

# Naar een weerbaar waddeneiland

Over de relatie tussen ruimtelijke inrichting en weerbaarheid



Masterscriptie Sociale Planologie

Datum: 16 - 08 - 2016

Auteur: Ynte de Wolff – s1796607

Begeleider: dr. F.M.G. van Kann

Rijksuniversiteit Groningen – Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen

Foto: Rijkswaterstaat: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt

## **Samenvatting**

Één van de gevolgen van klimaatverandering is de versnelde zeespiegelstijging. In het jaar 2100 is de zeespiegel voor de Nederlandse kust ten opzichte van 1990 naar verwachting met 35 tot 85 centimeter gestegen. Die stijging zal ook de Waddeneilanden treffen.

In dit onderzoek is onderzocht hoe de ruimtelijke inrichting van de Waddeneilanden hun weerbaarheid tegenover deze versnelde zeespiegelstijging beïnvloedt. Waarbij onder weerbaarheid de “capaciteit van de Waddeneilanden om functionaliteit te behouden” wordt verstaan. Als die weerbaarheid te beïnvloeden is door de ruimtelijke inrichting te veranderen, zou ruimtelijk beleid bij kunnen dragen aan de weerbaarheid van de Waddeneilanden.

Om kennis op te doen over de relatie tussen ruimte en weerbaarheid is in dit onderzoek naar concrete weerbaarheidsverhogende ruimtelijke maatregelen gezocht. Allereerst zijn hiervoor de Waddeneilanden via de theorie van het systeemdenken in een systeem omgezet. Van dat systeem is vervolgens met behulp van de theorie van ecologische weerbaarheid bepaald hoe functionaliteit behouden kan blijven.

Het is gebleken dat binnen een dynamische omgeving functionaliteit alleen kan worden behouden via verandering. Dat terwijl er in het verleden vooral op verzet is ingezet. Specifieke ruimtelijke maatregelen die die capaciteit verhogen zijn volgens dit onderzoek: het slechten van de stuifdijk, het slechten van de versterkte zeereep en ontpoldering.

Met de kennis die tijdens de zoektocht naar de weerbaarheidsverhogende ruimtelijke maatregelen is opgedaan zou toekomstig ruimtelijk beleid verbeterd kunnen worden.

## **Trefwoorden**

- Waddeneilanden
- Zeespiegelstijging
- Systeemdenken
- Weerbaarheid
- Ecologische weerbaarheid

## **Dankwoord**

Graag wil ik mijn grote dank uitspreken aan mijn begeleider dr. Ferry van Kann. Dankzij zijn feedback en positieve instelling wist ik mijn thesis na een tumultueuze tijd weer op de rails te zetten.

# Inhoudsopgave

1	Introductie.....	7
1.1	Aanleiding: De versnelde zeespiegelstijging.....	7
1.2	Probleemstelling: Zeespiegelstijging en de Waddeneilanden.....	7
1.3	Onderzoeksdoel.....	10
1.4	Onderzoeksvraag.....	11
1.5	Leeswijzer.....	11
2	Theoretisch Kader.....	12
2.1	Introductie.....	12
2.2	Systeemdenken.....	12
2.2.1	Introductie.....	12
2.2.2	Onderdelen en relaties.....	13
2.2.3	Fysieke en abstracte systemen.....	15
2.2.4	Entropie.....	16
2.2.5	Schaal.....	17
2.3	Weerbaarheid.....	21
2.3.1	Een definitie van weerbaarheid.....	21
2.3.2	Weerbaarheid analyseren.....	23
2.4	Ecologische weerbaarheid.....	24
2.4.1	Introductie.....	24
2.4.2	Evenwichtssituaties.....	24
2.4.3	Stabiliteit.....	26
2.4.4	Behulpzame en onbehulpzame weerbaarheid.....	28
2.4.5	Obstakels.....	30
2.4.6	Dynamische omgevingen.....	32
2.5	Conceptueel model.....	34
3	Methode.....	35
3.1	Introductie.....	35
3.2	Data-inwinning.....	36
3.3	Onderzoeksubject als systeem.....	39
3.4	Van systeem naar systeemeigenschappen.....	40
3.5	Functionaliteit en omgeving.....	42
3.6	Waddeneilanden in het verleden en over de grens.....	42
3.7	Van weerbaarheid naar ruimtelijke ingrepen.....	42
4	Data.....	44
4.1	Introductie.....	44
4.2	Waddeneilanden.....	45
4.3	Afbakening onderzoeksubject.....	46
4.3.1	Randvoorwaarden.....	46
4.3.2	Ondergrens.....	47
4.3.3	Bovengrens.....	49
4.4	Van waddeneiland naar waddeneilandsysteem.....	54
4.4.1	Introductie.....	54
4.4.2	Barrière-eilanden.....	54
4.4.3	Strand en vooroever.....	56
4.4.4	Eilandkop.....	57
4.4.5	Duinboogcomplex.....	57
4.4.6	Overslagcomplex.....	58

