanbrengen breuksteen 60-300	ton	20	blijkbaar maakt de soort steen weinig uit in de prijsstelling
damwanden licht 7.5m	m	900	meter prijs van ontwerp 2 van rijke dijk zal tenminste dit bedrag zijn
damwanden zwaar 20m, verankering	m	4500	misschien een bovengrens voor meterprijs ontwerp 2
aanbrengen palen	m	30-150	sterk afhankelijk van de ondergrond en toegankelijkheid
verwijderen basalt	ton	4	
verwijderen asfalt	ton	10	
verwijderen basalton	ton	6.50	
verwijderen stortsteen 60-300kg	ton	6.50	
verwijderen palenrij	m	7.50	

(1.5m)			
onderhoudskosten dijk (indicatief)	km/jaar	75000	

## 5.2 Baten

De richtlijnen van OSPAR<sup>1</sup> over de toepassing van kunstriffen geven de volgende mogelijke baten aan:

- reductie van overstroming en kusterosie (in ons geval gaan het over toegenomen stabilisatie van de vooroever, reductie van golfaanval en golfoverslag);
- beschutte ankerplaatsen (in ons geval niet relevant);
- ontwikkeling van extra habitat voor kreeft-achtigen en vis;
- ontwikkeling van extra habitat voor algen, wieren en schelpdieren;
- middel om visserij te beperken in gebieden waar bepaalde soorten beschermd dienen te worden;
- creëren van vis-hotspots voor (sport-)visserij en duiksport;
- compensatie voor verminderde habitat kwaliteit op elders (door. ingrepen of natuurlijke processen);
- mitigatie van habitat verlies (bijv. als gevolg van herinrichting gebied of onderhoud);
- creëren van plekken die dienen als zaadbron voor de omgeving.

<sup>1</sup> *The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic ("OSPAR Convention") was opened for signature at the Ministerial Meeting of the Oslo and Paris Commissions in Paris on 22 September 1992.*

De baten van de aanleg van een Rijke Dijk moeten worden gezocht in de toename van areaal waarop de productiviteit van bekende, aan hard substraten gerelateerde, soorten is gemaximaliseerd. Dit zou betekenen dat biodiversiteit per strekkende meter niet noodzakelijkerwijs toeneemt, maar wel dat er meer biomassa in het gebied gaat voorkomen. Gebruik van meer diverse sortering van stortsteen levert meer complete habitats op, gebaseerd op een soort van ineenschuiven van habitats die nu door gebruik van vaste klassen van steen sortering in de ruimte gescheiden zijn. Voor mobiele aquatische soorten zoals krabben, kreeften en vissen zal het nieuwe areaal zeker aantrekkelijk zijn voor foerageren, opgroeien en reproductie. Dit levert op zijn beurt weer een aantrekkelijke plek op voor sportvisserij.

Het Rijke Dijk areaal wordt natuurlijk benut door vogels voor foerageren (niet voor broeden, het is immers te laag op de dijk), waarbij de productiviteit en het aantal strekkende meters gezamenlijk de draagkracht voor vogels bepaald. Het lijkt waarschijnlijk dat aantallen vogels langs dijken en in havens niet door voedselaanbod maar door broedplaatsen worden gelimiteerd. In dat geval nemen concentraties vogels in de buurt van Rijke Dijken mogelijk wel toe, maar niet de aantallen in het gehele gebied.

Tenslotte kan voor trekvis zoals zeeprink, zalm, fint en zeeforel het nieuwe areaal uitstekend worden benut als plek voor acclimatisatie aan een zouter of zoeter watersysteem. Dit geldt met name voor Rijke Dijken in havenbekkens, die een langere verblijftijd en daardoor kleinere zoutfluctuaties en gereduceerde hydrodynamiek kennen. De inzet van varianten van ontwerp 2 in deze context zou effectief kunnen blijken omdat hiermee foerageer en schuilmogelijkheden voor de trekvis wordt gecreëerd in een trekroute waar nu weinig of geen schuilmogelijkheden zijn.

Introductie van nieuwe soorten (over de hele breedte van het voedselweb) door aanleg van Rijke Dijken is niet waarschijnlijk, immers alle te gebruiken substraten met bijbehorende algen- en foeragerende diersoorten komen nu ook al in het gebied voor. Het is natuurlijk wel te verwachten dat nieuw in Nederland of het havengebied geïntroduceerde soorten van lieverlee ook op Rijke Dijken zullen verschijnen. Het is mogelijk dat introductie van nieuwe soorten op een complete habitat zoals de Rijke Dijk trager verloopt door de meer intensieve predatiedruk en competitie om ruimte en voedsel.

De Rijke Dijken kunnen een rol vervullen in het bevorderen van de ecologische kwaliteit van een gebied, zoals voor de Europese Kaderrichtlijn Water wordt vereist. De biologische waterkwaliteit kan verbeteren door het vergroten van de diversiteit en het creëren van een ecologisch evenwichtige soortensamenstelling, terwijl de chemische waterkwaliteit mogelijk wordt verbeterd door een toegenomen filtreercapaciteit van schelpdieren en de zuurstofproductie door wieren.

Als laatste kunnen rijke dijken ook het groene imago van binnen een bepaalde regio, zoals de haven van Rotterdam, versterken.

Baten	Rijke Dijk	Klassiek ontwerp
Subtidaal	Schuilplekken trekvis (zeker in combinatie met ontwerp 2 in havenbekkens). Kan ook in de stad in het zoete water van ecologische betekenis zijn.	Geen, havenkades worden niet benut en hebben nu weinig natuurwaarde
	Reproductie invertebraten en vissen Foerageren krabben, kreeften, sepia en roofvis Rifvormende schelpdieren	Subtidaal veelal basalt. Iets van waarde subtidale zone van blokkendam
Intertidaal	Kreukelzone krijgt sterk verhoogde productiviteit van wieren en geassocieerde fauna door meer beschikbaar en geschikt areaal.	Kreukelzone al waardevol, sortering en steensoort niet optimaal Wier-biomassa-score (tentatief): bitumen = 1 basalt = 1 graniet = 1 Basalton = 3 Eco-block = 6 Doornikse = 8

		Vilvoordse = 10 hout = ? palen = ?
Supratidaal	Teen krijgt groter watervasthoudend vermogen. Verticale uitbreiding van wierzone en betere overleving geassocieerde fauna.	Hier en daar al gebruik van eco-zetsteen. Lage waarde door verkeerd materiaal (basalt, bitumen) en geringe watervasthoudendheid

### 5.3 Risico's

Aan de aanleg van een Rijke Dijk kleven mogelijk risico's. In de OSPAR richtlijn over kunstriffen worden de volgende genoemd:

- verwonding van personeel tijdens aanleg van het kunstrif;
- schade aan voer- en vaartuigen die materiaal voor het kunstrif aanvoeren;
- locatie veroorzaakt verhoogd risico voor schade aan vistuigen;
- schade aan vaartuigen die over of langs het rif varen;
- schade aan pijpen en kabels die zich onder het rif bevinden;
- verwonding van recreanten zoals duikers;
- transport naar en verrotting van op het rif geproduceerde biomassa (bijv. wierpruik) op ongewenste locaties;
- milieurisico veroorzaakt door verkeerde materiaalkeuze of slechte constructies;
- schade aan bestaande habitats, bijvoorbeeld zachte bodems;
- kosten van verwijdering indien dit noodzakelijk is.

Verder bestaan er risico's dat de aangelegde natuur permanent moet worden beschermd. Hierop wordt in het hoofdstuk over Beleid en Beheer ingegaan.

### 5.4 Bruikbaarheid Keuzemodel Kust- en Oeverwerken

Er is een poging gedaan om de nieuwe Rijke Dijk ontwerpen met het keuzemodel door te rekenen. Dit leidt tot niet tot een positief resultaat, het keuzemodel bepaald dat de ontwerpen zeer milieu-onvriendelijk zijn.

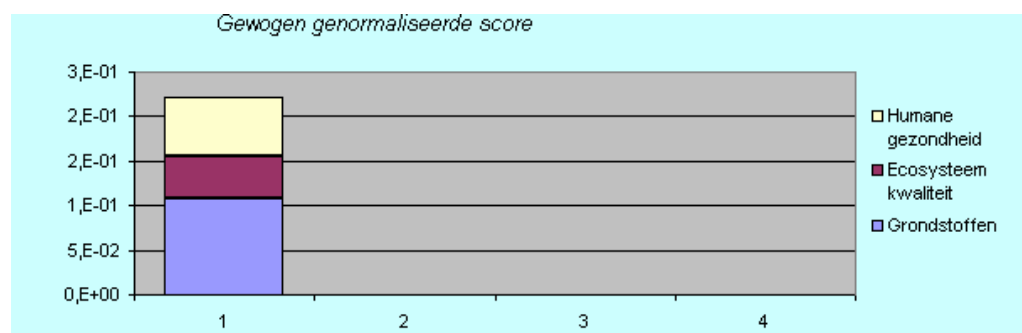
De reden hiervoor is dat het keuzemodel per bekledingstype de negatieve milieubelastingsfactoren bepaald (dus uitloging, energieverbruik bij winning en transport, andere vervuiling, etc). De positieve effecten, bijvoorbeeld dat op zachte kalksteen vegetatie beter groeit zitten er niet in. En omdat je bij de ontwerpen over het algemeen meer materiaal gebruikt, is de milieubelasting volgens het model dus groter. Dus Rijke Dijk ontwerpen scoren slecht op humane gezondheid en grondstoffen. En dat zijn in het model de hoofdkeuzecriteria.

Je kan e.e.a. oplossen door bij de LNC-waardering subjectief voor dit soort glooiingen bij natuur een hoge score in te vullen (zie onderstaande tabel).

Table 5.1 LNC score Rijke Dijk in Keuzemodel

	zeer negatief	negatief	onvoldoende	neutraal	voldoende	positief	zeer positief
<b>Landschap</b>	--	-	- / o	o	o / +	+	++
samenhang waarneembaar		x					
samenhang vorm en functie		x					
afleesbaarheid nat. systeem			x				
afleesbaarheid ontwikkeling				x			
visuele samenhang				x			
<b>Natuur</b>							
kenmerkendheid				x			
zeldzaamheid			x				
diversiteit						x	
kansrijkheid			x				
vervangbaarheid				x			
<b>Cultuurhistorie</b>							
zeldzaamheid				x			
authenticiteit				x			
samenhang				x			
kenmerkendheid		x					
symboliek				x			

Vervolgens geef je factoren op om het belang van natuur binnen LNC en LNC tov humane gezondheid en grondstoffen te wegen, en dan krijg je een grafiek als hieronder:



De waarden die je hier invult hangen volledig af van de gekozen weegfactoren en de subjectief gekozen kruisjes in bovenstaande scorekaart. Kortom, men kan naar keuze ieder alternatief ophemelen of de grond in boren door het slim kiezen van scores en weegfactoren.

Conclusies: Keuzemodel is zeer globaal en geeft weinig houvast om rijke dijken te waarderen. Vanwege de extra kosten bij winning en transport, pakken milieuwinst vooralsnog negatief uit. Resultaten zijn zeer gevoelig voor subjectief te bepalen scores en weegfactoren

## 6 Inventarisatie van kansrijke locaties

Kansrijke locaties bevinden zich in en nabij het havengebied van Rotterdam. Geschikte locaties liggen in het zoute tot brakke gebied en voldoen aan (één van) de drie milieuocondities waarvoor de ontwerpen zijn gemaakt. Aansluiting bij regulier onderhoud vergroot de kans op realisatie van een ontwerp. Een goede toegankelijkheid is een randvoorwaarde. De locaties liggen bij voorkeur niet in een gebied van de Rotterdamse haven dat nog geen industriële bestemming heeft, aangezien deze gebieden ieder moment kunnen worden uitgegeven aan een klant, waarmee het karakter grondig kan wijzigen.

### 6.1 Potentiële locaties geïdentificeerd door Havenbedrijf Rotterdam

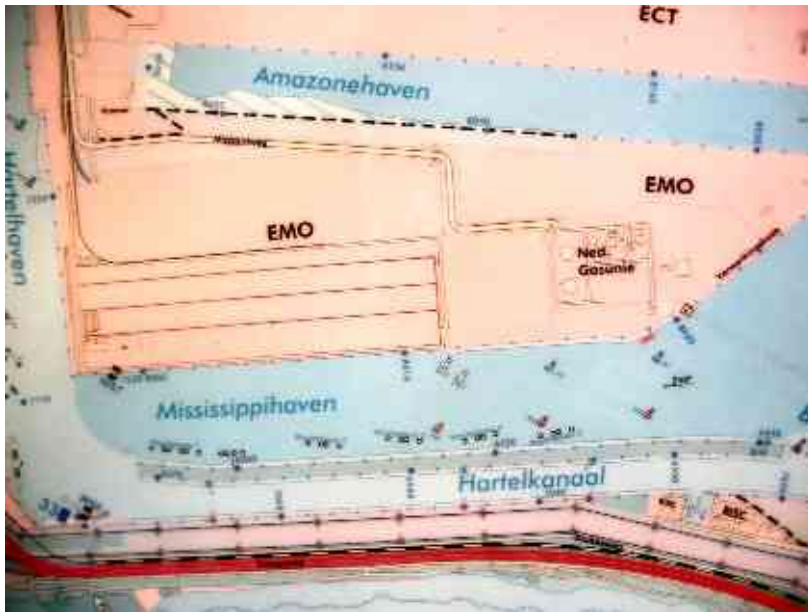
Locaties waar onderhoudswerk gaat plaatsvinden, en die makkelijk toegankelijk zijn, zijn:

- De Vondelingenweg aan de Oude Maas, tussen havennummer 3270 - 3280.
- De huidige zandafkalving die moet worden gestopt in de Amazonehaven, havennummers 8040 - 8050.
- De Beerdam bij de Mississipihaven, waar een deel gaat worden gedempt, havennummers 6450 – 6460.
- Voor de Landtong Rozenburg bestaan veel plannen, hier kan eventueel bij worden aangesloten.
- In het Hartelkanaal wordt al geëxperimenteerd met natuurvriendelijke oevers. Hier zijn aquaflora rollen aangebracht en is er overlaging van oevers.
- Ook in de Dintelhaven, dwarswal (6245) is een plasberm aangelegd met rietrollen. Dit wordt gemonitord door Peter Paalvast.
- Op de kop van de Papegaaibek ligt nu een tijdelijke bestorting die moet worden vervangen. Het plan is om er terug te brengen wat er aanwezig was, namelijk gepentreerde stortsteen (asfaltlaagje erover).





Figuur 6.1 Locatie Oude Maas, Vondelingenweg



Figuur 6.2 Locaties Amazonehaven en Beerdam, Mississippihaven



Figuur 6.3 Locatie Dintelhaven



Figuur 6.4 Landtong Rozenburg

## 6.2 Locaties geïdentificeerd door Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland

Rijkswaterstaat heeft belangstelling voor pilotstudies met de ontwerpen vanuit de kansen die de ontwerpen kunnen bieden om de kwaliteit van een watersysteem gunstig te beïnvloeden. Dit past goed in de thematiek rond invoering van de Kaderrichtlijn Water. De hard-substraat soorten die voor gaan komen op Rijke Dijken, komen niet voor op de KRW-maatlatten. Een reden hiervoor is dat deze soorten voor oorsprong niet in onze watersystemen (veelal estuaria met zachte substraten) thuishoren, maar op de rotskusten van Engeland. Wel hebben deze soorten een positieve invloed (als voedselbron) op de vissen die van zee de rivier optrekken en andersom. De vaststelling van het gebruik van Rijke Dijken als habitat voor trekvis is voor RWS van groot belang, omdat past in een KRW doelstelling.

De volgende mogelijke locaties werden geïdentificeerd:

- Kribvak langs Nieuwe Waterweg
- Splitsingsdam
- Kribvak Hoek van Holland



Mogelijke locatie: Ondiep beschut 4 'palenbos'





Figuur 6.5a-c Locatie langs de Nieuwe Waterweg, kribvak stroomopwaarts van Maesland kering. Ondiep beschut 3.4, Palenbos.

Benadrukt wordt dat een mini-pilot nodig is om de kosten en effectiviteit van een grotere proef te kunnen evalueren. Ook is vooraf overleg met de gemeente Rozenburg nodig voor benodigde communicatie van de doelstelling en afstemming. Ook voor de mini-pilot is een vergunningverlening al noodzakelijk (WBR, wellicht ook natuurtoets).



Mogelijke locatie:  
geëxponeerde dijk op diep water 'Reef-Block'





Figuur 6.5a-d Locatie splitsingsdam. Ontwerp 1 Diep geëxponeerd.

Gesuggereerd wordt om op verschillende subtidale punten langs de splitsingsdam reefblocks te gebruiken als ‘overlaging’ van bestaand substraat. Vanwege de energierijke omgeving zijn zware stabiele constructies noodzakelijk. Inzet van zwaar materiaal vanaf het water is nodig voor de plaatsing (kan wellicht ook met een kraan vanaf de dam zelf?). Een gradiënt van

mini-pilots langs de lengte van de splitsingsdam geeft veel inzicht over het effect van veranderende expositie op biodiversiteit en productiviteit. Zeker vergunningplichtig inzake WBR. Monitoring in het subtidaal zou vanaf het land of het water kunnen worden uitgevoerd met een ROV of Spyball. Hiermee is ervaring opgebouwd in de Oosterschelde.

Een mogelijke derde locatie is gelocaliseerd in een of meer kribvakken gelegen tussen de kade van de Stena Line en de Noorderpier in Hoek van Holland, tegenover de Splitsingsdam. Deze kribvakken zijn zeer goed toegankelijk en zouden benut kunnen worden als voorbeelden van ondiepe Rijke Dijken, liefst met variatie in langsricting door materiaalkeuze en inundatieduur. Hier kan tegelijkertijd kennis worden vergaard en een recreatieve functie (bijvoorbeeld met een pad langs poelen en over de ‘rotsen’) worden gerealiseerd. Ook kan aan de geulkant van de kribvakken worden geëxperimenteerd met subtidaal ontwerpen.









Figuur 6.6a-d Proeflocatie Hoek van Holland. Uitbreiden kribben en kribvakken tot Rijke Dijken met hoge recreatieve waarde.

## 7 Toetsing aan beheer en beleid

### 7.1 Inleiding

In de volgende paragraaf worden eerst in algemene zin de juridische kaders aangegeven waarbinnen een toetsing aan beheer en beleid dient plaats te vinden.

De Nederlandse wetgeving regelt de *soortenbescherming* in de Flora- en Faunawet en de *gebiedsbescherming* in de Natuurbeschermingswet. Beide wetten zijn *richtlijnconform* gemaakt aan de Europese Habitatrictlijn en de Vogelrichtlijn. Bovendien bepaalt de Kaderrichtlijn Water dat de (biologische en chemische) waterkwaliteit aan eisen dient te voldoen.

### 7.2 Europese en nationale wetgeving

#### 7.2.1 Natuurbeschermingswet 1998

Per 1 oktober 2005 is de gewijzigde natuurbeschermingswet 1998 in werking getreden. Deze wet regelt de bescherming van natuurgebieden. De voorloper van deze wet stamt uit 1967. De nieuwste versie is richtlijn-conform gemaakt aan de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrictlijn.

De Natuurbeschermingswet geeft het Rijk de mogelijkheid gebieden aan te wijzen tot Beschermd Natuurmonumenten. Het oude onderscheid tussen beschermde natuurmonumenten en staatsnatuurmonumenten is komen te vervallen. De wet kent nu 3 typen gebieden:

- Natura 2000 gebieden: Het beschermingsregime van de gebieden die binnen Natura 2000-gebieden liggen en die al onder de oude wet zijn aangewezen, treedt terug. De natuurwaarden en het natuurschoon waarvoor deze gebieden waren aangewezen, worden opgenomen in de doelstellingen voor instandhouding van het betreffende Natura 2000-gebied;
- Beschermd Natuurmonumenten;
- Gebieden die de Minister van LNV aanwijst ter uitvoering van verdragen of andere internationale verplichtingen, zoals Wetlands (Ramsar conventie).

Handelingen in of rondom deze gebieden die schadelijk kunnen zijn voor het natuurschoon, voor de natuurwetenschappelijke betekenis of voor dieren en planten in dat gebied, of die het gebied ontsieren, zijn verboden, tenzij de minister van LNV of de provincie een vergunning heeft verleend.

De gewijzigde Natuurbeschermingswet 1998 biedt onder andere de juridische basis voor vergunningverlening. De wet bepaalt dat projecten die de kwaliteit van de habitats kunnen verslechteren of die een verstorend effect kunnen hebben op de soorten, niet mogen plaatsvinden zonder vergunning. Bij ruimtelijke ingrepen dient er altijd te worden nagegaan of er een vergunning nodig is op grond van de gewijzigde Natuurbeschermingswet 1998.

In het vergunningentraject speelt het voorzorgsbeginsel een belangrijke rol. Het voorzorgsbeginsel houdt in dat alle aspecten die met een project samenhangen (zowel op zichzelf als in combinatie met andere projecten) en de instandhoudingsdoelstellingen in gevaar kan brengen, moeten worden onderzocht. Toestemming wordt alleen verleend als op basis van de beste wetenschappelijke kennis zekerheid kan worden verschaft dat het project de instandhoudingsdoelstellingen niet in gevaar brengt. Bij twijfel wordt geen toestemming verleend.

## 7.2.2 Flora- en faunawet 2002

De Flora- en faunawet is op 1 april 2002 in werking getreden. Deze wet regelt de bescherming van soorten. In de Flora- en faunawet is het soortenbeschermingsdeel van de Habitatrichtlijn en Vogelrichtlijn geïmplementeerd evenals het CITES-verdrag.

Onder de Flora- en faunawet zijn als beschermde soort aangewezen:

- een aantal inheemse plantensoorten,
- alle van nature in Nederland voorkomende soorten zoogdieren (m.u.v. zwarte rat, bruine rat en huismuis),
- alle van nature op het Europese grondgebied van de lidstaten van de Europese Unie voorkomende vogelsoorten,
- alle van nature in Nederland voorkomende amfibieën- en reptielensoorten,
- alle van nature in Nederland voorkomende vissoorten (m.u.v. soorten in Visserijwet 1963);
- een aantal overige inheemse diersoorten aangewezen als beschermde soort.
- Daarnaast is een aantal uitheemse dier- en plantensoorten als beschermde soort aangewezen.

De wet heeft betrekking op onder meer beheer en schadebestrijding, jacht, handel en bezit en overige menselijke activiteiten met een schadelijk effect op beschermde soorten. Hiertoe bevat de wet een aantal verbodsbepalingen om er voor te zorgen dat in het wild levende soorten zoveel mogelijk met rust worden gelaten.

### **Doelstelling wet**

De doelstelling van de wet is de bescherming en het behoud van de gunstige staat van instandhouding van in het wild levende planten- en diersoorten. Het uitgangspunt van de wet is 'nee, tenzij'. Dit betekent dat activiteiten met een schadelijk effect op beschermde soorten in principe verboden zijn. Daarnaast erkent de wet dat ook dieren die geen direct nut opleveren voor de mens van onvervangbare waarde zijn (erkenning van de intrinsieke waarde). Van het verbod op schadelijke handelingen ('nee') kan onder voorwaarden ('tenzij') worden afgeweken, met een ontheffing of vrijstelling. Het verlenen hiervan is de bevoegdheid van de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) of, in geval van beheer en schadebestrijding, van Gedeputeerde Staten.

### **Beschermde leefomgeving**

De Flora- en faunawet maakt het mogelijk een landschapselement of object aan te wijzen als beschermde leefomgeving. De provincie is hiervoor het bevoegd gezag. Deze mogelijkheid is in de wet opgenomen om locaties die van groot belang zijn voor het voortbestaan van een planten- of diersoort te beschermen. Hierbij valt te denken aan een fort of bunker waar vleermuizen overwinteren, een dassenburcht, een plek waar orchideeën groeien of een muur met daarop beschermde planten.

De aanwijzing tot beschermde leefomgeving maakt het mogelijk bepaalde handelingen te verbieden of strenge voorwaarden te stellen aan de handelingen die op die bewuste plaats de kwaliteit kunnen aantasten.

#### **Staat van instandhouding**

Wanneer uit de inventarisatie blijkt dat beschermde soorten in of rond het projectgebied of -locatie aanwezig zijn, moeten de effecten van de voorgenomen ingreep op de soorten beoordeeld worden. Alle aspecten van de voorgenomen ontwikkeling die invloed hebben op de beschikbaarheid van voedsel, voortplantingsmogelijkheden, veiligheid en verspreidingsmogelijkheden voor dieren zijn van belang. Ook voor planten moet een vergelijkbare beoordeling worden gemaakt.

De (negatieve) invloed op de soorten moet gerelateerd worden aan de 'staat van instandhouding' van de soorten. Daarbij wordt naar het duurzaam voortbestaan van de populaties gekeken.

Niet elke aantasting van (het leefgebied van) een soort leidt tot significante negatieve effecten op die duurzame instandhouding. Drie aspecten zijn hierbij van belang: de populatieomvang, het verspreidingsgebied en de natuurlijkheid van de situatie. Bij effectvoorspellingen moeten deze aspecten zo veel mogelijk worden geconcretiseerd en gekwantificeerd. Wanneer de populatieomvang en het verspreidingsgebied niet significant afnemen en wanneer de soort op een natuurlijke manier kan overleven, kan een ingreep worden toegestaan. Er moet dan wel eerst een ontheffing verleend worden.

### 7.2.3 Habitatrichtlijn

De Richtlijn 92/43/EEG van de Raad van 21 mei 1992 inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna, kortweg Habitatrichtlijn genoemd, voorziet in de bescherming van bedreigde habitats en soorten anders dan vogels en hun leefgebieden. In zeer algemene zin gesteld is de bedoeling van de Habitatrichtlijn een stand still principe voor de habitats en soorten waarvoor een gebied is aangewezen; de relevante waarden (instandhoudingsdoelstellingen) mogen niet worden aangetast. Deze bescherming is van een hogere prioriteit dan diverse economische belangen.