4.4.7 Eilandstaart.....	58
4.4.8 Kwelders.....	58
4.4.9 Het waddeneilandsysteem.....	59
4.4.10 Systeemeigenschappen.....	60
4.5 De versnelde zeespiegelstijging.....	64
4.6 Functionaliteit.....	65
4.7 Moderne Nederlandse Waddeneilanden.....	65
4.7.1 Introductie.....	65
4.7.2 Schiermonnikoog.....	67
4.7.3 Inpoldering.....	67
4.7.4 De aanleg van stuifdijken.....	68
4.7.5 Het versterken van de zeereep.....	71
4.7.6 Een bijgewerkt waddeneilandsysteem.....	72
4.7.7 Systeemeigenschappen.....	73
4.8 Moderne Duitse Waddeneilanden.....	75
4.8.1 Introductie.....	75
4.8.2 Spiekeroog.....	75
4.8.3 Het Duitse waddeneilandsysteem.....	76
4.8.4 Systeemeigenschappen.....	77
5 Synthese.....	78
5.1 Introductie.....	78
5.2 Weerbaarheidstrap.....	79
5.2.1 Omgeving en functionaliteit.....	79
5.2.2 Behulpzaamheid ecologische weerbaarheid.....	80
5.2.3 Gevallen van behulpzame en onbehelpzame obstakels.....	81
5.3 Potentie voor ruimtelijke maatregelen.....	83
6 Conclusie.....	85
6.1 Introductie.....	85
6.2 Systeemen denken.....	85
6.3 Weerbaarheid.....	85
6.4 Dynamische omgevingen.....	86
6.5 Beantwoorden onderzoeksvraag.....	87
6.6 Implicaties voor ruimtelijk beleid.....	87
6.7 Bredere toepasbaarheid.....	89
6.8 Sterke en zwakke kanten van dit onderzoek.....	90
6.9 Validiteit verzamelde data.....	91
6.10 Verder onderzoek.....	91
7 Bijlagen.....	93
7.1 Literatuurlijst.....	93
7.2 Samenvatting interview met prof. dr. A.P. Grootjans op 20-05-2014.....	97
7.2.1 Zeespiegelstijging.....	97
7.2.2 Stuifdijken.....	97
7.2.3 Dynamisch kustbeheer.....	97
7.2.4 De natuur zijn gang laten gaan of menselijk ingrijpen.....	98
7.2.5 Veiligheid – Zandsuppletie.....	98
7.2.6 Basiskustlijn.....	98
7.2.7 Heeft het Waddenzeesysteem meer zand nodig?.....	99
7.2.8 Belangen.....	99
7.2.9 Visies op de toekomst – de lange vs de korte termijn.....	99
7.2.10 De Slufter en Polders.....	100