Gebieden die zijn beschermd onder de Habitatrichtlijn vallen onder het Natura2000 netwerk. Dit is een samenhangend netwerk van beschermde natuurgebieden op het grondgebied van de lidstaten van de Europese Unie. Het netwerk omvat alle gebieden die zijn beschermd op grond van de Vogelrichtlijn (1979) en de Habitatrichtlijn (1992). Deze richtlijnen zijn in Nederland geïmplementeerd in de Natuurbeschermingswet 1998. Natura 2000 (Vogel- en Habitatrichtlijn) schrijft ook maatregelen voor soortenbescherming voor. In Nederland zijn deze maatregelen vertaald in de *Flora- en faunawet*.

Artikel 6.2 van de Habitatrichtlijn luidt:

*"De Lid-Staten treffen passende maatregelen om ervoor te zorgen dat de kwaliteit van de natuurlijke habitats en de habitats van soorten in de speciale beschermingszones niet verslechtert en er geen storende factoren optreden voor de soorten waarvoor de zones zijn aangewezen voor zover die factoren, gelet op de doelstellingen van deze richtlijn een significant effect zouden kunnen hebben."*

Van dit artikel gaat vooral een preventieve werking uit. Het vereist dat passende acties worden ondernomen om te garanderen dat zich geen significante verslechtering of verstoring voordoet. De werkingsfeer van dit artikel is beperkt tot de habitats en soorten waarvoor het gebied is aangewezen.

Artikel 6.3 van de Habitatrichtlijn luidt:

*"Voor elk plan of project dat niet direct verband houdt met of nodig is voor het beheer van het gebied, maar afzonderlijk of in combinatie met andere plannen of projecten significante gevolgen kan hebben voor zo'n gebied, wordt een passende beoordeling gemaakt van de gevolgen voor het gebied, rekening houdend met de instandhoudingsdoelstellingen van dat gebied. Gelet op de conclusies van de beoordeling van de gevolgen voor het gebied en onder voorbehoud van het bepaalde in lid 4, geven de bevoegde nationale instanties slechts toestemming voor dat plan of project nadat zij de zekerheid hebben verkregen dat het de natuurlijke kenmerken van het betrokken gebied niet zal aantasten en nadat zij in voorkomend geval inspraakmogelijkheden hebben geboden."*

Dit artikel heeft de meest directe invloed op een voorgenomen activiteit in een gebied.

Geografisch gezien is artikel 6.3 niet beperkt tot plannen of projecten in de beschermingszone zelf; het gaat er om of plannen of projecten significante invloed kunnen uitoefenen op het beschermde gebied, hoewel het plan of project zelf daarbuiten kan worden gerealiseerd.

Het bepalen of een plan of project **significante gevolgen kan hebben**, heeft praktische en juridische gevolgen en vormt daarmee een cruciaal aspect in de beoordeling. Op voorstellen die geacht worden geen significante gevolgen te zullen veroorzaken, hoeft de rest van de procedure waarin artikel 6, leden 3 en 4, voorziet, niet te worden toegepast. Een dergelijke conclusie moet worden gemotiveerd.

Het begrip – **significant** – moet worden beoordeeld tegen het licht van de instandhoudingsdoelstellingen van het gebied. Het is zeer moeilijk daarvoor algemene regels te geven omdat het per gebied zeer verschillend kan zijn. In zijn algemeenheid kan men stellen dat voor een soort het natuurlijke verspreidingsgebied en/of habitat niet mag worden aangetast, waarbij rekening moet worden gehouden met alle ecologische vereisten van de soort.

Het z.g. voorzorgprincipe is vervat in de term – **kunnen hebben** -. Er behoeft geen zekerheid te zijn dat significante effecten zullen optreden. Een kans op significante effecten is maatgevend.

Een plan of project dient te worden beoordeeld – **afzonderlijk of in combinatie met andere plannen of projecten** -. Het doel van deze bepaling is vooral om cumulatieve effecten te beschouwen, ook wanneer de afzonderlijke effecten bescheiden zijn.

Alleen wanneer men tot de conclusie is gekomen dat een plan of project significante gevolgen kan hebben, dient een - **passende beoordeling** – te worden gemaakt.

Een MER-procedure wordt geacht een passende beoordeling te zijn, doch deze procedure is niet vereist. Volstaan kan worden met de consequenties van een plan of project beschouwd in het licht van de instandhoudingsdoelstellingen voor het gebied. Wel wordt een schriftelijk verslag vereist waarin de beoordeling met redenen moet worden omkleed. De beoordeling dient aan de besluitvorming vooraf te gaan.

Het verdient aanbeveling in deze beoordeling mogelijke alternatieve oplossingen en mitigerende maatregelen te onderzoeken. Mogelijk dat daarmee kan worden bereikt dat de natuurlijke kenmerken van het gebied niet zullen worden beïnvloed. Alternatieve oplossingen en/of mitigerende maatregelen kunnen door de indiener van het plan of project worden voorgesteld en/of door de bevoegde instanties worden voorgeschreven.

Het in artikel 6 gebruikte begrip - **nationale instanties** – moet worden geïnterpreteerd vanuit de EU. In casu wordt hier bedoeld het Nederlandse bevoegd gezag.

Toestemming (vergunning) mag slechts worden verleend nadat de zekerheid is verkregen dat de natuurlijke kenmerken van het betrokken gebied niet zullen worden aangetast.

Door de voorgaande bepalingen kan het voorkomen dat plannen of projecten niet door kunnen gaan, er alternatieve oplossingen moeten worden gekozen of de plannen slechts kunnen worden gerealiseerd met mitigerende en/of compenserende maatregelen.

#### 7.2.4 Vogelrichtlijn

De Richtlijn 79/409/EEG van de Raad van 2 april 1979 inzake het behoud van de vogelstand, kortweg Vogelrichtlijn genoemd, voorziet in regels ter bescherming van vogels en hun leefgebieden.

In zeer algemene zin gesteld is de bedoeling van de Vogelrichtlijn een stand still principe voor de soorten waarvoor een gebied is aangewezen; de relevante vogelwaarden mogen niet worden aangetast. Deze bescherming is van een hogere prioriteit dan allerhande economische zaken.

De lidstaten nemen met name maatregelen voor bescherming van de leefgebieden van vogelsoorten die extra zorg nodig hebben. Het gaat dan om bedreigde soorten die op bijlage I van de richtlijn voorkomen. In Nederland zijn er voor 44 van deze soorten gebieden aangewezen. Ook voor trekvogels worden dergelijke maatregelen genomen. Het gaat daarbij vooral om de bescherming van watergebieden van internationale betekenis.

De Vogelrichtlijn heeft twee beschermingsstrategieën:

- de bescherming van leefgebieden van een aantal specifieke soorten;
- algemene bescherming van alle natuurlijk in het wild levende vogelsoorten op het grondgebied van de Europese lidstaten.

In artikel 4, lid 4 van de Vogelrichtlijngebieden zijn uit de richtlijn voortvloeiende verplichtingen aangegeven. Echter, in de Habitatrichtlijn is in artikel 7 bepaald dat de verplichtingen uit artikel 6, leden 2, 3 en 4 van de Habitatrichtlijn (zie boven) in de plaats komen van de verplichtingen die voortvloeien uit artikel 4, lid 4, eerste zin van de Vogelrichtlijngebieden voor wat betreft de aangewezen speciale beschermingszones. Van toepassing blijft dan slechts artikel 4, lid 4, tweede zin van de Vogelrichtlijn.

Het gehele artikel 4, lid 4 van de Vogelrichtlijn luidt:

*De Lid-Staten nemen passende maatregelen om vervuiling en verslechtering van de woongebieden in de in de leden 1 en 2 bedoelde beschermingszones te voorkomen, alsmede om te voorkomen dat de vogels aldaar worden gestoord, voor zover deze vervuiling, verslechtering en storing, gelet op de doelstellingen van dit artikel, van wezenlijke invloed zijn. Ook buiten deze beschermingszones zetten de lidstaten zich in om vervuiling en verslechtering van woongebieden te voorkomen.*

### 7.2.5 De Europese Kaderrichtlijn Water

De Kaderrichtlijn Water 2000/60/EG biedt een kader voor het beheer van al het grond- en oppervlaktewater, inclusief "overgangswateren" en één nautische mijl kustwateren. Het doel is om:

- de achteruitgang van aquatische ecosystemen en de hiervan afhankelijke terrestrische ecosystemen te voorkomen en hun toestand te verbeteren;
- duurzaam gebruik van water te bevorderen;
- de lozingen van "prioritaire stoffen" te verminderen en van "prioritaire gevaarlijke stoffen" stop te zetten;
- de verdere verontreiniging van het grondwater te voorkomen;
- het mitigeren van de effecten van overstromingen en droogte.

Achterliggende doelen zijn onder andere het waarborgen van de beschikbaarheid van voldoende water van goede kwaliteit en de bescherming van maritieme wateren. (art. 1)

Van cruciaal belang zijn de milieudoelstellingen uit art. 4. Deze zijn het voorkomen van de achteruitgang van de "watertoestand" en het bereiken van een "goede watertoestand" in 2015. "Goede watertoestand" houdt voor oppervlaktewaterlichamen een "goede chemische toestand" en een "goede ecologische toestand" of "goed ecologisch potentieel" in. Voor grondwaterlichamen bestaat de "goede watertoestand" uit een "goede chemische toestand" en een goede "kwantitatieve toestand."

De chemische toestand van oppervlaktewater is goed als voldaan wordt aan de grenswaarden uit de dochterrichtlijnen van de Gevaarlijke-stoffenrichtlijn (Annex IX Kaderrichtlijn) en aan nieuw te stellen grenswaarden voor prioritaire stoffen (art. 16, bijlage X). De ecologische toestand is goed als niet meer dan beperkt afgeweken wordt van de natuurlijke toestand (Art. 4 en bijlage V).

De chemische toestand van grondwater is goed als er geen effecten zijn van zout en andere intrusies, als er geen significante effecten zijn op de toestand van het oppervlaktewater, en als voldaan wordt aan nieuw te stellen kwaliteitsnormen (Bijlage V punt 2.3.2, art. 17). De kwantitatieve toestand van grondwater is goed als de gemiddelde jaarlijkse onttrekking de aanvulling niet overschrijdt, de toestand van bijbehorende oppervlaktewateren niet verslechtert, er geen significante schade wordt toegebracht aan terrestrische ecosystemen die direct van het betreffende grondwater afhankelijk zijn, en er door eventuele veranderingen in de stroomrichting geen zoutwater- of andere intrusies plaatsvindt (Bijlage V punt 2.1.2). Deze algemene omschrijvingen moeten toegepast worden op de verschillende "waterlichamen". Onder voorwaarden kunnen oppervlaktewaterlichamen aangemerkt worden als "kunstmatig" of "sterk-veranderd". De hydromorfologische veranderingen die nodig zouden zijn om een goede ecologische toestand te bereiken, moeten dan negatieve effecten hebben op doelen als het milieu in brede zin, scheepvaart, drinkwatervoorziening, de

waterhuishouding en hoogwaterbescherming. Deze doelen moeten niet bereikt kunnen worden met andere, voor het milieu gunstigere, technisch haalbare en niet onevenredig dure middelen. Verder moet de aanwijzing als kunstmatig of sterk veranderd verantwoord worden in het op te stellen stroomgebiedbeheersplan (SGBP). Als aan al deze voorwaarden is voldaan, hoeft geen “goede ecologische toestand” gehaald te worden, maar kan volstaan worden met het halen van een "goed ecologisch potentieel". Dit is hetzelfde als de "goede ecologische toestand", maar dan rekening houdend met het kunstmatige of sterk-veranderde karakter van het betrokken waterlichaam (Art. 4 lid 3, bijlage V).

Los hiervan kan de termijn van 2015 voor het halen van een goede toestand maximaal twee keer verlengd worden met 6 jaar. Bovendien kunnen onder voorwaarden lagere milieudoelen gesteld worden. Voorwaarden hiervoor zijn grotendeels hetzelfde als voor de aanwijzingen van waterlichamen als kunstmatig of sterk-veranderd: technische haalbaarheid, onevenredig hoge kosten en verantwoording in het SGBP. Onder heel stringente voorwaarden is een tijdelijke achteruitgang van de watertoestand toegestaan.

Tenslotte is het onder zeer speciale omstandigheden toegestaan om de milieudoelstellingen niet te halen op grond van "hoger openbaar belang" (art. 4, lid 4-7).

## 7.2.6 Consequenties van (inter)nationaal beleid voor de haven- of dijkbeheerder

Voor wat betreft de KRW bestaat er een notitie uit maart 2006 waarmee overheden in de periode tot 2009 kunnen beoordelen of de KRW een belemmering vormt voor een positief besluit over een project. Deze “Leidraad gevolgen KRW voor fysieke projecten” is te vinden op <http://www.kaderrichtlijnwater.nl>. De eerste twee stappen zijn:

### 1. Ga na of het project riskant is

Ga in een vroeg stadium na of het project zou kunnen leiden tot:

- het niet bereiken van een goede grondwatertoestand;
- het niet bereiken van een goed ecologisch potentieel (in geval van een kunstmatig of sterk veranderd oppervlaktewaterlichaam) of het niet bereiken van een goede ecologische toestand (in geval van een natuurlijk oppervlaktewaterlichaam);
- verslechtering van de toestand van een oppervlaktewaterlichaam of grondwaterlichaam.

Zwaardere waterhuishoudkundige ingrepen verdienen de aandacht. Maar ook maatregelen met een ander doel kunnen riskant zijn voor de toestand van waterlichamen. Voorbeelden van projecten die mogelijk een risico vormen zijn:

- grotendeels dempen of kanaliseren van een oppervlaktewaterlichaam;
- blijvend verlagen van de grondwaterstand;
- grootschalige ‘droge’ infrastructurele werken;
- uitvoering van WB21-maatregelen zoals vasthouden van water in haarvaten of het vergroten van het permanent natte profiel in beken;
- buitendijkse stedelijke uitbreidingen (stadsuitbreidingen, industrieterreinen, havenvoorzieningen etc.);
- verdieping en verruiming van vaargeulen ten behoeve van de scheepvaart;



- aanleg van energieopwekkinginstallaties, zoals waterkrachtcentrales en windmolenparken;
- ontwikkeling van locaties voor bijvoorbeeld stedenbouw, industrie of glastuinbouw, waarbij de waterhuishouding substantieel wordt gewijzigd (bijvoorbeeld door drainage).

Als de effecten van deze ingrepen voor het gehele waterlichaam marginaal zijn, ontstaat geen belemmering voor het bereiken van de vereiste toestand en treedt ook geen relevante verslechtering op. Het project is in dat geval niet riskant.

Fysieke maatregelen die zijn bedoeld om de doelstellingen van de KRW voor het grondwater of oppervlaktewater dichterbij te brengen, zullen normaal gesproken leiden tot *voortgang* van de toestand en dus niet riskant zijn. Voorbeelden hiervan zijn herstel- en inrichtingsmaatregelen in waterlopen, zoals aanleg van natuurvriendelijke oevers of vispassages, of de aanpassing van de bedding voor een natuurlijker afvoerregime. In de praktijk zullen dergelijke ingrepen soms in één project gecombineerd worden met ingrepen die een ander doel hebben, bijvoorbeeld om de financiering rond te krijgen. Door een dergelijke combinatie kan het gebeuren dat het totale project als riskant beschouwd moet worden.

## **2. Ga na of er relevante chemische gevolgen zijn**

Ga in een vroeg stadium na of het project zou kunnen leiden tot het niet bereiken van een goede chemische toestand van het grondwaterlichaam of oppervlaktewaterlichaam.

Sommige projecten kunnen, direct of indirect, gevolgen hebben voor de chemische toestand van waterlichamen. Zo kan het zijn dat bij de aanleg van een bedrijventerrein de oeverzone van een oppervlaktewaterlichaam opnieuw wordt ingericht. Naast dit “fysieke” effect kunnen ook indirecte chemische gevolgen optreden, doordat de nieuwe bedrijven op het bedrijventerrein nieuwe lozingen zullen veroorzaken. Het is dan de vraag of de toestand van het oppervlaktewaterlichaam en de daarmee verbonden wateren voldoende emissieruimte biedt voor het ontvangen van die lozingen. De Nederlandse regelingen, plannen en programma’s voor de uitvoering van richtlijn 76/464/EEG bieden aanknopingspunten voor de beantwoording van deze vraag. In de KRW is vastgelegd dat lozingen van zogenoemde prioritaire gevaarlijke stoffen afgebouwd moeten worden. Nieuwe lozingen van dat soort stoffen zullen dan ook vrijwel altijd een risico vormen voor het behalen van de goede chemische toestand. De toelichting gaat daar nader op in.

Als de stappen 1 en 2 beide met ‘nee’ zijn beantwoord, zijn de punten 3 t/m 6 niet aan de orde. In dat geval vormt de KRW geen belemmering voor de uitvoering van het project.

De aanleg/verbetering van een Rijke Dijk kan in het licht van de KRW gezien worden als een herstel- en inrichtingsmaatregel bedoeld om de toestand van het water te verbeteren. Dit zal dus alleen maar aangemoedigd worden. Om daadwerkelijk effect te hebben op de ecologische en waterkwaliteit zullen vele kilometers dijk moeten worden verbeterd. Zonder nadere kwantitatieve analyse is het moeilijk aan te geven welke verbeteringen nodig zijn en welk effect deze zullen sorteren.

Het verwijderen van een Rijke Dijk zal, mits op kleine schaal, een marginale invloed hebben op het waterlichaam als geheel. Zo’n project is niet riskant. Alleen wanneer vele kilometers dijk zijn aangelegd/heringericht en deze daadwerkelijk en aantoonbaar hebben gezorgd voor een verbetering van de ecologische- en waterkwaliteit, maar vervolgens deze kilometers

Rijke Dijk verwijderd/veranderd worden, kan er een relevante verslechtering optreden. In dit geval kan de KRW een belemmering vormen.

In het Natura 2000 netwerk, gebieden die beschermd zijn volgens de Europese Habitatrichtlijn en/of de Vogelrichtlijn, worden habitats benoemd die beschermd moeten worden. Een aantal habitats uit de richtlijn is in de kustzone gelegen. Het gaat om de hoofdgroep 1. KUSTHABITATS EN HALOFYTENVEGETATIES. In deze lijst zijn kunstmatige harde substraten van dijklichamen niet specifiek genoemd. Het habitatype 1170 Riffen komt nog het meest in de buurt. De Interpretation Manual of European Union Habitats schrijft hierover:

### **Reefs; habitatype 1170**

1) Submarine, or exposed at low tide, rocky substrates and biogenic concretions, which arise from the sea floor in the sublittoral zone but may extend into the littoral zone where there is an uninterrupted zonation of plant and animal communities.

These reefs generally support a zonation of benthic communities of algae and animals species including concretions, encrustations and corallogenic concretions.

- In northern Baltic areas, the upper shallow water filamentous algal-zone with great annual

succession is normally well developed on gently sloping shores. *Fucus vesiculosus* is submerged at depth of 0.5-6 m in the sublittoral zone. A red algae zone occurs below the *Fucus* zone at depths of about 5 to 10 m.

2) Plants: Brown algae (species of the *Fucus*, *Laminaria* and *Cystoseira* genus, *Pilayella littoralis*), red algae (e.g. species of the *Corallinaceae*, *Ceramiceae* and *Rhodomelaceae* families), green algae. Other plant species: *Dictyota dichotoma*, *Padina pavonica*, *Halopteris scoparia*, *Laurencia obtusa*, *Hypnea musciformis*, *Dasycladus claviformis*, *Acetabularia mediterranea*.

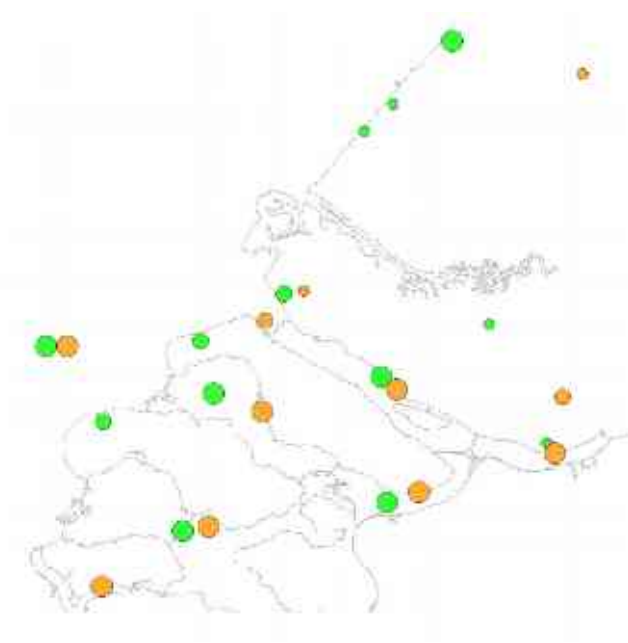
Animals: Mussel beds (on rocky substrates), invertebrate specialists of hard marine substrates (sponges, *Bryozoa* and cirripedian *Crustacea* for example).

De habitatrichtlijn beschermt de habitat van rotskusten en formaties van vast gesteente of kalksteen, grote keien en kleinere keien evenals samengeklonterde structuren van dierlijke oorsprong. Het gaat hierbij om natuurlijke harde substraten. De richtlijn noemt daarbij typische soorten voor deze habitat. Deze soorten komen ook voor op dijklichamen, maar het is niet zo dat de soortbescherming van deze soorten is geregeld in de habitatrichtlijn.

Voor wat betreft de Natura 2000 gebieden is het zo dat het hele Rotterdamse havengebied hieronder niet valt. Ook de harde substraten in de regio Rotterdam, aan de Zuid-Hollandse kust, vallen niet onder Natura 2000 gebieden. Dit betekent dat deze harde substraten geen beschermde status hebben.

Het is niet zo dat (soorten van) harde substraten in het algemeen niet beschermd zijn. Harde substraten in het natuurmonument Oosterschelde bijvoorbeeld vormen een uitzondering, omdat dit gebied wel valt onder de Natura 2000 gebieden en de Natuurbeschermingswet. In het aanwijzingsbesluit Natuurbeschermingswet (Aanwijzingsbesluit Natuurmonument Oosterschelde buitendijks, 1990) is gesteld

dat soorten of habitats die als ‘bijzonder’, ‘karakteristiek’ of ‘specifiek’ zijn te beschouwen voor de Oosterschelde, moeten worden meegenomen in de effectbeschrijving. Deze voor hard substraat kenmerkende soorten zijn de Zeekreeft, Zeekat, (Groene en Bruine) zeedonderpad, (Grote en Kleine) zeenaald, Zwarte grondel, Botervis, Snotolf en Harnasmannetje (als ‘Specifiek fauna-element voor steenglooingen’) en Schol, Schar, Tong, Bot, Haring en Sprot die de Oosterschelde gebruiken als kinderkamer.



Figuur 7.1. Natura 2000 gebieden in de regio Rotterdam, groen = Habitatrictlijn, oranje = Vogelrichtlijn.

Voor de diepstekende rijke ‘kades’ zou een rol kunnen zijn weggelegd als niet-natuurlijke verblijfplaats voor een aantal in de Habitatrictlijn genoemde trekvisen zoals Zeeprík, Houting, Zalm en Fint. Deze soorten houden zich tijdelijk op in het Rotterdamse havengebied om te wennen aan de veranderingen in het zoutgehalte van het water op hun trekroute naar de Oude Maas en Nieuwe Maas. Net als voor de KRW geldt dat de aanleg/verbetering van Rijke Dijken de potentiële verblijfplaatsen voor trekvisen kan verbeteren. Wanneer een enkel klein gebiedje als nieuwe verblijfplaats fungeert heeft opheffing van deze plaats geen significant effect op de populatie. Alleen wanneer kilometers Rijke Dijken zijn gecreëerd, deze van groot belang zijn geworden voor trekvisen en vervolgens in één keer worden opgeheven, kan er sprake zijn van significante gevolgen op de kwaliteit van het habitat voor trekvisen. In dat geval kan een beroep worden gedaan op de VHR.

Bij onderhoud of opheffing van Rijke Dijk locaties kunnen negatieve effecten op beschermde soorten gerechtvaardigd worden wanneer sprake is van een ‘redelijk doel of een maatschappelijk geaccepteerde activiteit’. Beter is het om geen grote gebieden in één keer te wijzigen, maar een continu en cyclisch proces van dijkverbetering en –onderhoud na te streven. Hierbij fungeren de Rijke Dijken als ‘tijdelijke natuur’.

### 7.3 Inzet van Rijke Dijken als tijdelijke natuur

Een mogelijk probleem voor de beheerders van braakliggende terreinen, havens, waterbekkens, dijken- en zeeweringen is dat soms al natuurwaarde ontstaat voordat, of ondanks dat een definitieve inrichting van het gebied is gerealiseerd. Voor kades, dijken en zeeweringen geldt dit ook in de cyclus van aanleg en geregeld onderhoud die gedurende de levensduur van de infrastructuur bestaat. In het havengebied geldt bovendien bij uitstek dat deze werken tijdelijk zijn, immers wanneer economische of technische ontwikkelingen voortschrijden, wordt de inrichting van het havengebied steeds opnieuw aangepast wat leidt tot verwijdering, aanpassing en nieuwbouw van deze werken. In dit licht kan een Rijke Dijk eigenlijk alleen maar worden beschouwd als tijdelijke natuur, die beperkt wordt door de eisen die aan het gebruik van de haven worden gesteld. Immers, ook de huidige harde werken vertegenwoordigen een zekere tijdelijke waarde voor daarop levende soorten, die probleemloos wordt gehandhaafd ondanks de continue cyclus van onderhoud, afbraak en nieuwbouw. Deze werken ondervinden weinig beperkingen door de vigerende natuurwetgeving. Bovendien is de natuurbechermingswetgeving niet direct van toepassing op harde substraten.