## Lijst van figuren

Figuur 1: Dijkverhogingen als enige manier om de Waddeneilanden te redden?.....	8
Figuur 2: Sedimentatie als oplossing om de Waddeneilanden te redden?.....	9
Figuur 3: De relatie tussen de echte wereld en een modelsysteem.....	13
Figuur 4: Een wiskundige definitie van een systeem. Klir (1991) in Skyttner (2005).....	14
Figuur 5: Een conventioneel systeem volgens Olsson & Sjöstedt (2004).....	14
Figuur 6: Een hiërarchie van Systemen. (Skyttner, 2005).....	18
Figuur 7: Een voorbeeld van opvolgende schaalniveau's. (Odum & Odum, 2000).....	19
Figuur 8: Een lagenmodel van de provincie Overijssel. Provincie Overijssel (2009b) in (Van Schaick & Klaasen, 2013).....	20
Figuur 9: Een kwetsbaar systeem zonder aanpassingsvermogen zal niet op hetzelfde niveau door kunnen functioneren.....	21
Figuur 10: Routes die een kwetsbaar systeem af kan leggen om in een weerbaar systeem te veranderen.....	22
Figuur 11: Robuustheid en herstelsnelheid in een systeem. (McDaniels et al., 2008).....	23
Figuur 12: Ecologische weerbaarheid kent meerdere evenwichtssituaties. Naar Holling (1996).....	25
Figuur 13: Hoe een evenwichtssituatie verdwijnen kan. (Holling, 1996).....	26
Figuur 14: Een woelig systeem kan naar een weerbaardere positie bewegen.....	27
Figuur 15: Ecologische weerbaarheid volgens Standish et al. (2014).....	30
Figuur 16: Ecologische weerbaarheid gevisualiseerd als bestaande uit obstakels die systeembewegingen tegenhouden.....	31
Figuur 17: Zonder te bewegen kan een systeem toch wegzakken op de weerbaarheidstrap.....	33
Figuur 18: Door te bewegen kan een systeem in een dynamische omgeving toch het originele niveau van functionaliteit behouden.....	33
Figuur 19: Conceptueel model.....	34
Figuur 20: Onderzoeksstrategie.....	35
Figuur 21: Een vergelijking tussen een Amerikaans (links) en Nederlands (rechts) Waddengebied. (Elias, 2006).....	45
Figuur 22: Schematisch overzicht van de onderdelen die zich rondom een zeegat bevinden. (De Swart & Zimmerman, 2009).....	46
Figuur 23: Een hiërarchie van sedimentuitwisselende systemen.....	47
Figuur 24: Uitwisseling van sediment op het laagste schaalniveau.....	48
Figuur 25: Sedimentuitwisselende landschapsvormen.....	48
Figuur 26: Eilandlengte van West naar Oost.....	50
Figuur 27: Sedimentuitwisseling op de schaal van de hele kustzone.....	51
Figuur 28: Onderdelen van een "Waddengebiedsysteem".....	51
Figuur 29: De zes getijdenbekkens (Elias, 2006).....	52
Figuur 30: De onderdelen rondom een enkel zeegat.....	53
Figuur 31: De onderdelen rondom een enkel eiland.....	53
Figuur 32: Schematisch overzicht van een generiek barrière-eiland. Leatherman (1979, in Oertel 1985).....	54
Figuur 33: Een asymmetrisch en symmetrisch barrière-eiland. Beeldmateriaal uit Bing © Microsoft.....	55
Figuur 34: Het modelwaddeneiland van Het Tij Geleerd (Het Tij Geleerd 2008, p.29).....	56
Figuur 35: Eilandkoppen op verschillende punten in de cyclus van aanlanding en om het eiland heenwalsen. Vlnr: Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog. Beeldmateriaal uit Bing © Microsoft.....	57
Figuur 36: Het waddeneilandsysteem.....	59
Figuur 37: Plan tot inpoldering van grote delen van de Waddenzee. (Waddenvereniging, 2016).....	66