Het is uit metingen bekend dat, door de snelle kolonisatie van nieuw aangelegde of aangepaste structuren, in korte tijd zich waardevolle gemeenschappen op de intertidale of subtidale zones van de kades, dijken en zeeweringen gaan ontwikkelen (AquaSense & Stichting Anemoon, 2004). Gezien de dynamiek van het systeem en de overheersing van soorten met een relatief korte levensduur (jaar-enkele jaren) wordt verwacht dat zich op termijn van 5-10 jaar een redelijk stabiele soortengemeenschap heeft gevormd, die bestaat uit soorten die nu dominant zijn in de reeds aanwezige gemeenschappen. De frequentie van grootschalig onderhoud van de subtidale en intertidale dijkvoet, waar de Rijke Dijk is gesitueerd, is in de orde van een keer per tientallen jaren. Dit houdt in dat veelal voorafgaand aan regulier onderhoud zich een evenwichtige soortengemeenschap op de Rijke Dijk heeft ontwikkeld, net zoals dat zich nu ook voordoet op bestaande harde structuren. Het is dus niet nodig de Rijke Dijken te conserveren voor een duur van vele tientallen jaren met als doel een climaxstadium in soortengemeenschap te laten ontstaan.

In het bijzondere geval van Rijke Dijken op rustig diep water is het mogelijk dat soorten van diepe mariene rotsbodems gaan voorkomen. Deze soorten zijn niet beschermd door de Flora- en fauna wet en komen niet voor in de lijsten van de Habitatrichtlijn. Het is de verwachting dat intertidale delen van rijke dijken, net als nu aanwezige intertidale gebieden, wel als foerageerplek gaan functioneren voor een aantal vogelsoorten, maar broeden is door de lage ligging uitgesloten.

Een continue aanwezigheid van Rijke Dijken, hoewel niet altijd op dezelfde locatie, wordt vanzelf gerealiseerd naarmate meer klassieke dijken, zeeweringen en kades worden aangepast volgens het nieuwe concept tijdens regulier onderhoud. Dit is vergelijkbaar met de situatie die we nu ook kennen voor klassieke harde substraten.

Wanneer werkzaamheden moeten worden uitgevoerd aan dijkvakken is ecologisch gezien de beste periode hiervoor de periode van oktober tot december. Dit verstoort de minste sessiele

(vastzittende) levensgemeenschappen in de wier- en faunazone en de minste mobiele faunasoorten (AquaSense & Stichting Anemoon, 2004). Het spreekt voor zich dat dit geldt voor beschermde gebieden. In havens kan hier rekening mee worden gehouden maar is deze zogenaamde “environmental window” niet bepalend voor de noodzakelijke uitvoering van werken aan kademuren, dijken en glooiingen. Het wordt duidelijk dat hier afspraken met bevoegd gezag noodzakelijk zijn alvorens te beginnen met een proefproject. Ook kunnen eventuele versturende handelingen volgens een goedgekeurd protocol of gedragscode worden vastgelegd waardoor ontheffing in beginsel niet nodig is.

## 7.4 Vrijstellingen soortenbescherming

Het is mogelijk onder voorwaarden vrijstelling te verkrijgen van het soorten beschermingsregime van de de Flora- en faunawet. Het soortenbeschermingsregime van de Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn is in de Flora- en Faunawet verankerd, welke bescherming biedt aan vrijwel alle in Nederland voorkomende hogere diersoorten en een groot aantal plantensoorten. Op de individuen van deze planten- en diersoorten zijn een aantal verbodsbepalingen van toepassing (art. 8 tot en met 12 Flora- en Faunawet). Op het beschermingsregime worden, onder bepaalde voorwaarden, vrijstellingen/ontheffingen verleend. Hiervoor dient naast de wet de daarop gebaseerde Algemene maatregelen van Bestuur (AmvB) en Ministeriële regelingen te worden geraadpleegd. Voor het onderwerp van dit rapport is met name het ‘Besluit vrijstellingen beschermde dier- en plantensoorten’ relevant. Dit Besluit is bedoeld om vrijstelling op de verbodsbepalingen van de Flora- en Faunawet te kunnen verlenen voor de ”de uitvoering van werkzaamheden in het kader van bestendig beheer of onderhoud van vaarwegen, watergangen, waterkeringen, oevers.....”. Deze vrijstelling geldt voor bepaalde soorten en alleen wanneer een bepaalde gedragscode in acht wordt genomen (paragraaf overgenomen uit Mulder et al., 2005).

### **Besluit vrijstelling beschermde dier- en plantensoorten (Stb. 2000, 525)**

#### **Artikel 2**

1. ....
2. Als andere belangen als bedoeld in artikel 75, vierde lid, onderdeel c, van de wet zijn aangewezen:
  - a. de bepalingen inzake de gemeenschappelijke markt en een vrij verkeer van goederen van het Verdrag tot oprichting van de Europese Gemeenschap;
  - b. de veiligstelling van dieren behorende tot een beschermde inheemse diersoort tegen het verkeer;
  - c. de opvang en verzorging van zieke of gewonde dieren behorende tot een beschermde inheemse diersoort;
  - d. het onderhoud van wateren, waterkanten, oevers en graslanden;
  - e. dwingende redenen van groot openbaar belang, met inbegrip van redenen van sociale of economische aard, en voor het milieu werkelijk gunstige effecten, met dien verstande dat vanwege dit belang geen ontheffing of vrijstelling kan worden verleend ten aanzien van vogels behorende tot een beschermde inheemse diersoort;
  - f. de bescherming van weidevogels en hun eieren tegen landbouw-werkzaamheden en vee.
3. ....

#### **Artikel 15**

1. Van de verboden op het afsnijden, beschadigen en ontwortelen, bedoeld in artikel 5 van de wet, onderscheidenlijk de verboden op het beschadigen of verstoren, bedoeld in artikel 11 van de wet, wordt vrijstelling verleend voor planten of dieren behorende tot een beschermde inheemse plantensoort of een beschermde inheemse diersoort, voorzover de betrokken handelingen worden verricht ten behoeve van het onderhoud van wateren, waterkanten, oevers of graslanden, die niet worden gebruikt in het kader van normale agrarische bedrijfsvoering.
2. De in het eerste lid bedoelde vrijstelling geldt slechts voorzover de groeiplaats van de betrokken planten of het leefgebied van de betrokken dieren behouden blijft.

## 8 Referenties

- Aanwijzingsbesluit Natuurmonument Oosterschelde buitendijks, 1990. Beschikking NMF 90-9086, 20 december 1990.
- AquaSense & Stichting Anemoon (2004). Kartering sublittorale dijkvakken Oosterschelde. Beschrijving van flora en fauna op sublittoraal hard substraat bij de voormalige stortplaats en Inlaag Scherpenissepolder (Tholen). In opdracht van: Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rapportnummer:2046-Tholen.
- Bal, D., H.M. Beije, M. Fellingner, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal & F.J. van Zadelhoff, 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Tweede, geheel herziene editie. Expertisecentrum LNV, Wageningen, rapport 2001/020.
- Baptist, M. J., Klijn, F., and De Vries, M. B. (1997). "Ecologische beoordeling van een kunstmatig eiland in zee." Deelstudie voor R3163, WL | Delft Hydraulics, Delft.
- Berrevoets, C. M., and Meininger, P. L. (2004). "Dijkverbeteringswerken langs de Westerschelde: aantalsveranderingen van watervogels." Rapport RIKZ/2004.027, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.
- Bouma, H., D.J. de Jong, F. Twisk, K. Wolfstein, 2005. Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1). Voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. Rapport RIKZ/2005.024. Middelburg, juli 2005
- Burg van den A., Everaars J.C., februari 1999. Proefvak ecologische dijkbekledingen Dijktoen II, evaluatie van het ontwerp en de uitvoering. Rapportnr. W-DWW-99-012
- Burcharth, H.F. and A. Lamberti (ed.), 2004. Environmental Design Guidelines of Low Crested Structures, ISBN 88-371-1555-5, Tecnoprint Snc, Bologna.
- Campbell, A. C. (1994). Tirion gids van strand en kust; flora en fauna in meer dan 800 afbeeldingen in kleur, Uitgeversmaatschappij Tirion, Baarn.
- DELOS. (2004). "Environmental Design of Low Crested Coastal Defence Structures." EU Fifth Framework Programme 1998-2002. www.delos.unibo.it.
- Furudoi, T., N. Hayashi, A. Nakayama, N. Takaki, 2002. Report of Cases on Seaweed Bed Formation Effect in Development of Coastal Region – Environmental Effect of Seaweed Bed Formation on the Seawall of the Kansai International Airport Island and Development of the Breakwater with an Additional Function to Restore Seaweed Beds–(PIANC conference 2002, Sydney, Australia)
- Jensen, A., 2002. Artificial reefs of Europe: perspective and future. Artificial Reefs: Special Issue of the ICES Journal of Marine Science. ICES Journal of Marine Science. 2002; 59 (Suppl.), p3-p13.
- Leewis, R. J., Meijer, A. J. M., and Waardenburg, H. W. (1988). "Onderwaterleven met houvast (rotskusten en riffen in Nederland)." Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Middelburg.
- Leewis, R. J., Waardenburg, H. W., and Meijer, A. J. M. (1989). "Active management of an artificial rocky coast." Hydrobiol. Bull., 23, 91-99.
- Leewis, R. J., De Vries, I., Busschbach, H. C., De Kluijver, M., and Van Moorsel, G. W. N. M. (1996). "Kunstriffen in Nederland." Eindrapportage project Kunstrif, RIVM, RIKZ, Directie Noordzee, AquaSense, Bureau Waardenburg b.v.
- Leewis R.J., D.J. de Jong, N. Dankers, 1998. Naar een ecotopensysteem zoute wateren Nederland. 21 p in Dutch. RIVM Rapport 733008005
- Martin, D., Bertasi, F., Colangelo, M. A., De Vries, M., Frost, M., Hawkins, S. J., Macpherson, E., Moschella, P. S., Satta, M. P., Thompson, R. C., and Ceccherelli, V. U.) "Ecological impact of coastal defence structures on sediment and mobile fauna: evaluating and forecasting the consequences of an unavoidable modification of the native habitats."
- Meijer, A.J.M. & H.W. Waardenburg, 2002. Ontwerp ecotopenstelsel harde substraten. Zoute en brakke wateren. Bureau Waardenburg, rapport nr. 01-127.

- Mulder, S., E.W. Raadschelders, J. Cleveringa, 2005. Een verkenning van de natuurbeschermingswetgeving in relatie tot Kustlijn zorg De effecten van zandsuppleties op de ecologie van strand en onderwateroever 11 april 2005 Rapport RIKZ/2005.004
- Nienhuis, P. H. (1979). "Landschap, flora en fauna van de zeedijken rond de Oosterschelde." Zeeuws Nieuws, 5(2), 42-45.
- TAW. (1998). "Grondslagen voor waterkeren." Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
- VenW. (2000). "3e Kustnota; Traditie, Trends en Toekomst." Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Den Haag.
- Wolff, W.J., 1999. The conservation value of artificial habitats in the marine environment: a case study of the artificial rocky shores of The Netherlands. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 9: 541–544 (1999)

Overige Nederlandse studies relevant voor dit project:

- Inventarisaties van natuurwaarde dijken in Zeeland (rapporten van Waardenburg, zie ook A5. Dijktoin II onderzoek, document met beschrijving van waterbouwkundige aspecten (DWW, 1999)
- Bolier, G., 2006. Onderzoek naar fysiotopen in de Rotterdamse haven (Port Research Centre R&D)
- Project van TUD en HbR ihkv Ports | NEW! Delta [www.newdelta.org](http://www.newdelta.org).
- Stikvoort, E., J. Graveland en R. Eertman, 2002. Leve(n)de Noordrand. Rapport RIKZ/2002.032
- Havenplan 2020, Ruimte voor Kwaliteit. Beleidsplan. Uitgave gemeente Rotterdam
- Haven Natuur Plan, 2004. Havenbedrijf Rotterdam, Stuurgroep Regie Buitenruimte.
- Leewis. R.J., R. Misdorp, J. Al and Tj. De Haan (1984). Shore protection – a tension field between two types of conservation. *Wat. Sci. Techn.*, 16: 367-375.
- Paalvast, P en J. Limpens, 1998. Nieuwe Waterweg. Flora-inventarisatie oevers. Ecoconsult in opdracht van RIKZ en RWS-DZH. Betreft inventarisatie van hard-substraat + vooroevers. Relatie met abiotiek en materiaal gebruik.
- Paalvast, P, 2001. Hard op weg naar zacht. Natuurvriendelijk experimenteren met harde oeverconstructies. Ecoconsult in opdracht van HbR. Abiotische randvoorwaarden, inventarisatie huidige toestand, kostenraming constructies (overlagen en opvullen, vooroeververdediging)
- Paalvast, P., 1998. Ecologische waardering van de oevers in het Rotterdamse havengebied. Een handreiking voor het beheer. Ecoconsult in opdracht van RIKZ en RWS-DZH



## A Soorten die voorkomen op hard substraat in Nederland

Onderstaande tabellen zijn overgenomen uit het Zoute wateren Ecotopenstelsel (Bouma et al., 2005) en zijn gebaseerd op werk van Bal et al. (1991), Leewis et al. (1998) en Meijer & Waardenburg (2002)

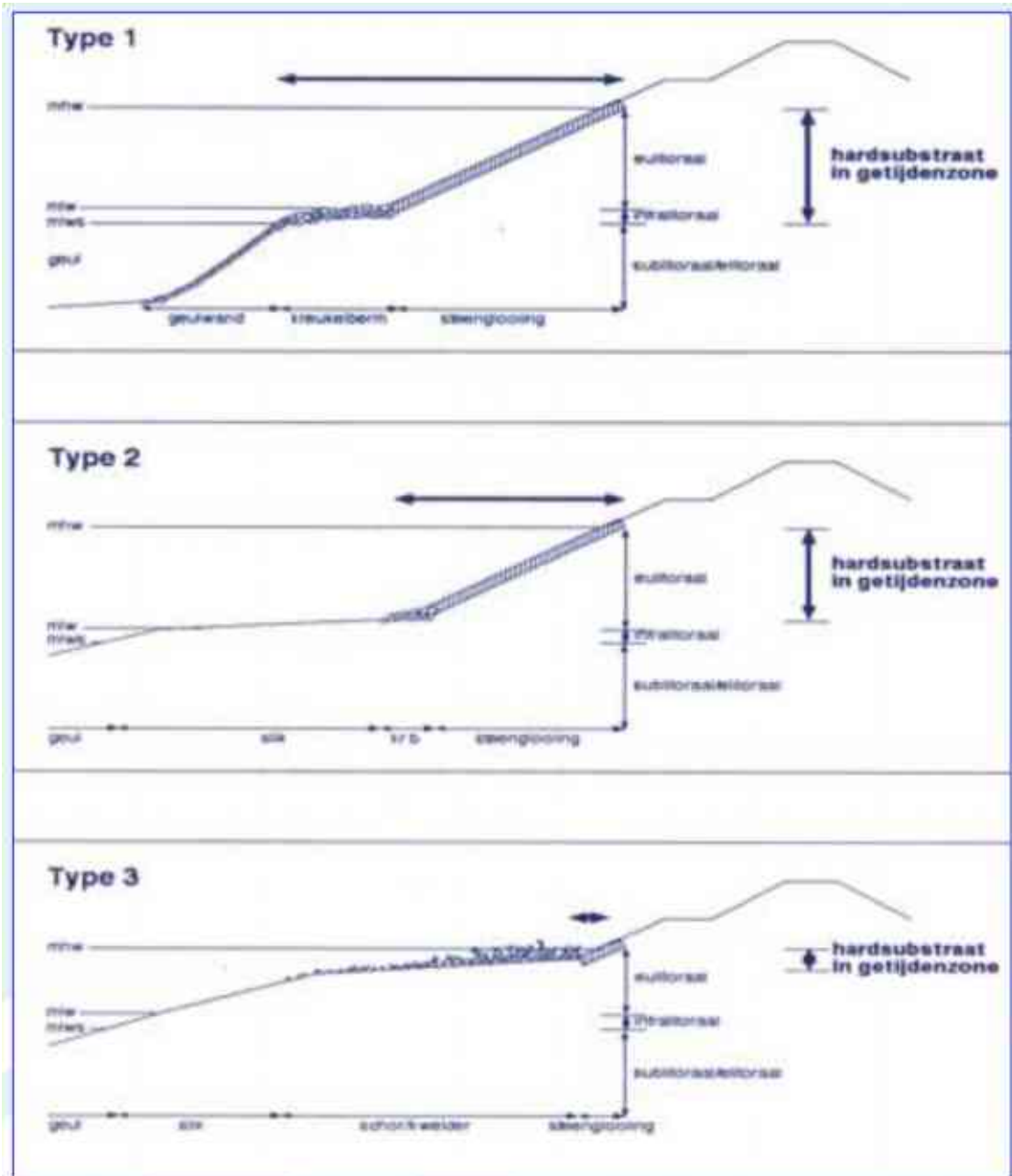
HARD SUBSTRAAT ECOTOPEN IN HET SUBLITTORAAL		hoogdynamische veerbank (trak of variabel brak/zout)			
GROEPEN	SOORTEN	laagdynamisch steen/hout (trak of variabel brak/zout)			
		hoogdynamische veerbank (zout)			
		laagdynamisch steen/hout (zout)	laagdynamische veerbank (zout)		
wieren	Donker Butzwier ( <i>Polysiphonia nigra</i> )		x	x	
	Iers Moer ( <i>Chondrus crispus</i> )		x	x	
	Rood hoornzwier ( <i>Ceramium rubrum</i> )		x	x	
	Purperwier ( <i>Porphyra umbilicalis</i> )	x	x	x	
	Tongwier ( <i>Hypoglossum hypoglossoides</i> )		x	x	
	Vederwier ( <i>Dryopteris plumosa</i> )		x	x	
	Zeesla ( <i>Ulva lactuca</i> )		x	x	
sponzen	Broodspon ( <i>Halichondria panicea</i> )		x	x	
	Geweisspon ( <i>Halichondria oculata</i> )		x	x	
hydrised-poliepen	Campansularidae	x	x	x	
	Gorgeliep ( <i>Tubularia larynx</i> )		x	x	
	Haringgraat ( <i>Halocium hulectum</i> )		x	x	
	Ruwe Zeerup ( <i>Hydractinia echinata</i> )		x	x	
	Serularidae		x	x	
	Tubularia spp.	x	x	x	
anemonen	Groffvekransmooie ( <i>Diadumena cincta</i> )	x	x	x	
	Paarde-anemoon ( <i>Actinia equina</i> )	x	x	x	
	Slikanemoon ( <i>Sagartia troglodytes</i> )	x	x	x	
	Wodrusmooie ( <i>Sagartiogeton undata</i> )		x	x	
	Zeeanjer ( <i>Metridium senile</i> )		x	x	
	Zeebals ( <i>Urticina pilosa</i> )	x	x	x	
molusken	Amerikaanse Boormossel ( <i>Petricola pholadiformis</i> )	x	x	x	
	Japans Oester ( <i>Crassostrea gigas</i> )		x	x	
	Muiltje ( <i>Crepidula fornicata</i> )		x	x	
	Ruwe Boormossel ( <i>Zostera crispata</i> )	x	x	x	
	Witte Boormossel ( <i>Barnesia cuneolata</i> )	x	x	x	
kreeftachtigen	Europees Zeekreeft ( <i>Homarus gammarus</i> )		x	x	
	Sjponkreeftje ( <i>Capevella linearis</i> )		x	x	
	Starekrah ( <i>Uca tangerina</i> )	x	x	x	
	Vlokkreeften ( <i>Caprellidae</i> )	x			
	Zeepokken ( <i>Copepodia</i> )	x	x	x	
mossdiertjes	Harige Vleescelpoliep ( <i>Electra pilosa</i> )		x	x	
mekelhuudigen	Gewone Zoster ( <i>Asterias rubens</i> )		x	x	
manteldieren	Zeker ( <i>Molgula manihattensis</i> )	x	x	x	
visen	Botervis ( <i>Pholis gunnellus</i> )		x	x	DS, RL
	Paling ( <i>Anguilla anguilla</i> )	x	x	x	
	Voorkwab ( <i>Raniceps raninus</i> )		x	x	DS, RL
	Zeebaars ( <i>Dicentrarchus labrax</i> )		x	x	
	Zeedonderpad ( <i>Myoxocephalus scorpius</i> )		x	x	

De soortenlijst van de hard substraat ecotopen in het sublittoraal. Doelsoort = doelsoort LNV; RL = soort op nationale Rode Lijst (beide uit Bal et al., 2001).

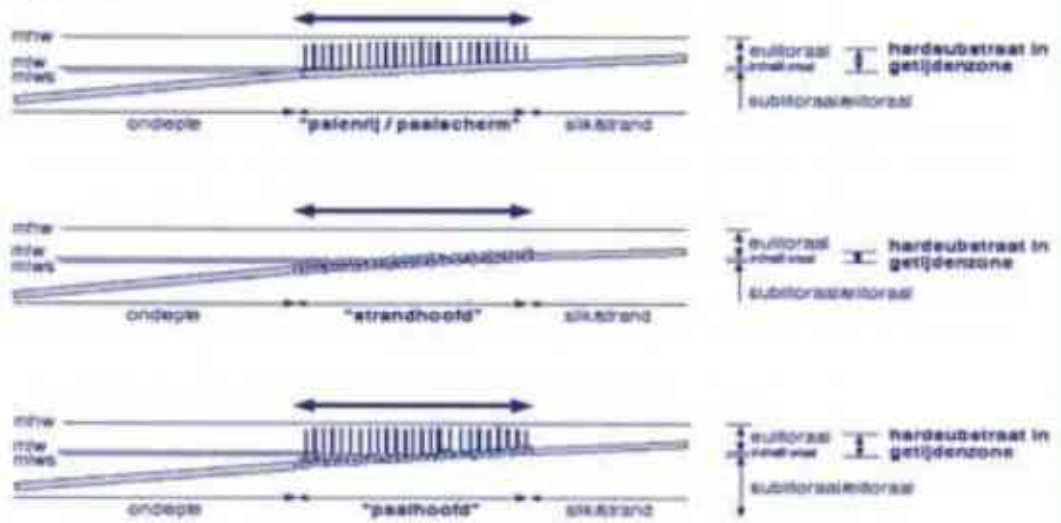
HARD SUBSTRAAT ECOTOPEN IN HET LITORAAL EN SUPRALITORAAL	hoogdynamische litorale veenbank (brak of variabel brak/zout)				
	laagdynamisch litoraal steen/hout (brak of variabel brak/zout)				
	hoogdynamische litorale veenbank (zout)				
	laagdynamisch litoraal steen/hout (zout)				
GEMEENSCHAPPEN (in grote lijnen van hoog naar laag in de getijdenezone)	steen boven de hoogwaterlijn				
	laagdynamisch veen zout				
Korstmos-gemeenschap ( <i>Lichenes</i> )					x
Cyanobacterie-gemeenschap ( <i>Entophysalis deusta</i> )					x
Groefwier-gemeenschap ( <i>Pelvetia canaliculata</i> )					x
Klein Darmwier-gemeenschap ( <i>Blidingia minima</i> )	x	x	x	x	x
Zeepok-Alikruik-gemeenschap ( <i>Cirripedia-Littorinidae</i> )		x	x		
Darmwier-gemeenschap ( <i>Enteromorpha compressa, E. intestinalis</i> )	x	x	x	x	x
Kleine Zeeëik-gemeenschap ( <i>Fucus spiralis</i> )				x	
Blaaswier-gemeenschap ( <i>Fucus vesiculosus</i> )		x	x		
Gezaagde Zeeëik-gemeenschap ( <i>Fucus serratus</i> )				x	
Knotswier-gemeenschap ( <i>Ascophyllum nodosum</i> )				x	
Soortename Mossel-gemeenschap ( <i>Mytilus edulis</i> )					
Zeepok-Alikruik-Japanse Oester-Mussel-gemeenschap					x
Japanse Oester-gemeenschap ( <i>Crassostrea gigas</i> )				x	x
Amerikaanse Boormossel ( <i>Petricola pholadiformis</i> )	x	x			x
Ruwe Boormossel ( <i>Zorfaea crispata</i> )	x	x			x
Witte Boormossel ( <i>Barnea candida</i> )	x	x			x

De levensgemeenschappen van het litorale harde substraat (naar Meijer & Waardenburg, 2002).