Figuur 38: Schiermonnikoog, een voorbeeld van hoe een Nederlands waddeneiland er tegenwoordig uitziet. Gemarkeerd zijn: rood: bevolkingskern, paars: de zeereep en blauw: de stuifdijk. Beelmateriaal uit Bing © Microsoft.....	67
Figuur 39: Hoogteverschil tussen polder en kwelder. Data uit de AHN.....	68
Figuur 40: Hoogtekaart van de Oerderstuifdijk op Ameland. Te zien is hoe twee 'natuurlijke' hoogtes via een kaarsrechte dijk met elkaar verbonden zijn. Data uit de AHN.....	70
Figuur 41: Hoogteprofiel van Noordzee tot Waddenzee ter hoogte van de Oerderstuifdijk. Data uit de AHN.....	70
Figuur 42: De versterkte zeereep is op een hoogtekaart, van in dit geval Vlieland, zichtbaar als een hoger gelegen lijnelement. Data uit de AHN.....	71
Figuur 43: Het moderne waddeneilandsysteem dat aansluit bij de huidige Nederlandse Waddeneilanden. In het rood de onderdelen die nieuwe zijn ten opzichte van het modelwaddeneilandsysteem.....	72
Figuur 44: Het Oost-Friese waddeneiland Spiekeroog. In het rood de bevolkingskern en in het oranje de zeedijk. Beeldmateriaal uit Bing © Microsoft 2015.....	75
Figuur 45: Het Duitse waddeneilandsysteem.....	76
Figuur 46: De weerbaarheidstrap voor een waddeneilandsysteem.....	79
Figuur 47: Binnen een dynamische omgeving is de behulpzaamheid van weerbaarheid maar relatief. Het onbehulpzame en behulpzame obstakel worden in het rood en groen weergegeven.....	81
Figuur 48: De drie onbehulpzame obstakels op de weerbaarheidstrap. Van links naar rechts die van het moderne, Duitse en modelwaddeneilandsysteem.....	82

## Tabellenregister

Tabel 1: Eigenschappen die systemen met hoge behulpzame weerbaarheid en systemen met hoge onbehulpzame weerbaarheid kenmerken.....	28
Tabel 2: Invloed van de toename van systeemeigenschappen op de twee typen obstakels.....	34
Tabel 3: Soorten onderzoek die Standish et al. (2014) aanraden bij verschillende typen verstoringen.....	37
Tabel 4: Een niet limitatieve lijst van bronnen die in hoofdstuk 4 naar voren zullen komen.....	38
Tabel 5: Omreken tabel beoordelingskader.....	41
Tabel 6: Beoordelingskader voor de systeemeigenschap 'openheid'.....	41
Tabel 7: Beoordelingskader voor de systeemeigenschap 'connectiviteit'.....	41
Tabel 8: Beoordelingskader voor de systeemeigenschap 'woeligheid'.....	41
Tabel 9: Beoordelingskader voor de systeemeigenschap 'diversiteit'.....	42
Tabel 10: Landschapsvormen van het modelwaddeneiland.....	56
Tabel 11: Vervangingstijd van de verschillende onderdelen (Het Tij Geleerd 2008, p.29).....	61
Tabel 12: Systeemeigenschappen van het modelwaddeneilandsysteem.....	62
Tabel 13: Motivatie toetsing strand.....	62
Tabel 14: Motivatie toetsing ingesloten strandvlakte.....	63
Tabel 15: Systeemeigenschappen van het moderne waddeneilandsysteem.....	74
Tabel 16: Systeemeigenschappen van het Duitse waddeneilandsysteem.....	77
Tabel 17: Beoordeling systeemeigenschappen van de drie systemen.....	82

# 1 Introductie

## 1.1 Aanleiding: De versnelde zeespiegelstijging

Een onderwerp waar we al jaren niet omheen kunnen is klimaatverandering. Het “Intergovernmental Panel on Climate Change” (afgekort IPCC), een werkgroep van de Verenigde Naties, heeft meerdere rapporten uitgebracht die een overzicht geven van de huidige staat van de wetenschappelijke kennis op het gebied van klimaatverandering. In het vijfde en meest recente rapport wordt geconcludeerd dat de afgelopen decennia de gemiddelde temperatuur op aarde gestegen is en dat het zeer waarschijnlijk is dat deze temperatuurstijging in de nabije toekomst door zal zetten. Een van de voorspelde, en al waargenomen, effecten van de opwarming van de aarde is een versnelde stijging van de zeespiegel. Er wordt gesproken over een 'versnelde' stijging omdat er sinds de laatste ijstijd al sprake is van een zeespiegelstijging. Volgens het KNMI (2016a) stijgt de zeespiegel voor de Nederlandse kust sinds 1900 met gemiddeld 1,8 millimeter per jaar. Een versnelling van deze stijging is ter plaatse van de Nederlandse kust nog niet waargenomen. Op wereldschaal was de zeespiegelstijging in de periode 1993 – 2010 met 3,2 millimeter per jaar al wel bijna twee keer zo hoog dan in de periode 1901 – 2010. (IPCC in KNMI, 2016a).

Het IPCC (2013) verwacht dat door de voortschrijdende opwarming van de aarde de zeespiegel tot het jaar 2100 tussen de 25 en 100 centimeter zal stijgen. In Nederland komt daar nog eens bodemdaling bovenop. Beide processen dragen er uiteindelijk aan bij dat het land ten opzichte van de zeespiegel steeds lager zal komen te liggen. Het KNMI heeft in 2006 een toekomstscenario ontwikkeld met als uitkomst een verwachte zeespiegelstijging van tussen de 35 en 85 cm tussen 1990 en 2100 (KNMI, 2016b). In de voorspellingen van het IPCC en het KNMI zitten nog grote marges. De uiteindelijke zeespiegelstijging is zeer afhankelijk van het verloop van de strijd tegen klimaatverandering. Een gedeelte van de schade is natuurlijk al aangericht en zelfs in het meest optimistische scenario zal er een versnelling van de zeespiegelstijging plaatsvinden. Naast inzet op het afremmen van klimaatverandering doet Nederland er dan ook goed aan om zich voor te bereiden op de effecten van klimaatverandering die nu al niet meer te ontkomen zijn.

## 1.2 Probleemstelling: Zeespiegelstijging en de Waddeneilanden

Al zou de wereld zich maximaal inspannen om de klimaatverandering af te remmen, aan een gedeelte van de gevolgen valt nu al niet meer te ontkomen. Inspanningen om de menselijke rol in de klimaatverandering te verkleinen zijn belangrijk maar niet meer genoeg. Zelfs in het meest gunstige emissiescenario zal de zeespiegel sneller stijgen dan waar in de afgelopen eeuw sprake van was. (IPCC, 2013; KNMI, 2016b). De effecten van die versnelde zeespiegelstijging moeten hoe dan ook opgevangen worden. In een laaggelegen land als Nederland zal dit proces van “klimaatadaptatie” veel ruimtelijke vraagstukken opwerpen. Sommige vraagstukken zullen Nederland voor grote en ingrijpende keuzes stellen.

Een gebied waar zo'n vraagstuk al heeft geleid tot ingrijpende ruimtelijke keuzes is het