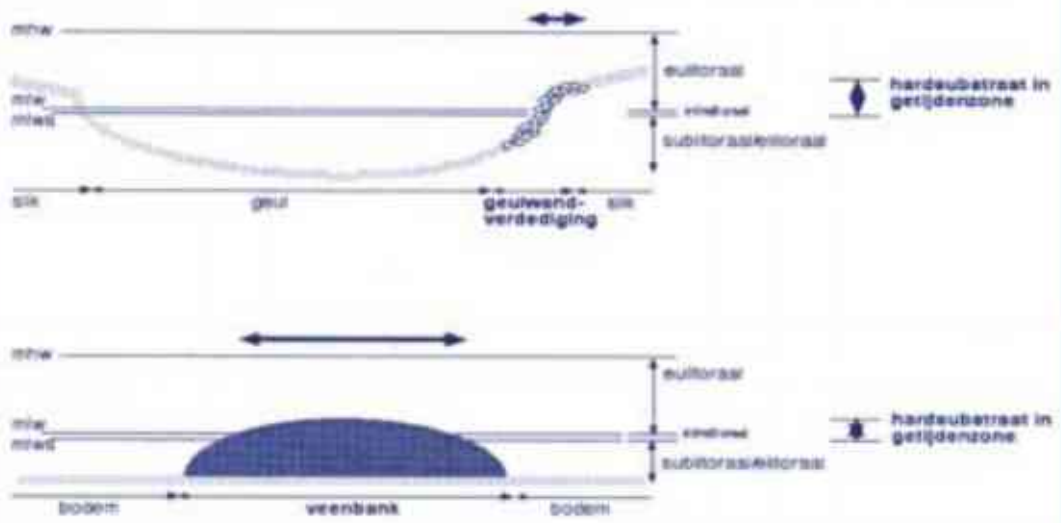
### A.1 Hard substraat oevertypen volgens Meijer & Waardenburg (2002)



### Type 4



### Type 5



## A.2 DELOS studie

Copied from Burcharth & Lamberti (2004)

### **Definitions of main factors influencing the distribution and abundance of species and assemblages (biotopes) on natural- and rocky bottoms**

#### A.2.1 Broad-scale – geographic variation

The species pool in a particular locality, is determined by its biogeographic context. This is the result of past events on tectonic / evolutionary time scales (100 million years – 1 million years P., e.g. Mediterranean compared to Atlantic) and more recent palaeo-ecological / geomorphological history (last 30.000 years e.g. English Channel, North Sea and Irish Sea coastlines). Global transfer of species (e.g. Lessepsian migrations via Suez canal) has gathered its importance over the last 200 years. The evolution of the species pool is a dynamic and ongoing process. Biodiversity patterns on a broad-scale are a function of adaptation, extinctions and speciation. The species pool may also change following introduction of alien species, often through human activities (Stæhr et al., 2000). Broad scale biodiversity patterns are influenced by major physical factors such as climate, currents, upwelling, tidal elevation, wave climate, salinity, coastal topography and seabed composition, which can all vary with geographical location (e.g. greater waves on Atlantic coast of Ireland versus the more enclosed Irish Sea, salinity in Baltic versus North Sea, tides in Atlantic versus Mediterranean and Baltic).

#### A.2.2 Mesoscale – within coastline

The species assemblage found at a specific location is affected by the exchange with neighbouring populations through dispersal, mainly through suspended propagules (e.g. larvae and spores). The spatial distribution of source populations is largely governed by coastal geomorphology that determines the diversity of substrata and hence habitat types in a particular region. Morphodynamics of sediments further affect the coastal-scale distribution of sedimentary habitats. The presence of source populations, however, is not sufficient to ensure exchange between habitats. The dispersal between habitats depends on hydrodynamic transport, although interactions with behavioural responses (or gravitational sinking) may modify dispersal pathways. Hydrodynamic transport includes tidal, wind driven and baroclinic advection (currents) together with turbulent diffusion. Other coastal-scale factors that may influence species assemblages are point sources of nutrients, contaminants, suspended sediment and freshwater (e.g. from riverine discharge). Differences in geomorphology and bathymetry will also cause coastal-scale differences in wave climate that will in turn influence local species distribution.

## Coastal geology, geomorphology and topography

The topography and geomorphology of the coastline are crucial to the distribution of species. The description of the large-scale distribution of species and assemblages therefore must take account of the characteristics of sediment, natural rock and artificial substrata. The underlying geology of an area can have significant effects on the distribution and abundance of species (Crisp, 1974; Holmes et al., 1997). For example, rock types of differing physical and chemical properties seem to affect the settlement of various barnacle species. Other features of the substratum are also important, such as the surface composition and orientation (Glasby, 2000, Glasby and Connell, 2001). For soft bottom communities this factor is coupled to hydrodynamics, d).

### **Localised nutrient supply due to small-scale upwelling, riverine run-off, sewage disposal**

Local small-scale upwelling carries nutrients from deeper water to shallow water and changes the local nutrient concentrations. Fresh water run-off can carry nutrients from farmlands and forests via the catchment. Waste discharge may locally increase nutrient availability. Differences in the local concentration of available nutrients will have large impacts on the local species composition.

### **Hydrodynamic – sedimentary regimes affecting erosion / deposition, disturbance regime, turbidity and long-shore transport**

The coastline topography and geomorphology as well as the local bathymetry influence the hydrodynamics. The hydrodynamics is also responsible for the sedimentary regime affecting erosion and deposition of sediments, turbidity, disturbance regimes for the biota and long-shore transport. Soft-bottom assemblages are highly affected by changes in the sedimentary regimes (deposition, erosion) and modification of sediment characteristics such as organic matter and granulometry. Turbidity of waters also affects a variety of organisms, including seagrasses, invertebrates and algae by reducing light penetration through the water column. The factors and processes described above will in turn affect the connectivity of habitats and larval supply – sources and sinks of propagules, recruitment regimes, metapopulation dynamics. Connectivity of habitats and larval supply can be very important for the large-scale distribution of species and assemblages. In fragmented habitats the connectivity is low and the species composition may be affected by chance events. The connectivity and larval supply thus determines colonisation probabilities for species and populations. Low connectivity means low colonisation probability and high connectivity means high colonisation probability. The dynamics caused by extinctions and colonisations is often termed metapopulation dynamics. Post-recruitment events may also control the population survivorship rates and the persistence of recruits is often a more relevant factor in controlling population dynamics than the recruitment itself. (Jackson, 1986) Species composition in fragmented habitats is strongly dependent on residual currents. On the other hand residual currents will be less important for the dispersal of organisms existing in a commonly occurring habitat or where the habitat is narrow but well connected. Assuming a fragmented habitat the range expansion of species may depend largely on the extreme values of the actual hydrodynamics, and not the mean residual current.

### A.2.3 Local scale - major abiotic factors and processes

Several abiotic factors affect the distribution of species on a local scale (Lewis, 1964, Stephenson and Stephenson, 1972, Raffaelli and Hawkins, 1996). These include vertical and horizontal patterns of distribution caused by tidal elevation, wave exposure, light penetration and, in sediments, physical and chemical gradients. In addition, local disturbance caused by extreme events such as wave-induced impact, depletion of oxygen and sediment burial can create a mosaic pattern of species occurrence. Some key gradients are summarised below:

#### **Tidal elevation / depth**

On macrotidal shores, the time of emersion / submersion and consequently desiccation stresses experienced by intertidal organisms, as well as the time to take up nutrients (algae) and food (invertebrates), markedly depends on the tidal level (Lewis, 1964; Raffaelli and Hawkins, 1996). The distribution of species is affected by tidal level, as physiological tolerance to emersion and desiccation stresses varies between and within species but in general a higher number of species tend to better tolerate lower shore environmental conditions (Lewis, 1964; Newell, 1979; Raffaelli and Hawkins, 1996; Spicer and Gaston, 2000). This pattern is particularly evident on macrotidal shores, where epibiotic assemblages differ markedly between different tidal levels. On microtidal shores, the structure of benthic assemblages changes considerably with increasing depth, from an algal monopolized community to a community dominated by sessile invertebrates. This is mainly due to a decrease in light penetration, which can be further reduced by turbidity (Gaçia et al., 1996; Irving and Connell, 2002).

#### **Wave exposure**

Wave action plays a major role in the composition of rocky littoral and sub-littoral communities shores (Lewis, 1964; Hiscock, 1983; Raffaelli and Hawkins, 1996). On exposed shores benthic organisms experience greater wave-induced forces and consequently face a higher risk of breakage or dislodgement from the rock and consequently their persistence. Wave action, however, can increase wetting of upper shore species, nutrient supply for algae and suspended food for filter feeders. Foraging times can be both positively and negatively impacted. Conversely on more sheltered shores, reduced water movement is generally associated with greater sediment deposition and siltation on the rock substratum, which can be cause of disturbance. Species respond differently to this stress gradient (Denny et al., 1988; Denny, 1995); some organisms thrive better and are naturally more abundant in wave swept conditions (e.g. mussels and barnacles), whilst others are adapted to more sheltered conditions (e.g. the macroalga *Ascophyllum nodosum* and the gastropod *Osilinus lineatus*).

#### **Salinity**

Salinity gradients occur in estuaries and coastal areas near riverine inputs. This factor affects particularly the species pool, as only few species can tolerate low or variable salinities. Salinity can affect the vertical distribution of species: in the supralittoral zone salinity can increase considerably in crevices and rock pools (Raffaelli and Hawkins, 1996).

#### **Physical disturbance**

In rocky intertidal and subtidal assemblages, physical disturbances associated with partial or total loss of biomass have been recognised as primary mechanisms that generate mosaics of

patches at different stages of recovery, and control abundance and diversity of species (Dayton 1971, Menge 1976, Sousa 1979, 2001; Paine and Levin 1981, Airoidi 2000 a, 2003). Waves, excessive heat, scour from sediment and other debris are examples of natural disturbances that cause mortality of organisms and open discrete patches of open space (Dayton 1971, Hawkins and Hartnoll 1983, Airoidi and Virgilio 1998).

#### A.2.4 Local scale - Biological interactions and behaviour

On rocky shores the following biological interactions and processes are extremely important in influencing species distribution at small spatial scales:

1. Grazing / predation
2. Competition for space
3. Biologically mediated disturbance (algal sweeping, bioturbation)
4. Facilitation (positive interactions, sheltering etc.)
5. Biodeposition and sediment trapping
6. Larval and adult behaviour

Local biodiversity reflects the direct and indirect interactions among and within species. Trophic interactions are particularly strong on hard substrata, for example limpet grazing on algae on rocky shores (Hawkins, 1981; Hawkins et al., 1992). Competition for space or resources often reduces the diversity of species assemblages but diversity can often be higher at intermediate levels of physical and biological disturbance (Caswell, 1978). Examples are biologically mediated disturbances like algal canopy sweeping on rocky shores and bioturbation in sediments (Rhoads, 1974). Certain species can also improve conditions for other species and so increase the local biodiversity. Such “facilitation” effect includes several mechanisms, e.g. sheltering from canopy-forming macro-algae or mussel beds promoting recruitment of polychaetes and small crustaceans. Some species build 3-dimensional structures that alter the physical conditions leading to changes in the species assemblage. Examples include reef-building polychaetes consolidating sand beds, encrusting algae creating complex secondary substrata, and meadow-forming seagrass attenuating wave energy. Organisms changing the hydrodynamic regime by wave attenuation or flow reduction will often promote sediment trapping offering new habitats for sediment-living organisms or exclude species sensitive to high sediment load. Finally, spatial heterogeneity of abiotic and biotic factors may interact with behaviour during all life stages. Gregarious responses during the settlement phase in barnacles are one example that leads to aggregated distribution patterns.

#### A.2.5 Micro scale - Complexity

On even smaller scales (<10 cm), factors such as heterogeneity in surface topography (roughness) affect the availability of refuge from hydrodynamics and grazing (Fretter and Manly, 1977; Underwood and Chapman, 1998). In sediments small-scale gradients in grain size and compaction (both horizontally and vertically in the sediment column) may lead to changes in porous flow and chemical composition with strong effects on infauna assemblages.



### A.3 BIOMAR classificatie

#### BIOMAR littoral hard substrates biotope listing

<u>Littoral rock (and other hard substrata)</u>	LR	B - Habitat complex
<u>Lichens or algal crusts</u>	LR.L	C - Biotope complex
<u>Yellow and grey lichens on supralittoral rock*</u>	LR.L.YG	D - Biotope
<u>Prasiola stipitata on nitrate-enriched supralittoral or littoral fringe rock*</u>	LR.L.Pra	D - Biotope
<u>Verrucaria maura on littoral fringe rock</u>	LR.L.Ver	D - Biotope
<u>Verrucaria maura and Porphyra umbilicalis on very exposed littoral fringe rock*</u>	LR.L.Ver.Por	E - Sub-biotope
<u>Verrucaria maura and sparse barnacles on exposed littoral fringe rock*</u>	LR.L.Ver.B	E - Sub-biotope
<u>Verrucaria maura on very exposed to very sheltered upper littoral fringe rock*</u>	LR.L.Ver.Ver	E - Sub-biotope
<u>Chrysophyceae on vertical upper littoral fringe soft rock*</u>	LR.L.Chr	D - Biotope
<u>Blidingia spp. on vertical littoral fringe soft rock</u>	LR.L.Bli	D - Biotope
<u>Ulothrix flacca and Urospora spp. on freshwater-influenced vertical littoral fringe soft rock</u>	LR.L.UloUro	D - Biotope