rivierengebied. Onder invloed van de klimaatverandering wordt verwacht dat de Rijn steeds meer zal veranderen in een 'regenrivier' en als gevolg daarvan in de winter meer en in de zomer minder water af zal voeren. De oorzaak daarvan is dat de een kleiner gedeelte van de winterneerslag in de vorm van sneeuw en ijs wordt opgeslagen maar direct wordt afgevoerd door de rivier. (Rense, 2013). Op de jaargemiddelden hoeft deze verschuiving nog niet eens invloed te hebben, op de piekafvoer daarentegen wel. Dat heeft tot gevolg dat de zogenaamde maatgevende afvoer van de Rijn zal moeten groeien van 15.000 m<sup>3</sup>/s begin jaren 90 tot op termijn 18.000 m<sup>3</sup>/s (Rense, 2013). Om deze capaciteitsverhoging mogelijk te maken heeft de overheid besloten niet nogmaals de bestaande infrastructuur te versterken, maar om de rivier meer ruimte te geven. Niet de dijken nog weer eens verzwaren maar de dijken waar nodig terug leggen, ook als dat betekent dat daarvoor bestaande functies als wonen en landbouw moeten wijken. Door het water meer ruimte te geven wordt de maximale veilige afvoer hoger. Uit de klimaatverandering voortkomende gevaren hebben in het rivierengebied tot een geheel nieuwe kijk op de inrichting van de ruimte geleid, een ware 'paradigmaverschuiving' (Rense, 2013).

Naast het rivierengebied zijn er nog veel meer gebieden in Nederland waar de klimaatverandering direct dan wel indirect haar invloed zal doen laten gelden. De in de aanleiding aangehaalde versnelde zeespiegelstijging zal dat het meest zichtbaar doen langs de kusten: van Zeeland tot Waddenzee. Van alle gebieden langs de Nederlandse kuststrook is de Waddenzee een bijzonder geval. Het Waddengebied is één van de laatste plaatsen waar nog echt sprake is van natuurlijke dynamiek. Natuurkrachten worden daar niet ingetoomd met dijken en dammen maar zijn nog vrij om zelf een groot deel van de fysieke omgeving vorm te geven. De Waddenzee staat in open verbinding met de wereldzeeën en zal de versnelde zeespiegelstijging één op één volgen. Dat heeft tot gevolg dat het hele Waddengebied inclusief zijn eilanden relatief lager zal komen te liggen.

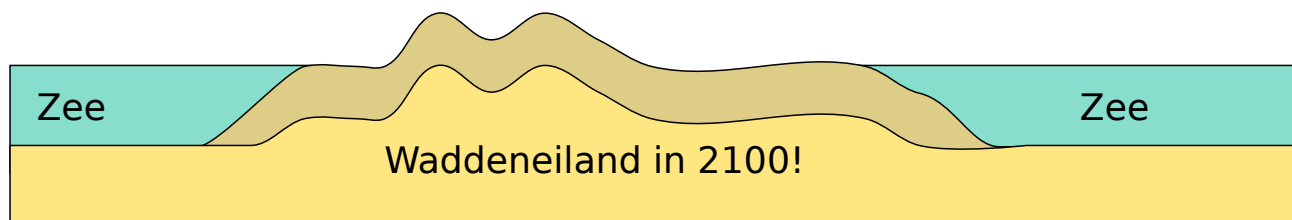
De meest simpele reactie op een stijgende zeespiegel is dat de dijken simpelweg met deze stijging mee moeten groeien, net als bij het rivierengebied zitten er echter beperkingen aan die methode. Rivieren zouden door die strategie als een aquaduct gevaarlijk hoog boven het omliggende land komen te stromen. Waddeneilanden zouden er - zoals in figuur 1 weergegeven wordt - in een omgekeerde badkuip door veranderen. Het is maar de vraag of er dan nog wel van Waddeneilanden gesproken kan worden. Misschien biedt de bijzondere verschijningsvorm van de dynamische Waddeneilanden echter ook een andere uitweg.