<u>Exposed littoral rock (mussel/barnacle shores)</u>	ELR	B - Habitat complex
<u>Mytilus (mussels) and barnacles</u>	ELR.MB	C - Biotope complex
<u>Mytilus edulis and barnacles on very exposed eulittoral rock*</u>	ELR.MB.MytB	D - Biotope
<u>Barnacles and Patella spp. on exposed or moderately exposed, or vertical sheltered, eulittoral rock*</u>	ELR.MB.BPat	D - Biotope
<u>Chthamalus spp. on exposed upper eulittoral rock*</u>	ELR.MB.BPat.Cht	E - Sub-biotope
<u>Barnacles and Lichina pygmaea on steep exposed upper eulittoral rock</u>	ELR.MB.BPat.Lic	E - Sub-biotope
<u>Catenella caespitosa on overhanging, or shaded vertical, upper eulittoral rock*</u>	ELR.MB.BPat.Cat	E - Sub-biotope
<u>Barnacles, Patella spp. and Fucus vesiculosus f. linearis on exposed eulittoral rock</u>	ELR.MB.BPat.Fves l	E - Sub-biotope
<u>Semibalanus balanoides on exposed or moderately exposed, or vertical sheltered, eulittoral rock*</u>	ELR.MB.BPat.Sem	E - Sub-biotope
<u>Robust fucoids or red seaweeds</u>	ELR.FR	C - Biotope

		complex
<u><i>Fucus distichus</i> and <i>Fucus spiralis</i> f. <i>nana</i> on extremely exposed upper shore rock*</u>	ELR.FR.Fdis	D - Biotope
<u><i>Corallina officinalis</i> on very exposed lower eulittoral rock*</u>	ELR.FR.Coff	D - Biotope
<u><i>Himantalia elongata</i> and red seaweeds on exposed lower eulittoral rock*</u>	ELR.FR.Him	D - Biotope

<u>Moderately exposed littoral rock (barnacle/fucoid shores)</u>	MLR	B - Habitat complex
<u>Barnacles and fucoids (moderately exposed shores)</u>	MLR.BF	C - Biotope complex
<u><i>Pelvetia canaliculata</i> and barnacles on moderately exposed littoral fringe rock*</u>	MLR.BF.PelB	D - Biotope
<u><i>Fucus vesiculosus</i> and barnacle mosaics on moderately exposed mid eulittoral rock*</u>	MLR.BF.FvesB	D - Biotope
<u><i>Fucus serratus</i> on moderately exposed lower eulittoral rock</u>	MLR.BF.Fser	D - Biotope
<u><i>Fucus serratus</i> and red seaweeds on moderately exposed lower eulittoral rock*</u>	MLR.BF.Fser.R	E - Sub-biotope
<u>Dense <i>Fucus serratus</i> on moderately exposed to very sheltered lower eulittoral rock*</u>	MLR.BF.Fser.Fser	E - Sub-biotope
<u><i>Fucus serratus</i> and under-boulder fauna on lower eulittoral boulders*</u>	MLR.BF.Fser.Fser.Bo	E - Sub-biotope
<u><i>Fucus serratus</i> and piddocks on lower eulittoral soft rock</u>	MLR.BF.Fser.Pid	E - Sub-biotope
<u>Red seaweeds (moderately exposed shores)*</u>	MLR.R	C - Biotope complex
<u>Mixed red seaweeds on moderately exposed lower eulittoral rock</u>	MLR.R.XR	D - Biotope
<u><i>Palmaria palmata</i> on very to moderately exposed lower eulittoral rock*</u>	MLR.R.Pal	D - Biotope
<u><i>Mastocarpus stellatus</i> and <i>Chondrus crispus</i> on very to moderately exposed lower eulittoral rock*</u>	MLR.R.Mas	D - Biotope
<u><i>Osmundea (Laurencia) pinnatifida</i> and <i>Gelidium pusillum</i> on moderately exposed mid eulittoral rock*</u>	MLR.R.Osm	D - Biotope
<u><i>Ceramium</i> sp. and piddocks on eulittoral fossilised peat*</u>	MLR.R.RPid	D - Biotope
<u>Ephemeral green or red seaweeds (freshwater or sand-influenced)</u>	MLR.Eph	C - Biotope complex
<u><i>Enteromorpha</i> spp. on freshwater-influenced or unstable upper eulittoral rock*</u>	MLR.Eph.Ent	D - Biotope
<u><i>Porphyra purpurea</i> or <i>Enteromorpha</i> spp. on sand-scoured mid or lower eulittoral rock*</u>	MLR.Eph.EntPor	D - Biotope

<a href="#"><u>Rhodothamniella floridula on sand-scoured lower eulittoral rock*</u></a>	MLR.Eph.Rho	D - Biotope
<a href="#"><u>Mytilus (mussels) and fucoids (moderately exposed shores)*</u></a>	MLR.MF	C - Biotope complex
<a href="#"><u>Mytilus edulis and Fucus vesiculosus on moderately exposed mid eulittoral rock</u></a>	MLR.MF.MytFves	D - Biotope
<a href="#"><u>Mytilus edulis, Fucus serratus and red seaweeds on moderately exposed lower eulittoral rock</u></a>	MLR.MF.MytFR	D - Biotope
<a href="#"><u>Mytilus edulis and piddocks on eulittoral firm clay</u></a>	MLR.MF.MytPid	D - Biotope
<a href="#"><u>Littoral Sabellaria (honeycomb worm) reefs*</u></a>	MLR.Sab	C - Biotope complex
<a href="#"><u>Sabellaria alveolata reefs on sand-abraded eulittoral rock</u></a>	MLR.Sab.Salv	D - Biotope

<a href="#"><u>Sheltered littoral rock (fucoid shores)</u></a>	SLR	B - Habitat complex
<a href="#"><u>Dense fucoids (stable rock)</u></a>	SLR.F	C - Biotope complex
<a href="#"><u>Pelvetia canaliculata on sheltered littoral fringe rock*</u></a>	SLR.F.Pel	D - Biotope
<a href="#"><u>Fucus spiralis on moderately exposed to very sheltered upper eulittoral rock*</u></a>	SLR.F.Fspi	D - Biotope
<a href="#"><u>Fucus vesiculosus on sheltered mid eulittoral rock*</u></a>	SLR.F.Fves	D - Biotope
<a href="#"><u>Ascophyllum nodosum on very sheltered mid eulittoral rock</u></a>	SLR.F.Asc	D - Biotope
<a href="#"><u>Ascophyllum nodosum on full salinity mid eulittoral rock*</u></a>	SLR.F.Asc.Asc	E - Sub-biotope
<a href="#"><u>Ascophyllum nodosum, sponges and ascidians on tide-swept mid eulittoral rock*</u></a>	SLR.F.Asc.T	D - Biotope
<a href="#"><u>Ascophyllum nodosum and Fucus vesiculosus on variable salinity mid eulittoral rock*</u></a>	SLR.F.Asc.VS	E - Sub-biotope
<a href="#"><u>Fucus serratus on sheltered lower eulittoral rock</u></a>	SLR.F.Fserr	D - Biotope
<a href="#"><u>Fucus serratus, sponges and ascidians on tide-swept lower eulittoral rock</u></a>	SLR.F.Fserr.T	E - Sub-biotope
<a href="#"><u>Fucus serratus and large Mytilus edulis on variable salinity lower eulittoral rock</u></a>	SLR.F.Fserr.VS	E - Sub-biotope
<a href="#"><u>Fucus ceranoides on reduced salinity eulittoral rock*</u></a>	SLR.F.Fcer	D - Biotope
<a href="#"><u>Fucoids, barnacles or ephemeral seaweeds (mixed substrata)</u></a>	SLR.FX	C - Biotope complex
<a href="#"><u>Barnacles and Littorina littorea on unstable eulittoral mixed substrata</u></a>	SLR.FX.BLlit	D - Biotope
<a href="#"><u>Fucus vesiculosus on mid eulittoral mixed substrata*</u></a>	SLR.FX.FvesX	D - Biotope
<a href="#"><u>Ascophyllum nodosum on mid eulittoral mixed substrata*</u></a>	SLR.FX.AscX	D - Biotope
<a href="#"><u>Ascophyllum nodosum ecad mackaii beds on extremely sheltered mid eulittoral mixed substrata*</u></a>	SLR.FX.AscX.mac	E - Sub-biotope

<a href="#">Fucus serratus on lower eulittoral mixed substrata</a>	SLR.FX.FserX	D - Biotope
<a href="#">Fucus serratus with sponges, ascidians and red seaweeds on tide-swept lower eulittoral mixed substrata*</a>	SLR.FX.FserX.T	E - Sub-biotope
<a href="#">Ephemeral green and red seaweeds on variable salinity or disturbed eulittoral mixed substrata</a>	SLR.FX.EphX	D - Biotope
<a href="#">Fucus ceranoides on reduced salinity eulittoral mixed substrata*</a>	SLR.FX.FcerX	D - Biotope
<b><a href="#">Mytilus (mussel) beds (mixed substrata)</a></b>	SLR.MX	C - Biotope complex
<a href="#">Mytilus edulis beds on eulittoral mixed substrata*</a>	SLR.MX.MytX	D - Biotope
<b><a href="#">Rockpools</a></b>	LR.Rkp	C - Biotope complex
<a href="#">Green seaweeds (Enteromorpha spp. and Cladophora spp.) in upper shore rockpools*</a>	LR.Rkp.G	D - Biotope
<a href="#">Corallina officinalis and coralline crusts in shallow eulittoral rockpools*</a>	LR.Rkp.Cor	D - Biotope
<a href="#">Coralline crusts and Paracentrotus lividus in shallow eulittoral rockpools</a>	LR.Rkp.Cor.Par	D - Biotope
<a href="#">Bifurcaria bifurcata in shallow eulittoral rockpools*</a>	LR.Rkp.Cor.Bif	E - Sub-biotope
<a href="#">Cystoseira spp. in shallow eulittoral rockpools*</a>	LR.Rkp.Cor.Cys	E - Sub-biotope
<a href="#">Fucoids and kelps in deep eulittoral rockpools*</a>	LR.Rkp.FK	D - Biotope
<a href="#">Sargassum muticum in eulittoral rockpools*</a>	LR.Rkp.FK.Sar	E - Sub-biotope
<a href="#">Seaweeds in sediment (sand or gravel)-floored eulittoral rockpools</a>	LR.Rkp.SwSed	D - Biotope
<a href="#">Hydroids, ephemeral seaweeds and Littorina littorea in shallow eulittoral mixed substrata pools*</a>	LR.Rkp.H	D - Biotope
<b><a href="#">Overhangs and caves</a></b>	LR.Ov	C - Biotope complex
<a href="#">Rhodothamniella floridula in upper littoral fringe soft rock caves</a>	LR.Ov.RhoCv	D - Biotope
<a href="#">Sponges and shade-tolerant red seaweeds on overhanging lower eulittoral bedrock</a>	LR.Ov.SR	D - Biotope
<a href="#">Sponges, bryozoans and ascidians on deeply overhanging lower shore bedrock</a>	LR.Ov.SByAs	D - Biotope

## A.4 Rapporten Bureau Waardenburg

Waardenburg, H.W., G.W.N.M. van Moorsel, A.J.M. Meijer & A.C. van Beek 1984. Vooronderzoek en onderzoeksvoorstellen levensgemeenschappen op hard substraat en visfauna in de Westerschelde. Bureau Waardenburg bv, Culemborg rapp. nr. 84.04

Moorsel, G.W.N.M. van & J. Begeman 1995. Inventarisatie onderwater levensgemeenschappen op 16 transecten in het Grevelingenmeer in 1995 en vergelijking met 1982-'84. Bureau Waardenburg bv, Culemborg, rapp. nr. 95.11

Moorsel, G.W.N.M. van, H.W. Waardenburg & J. van der Horst 1995. Biomonitoring van levensgemeenschappen op sublitorale harde substraten in Grevelingenmeer, Oosterschelde, Veerse Meer en Westerschelde. Resultaten t/m 1994. Bureau Waardenburg bv, Culemborg, rapp. nr. 95.20

Moorsel, G.W.N.M. van 1996. Ontwikkelingen van levensgemeenschappen op hard substraat in het Grevelingenmeer, periode 1979 - 1995. Bureau Waardenburg bv, Culemborg, rapp. nr. 95.54

Moorsel, G.W.N.M. van 1996. Biomonitoring van levensgemeenschappen op sublitorale harde substraten in Grevelingenmeer, Oosterschelde, Veerse Meer en Westerschelde. Resultaten t/m 1995. Bureau Waardenburg bv, Culemborg, rapp. nr. 96.14

Moorsel, G.W.N.M. van 1996. Ontwikkelingen van levensgemeenschappen op sublitorale harde substraten in de Oosterschelde, periode 1989 - 1995. Bureau Waardenburg bv, Culemborg, rapp. nr. 96.57

Moorsel, G.W.N.M. van 1997. Biomonitoring van levensgemeenschappen op sublitorale harde substraten in Grevelingenmeer, Oosterschelde, Veerse Meer en Westerschelde. Resultaten t/m 1996. Bureau Waardenburg bv, Culemborg, rapp. nr. 97.05

Moorsel, G.W.N.M. van 1998. Biomonitoring van levensgemeenschappen op sublitorale harde substraten in Grevelingenmeer, Oosterschelde, Veerse Meer en Westerschelde. Resultaten t/m 1997. Bureau Waardenburg bv, Culemborg, rapp. nr. 98.09

Moorsel, G.W.N.M. van & H.W. Waardenburg 1999. Biomonitoring van levensgemeenschappen op sublitorale harde substraten in Grevelingenmeer, Oosterschelde, Veerse Meer en Westerschelde. Resultaten t/m 1998. Bureau Waardenburg bv, Culemborg, rapp. nr. 99.11