*Figuur 1: Dijkverhogingen als enige manier om de Waddeneilanden te redden?*

Aan de basis van de natuurlijke vormgevende processen in het Waddengebied staat volgens Louters et al. (1994) de balans tussen sedimentatie en erosie van sediment. Het belangrijkste smeermiddel van deze twee processen is water: sediment kan in water oplossen met erosie tot gevolg, maar het kan ook uit water zakken met sedimentatie tot gevolg. De wisselwerking tussen

erosie en sedimentatie heeft het gehele Waddengebied inclusief eilanden vormgegeven en is nog altijd de motor achter de dynamiek van het Waddengebied. De twee processen bieden misschien een kans om op een andere manier met klimaatverandering en de versnelde zeespiegelstijging om te gaan. Door sedimentatie kan een eiland zowel horizontaal als verticaal groeien. Als er genoeg sedimentatie plaatsvindt, kan de versnelde zeespiegelstijging in theorie gecompenseerd kunnen worden. Dat zou kunnen leiden tot een eiland als die van figuur 2: nog altijd een herkenbaar waddeneiland. In het rivierengebied kwam men tot “ruimte voor rivier”, een vergelijkbare slogan voor de Waddeneilanden zou op basis van bovenstaande “ruimte voor sedimentatie” kunnen luiden.



*Figuur 2: Sedimentatie als oplossing om de Waddeneilanden te redden?*

In de vorige alinea werd gesteld dat sedimentatie de zeespiegelstijging gecompenseerd zou kunnen worden”, een belangrijke vraag is: onder welke omstandigheden? Als de zeespiegel één meter stijgt moet er ook één meter sediment afgezet worden. Als er in de beschikbare tijd maar een halve meter sedimentatie mogelijk is, verdwijnt het waddeneiland alsnog. Om te bepalen hoeveel potentie “ruimte voor sedimentatie” heeft is het nodig te begrijpen onder welke omstandigheden sedimentatie een kans heeft de versnelde zeespiegelstijging bij te houden. Als die omstandigheden er nu niet zijn wordt het de vraag of ze wellicht wel gecreëerd kunnen worden.

Indien er ruimtelijke veranderingen nodig zijn om sedimentatie een kans te geven, moet daar in de ruimtelijke ordening van de Waddeneilanden rekening worden gehouden. Nu al legt de zeespiegelstijging beperkingen op aan de inrichting van de Waddeneilanden. Er wordt bijvoorbeeld ruimte gereserveerd ten behoeve van de versterking van waterkeringen op de eilanden (Gemeente Terschelling 2009; BügelHajema 2016). Een keuze om sedimentatie de ruimte te geven, zal een nog veel grotere invloed op ruimtelijke ordening hebben.

Onder druk van klimaatverandering heeft de planning van het rivierengebied een paradigmaverschuiving ondervonden. Een andere kijk op hoe de Waddeneilanden met klimaatverandering om kunnen gaan, namelijk: ‘gebruik maken van de al aanwezige natuurlijke wisselwerking tussen sedimentatie en erosie’ zou hetzelfde kunnen doen. Onder nieuwe omstandigheden kunnen bestaande denkwijzen ineens ontoereikend blijken. Het aloude verhogen van de rivierdijken voldeed bijvoorbeeld ineens niet meer. “Ruimte voor sedimentatie” zou voor het Waddengebied een nieuwe invalshoek kunnen zijn als ook daar de huidige inrichting van de ruimte tekort begint te schieten. Een invalshoek die als basis kan dienen voor nieuwe methoden en technieken om de ruimte optimaal in te richten. Een andere manier om het bestaande doel – behoud van de Waddeneilanden – te bereiken.



### 1.3 Onderzoeksdoel

In de inleiding kwam naar voren dat klimaatverandering een actueel thema is, al tot een andere kijk op de inrichting van het rivierengebied geleid heeft en dat er beweegredenen zijn om te denken dat daar voor de Waddeneilanden ook aanleiding toe is. Die landschapsvormen lopen potentieel gevaar dankzij de klimaatverandering, in het bijzonder door de versnelde zeespiegelstijging. Dit onderzoek wil het behoud van de Waddeneilanden steunen door bij te dragen aan de wetenschappelijke kennis over de die landschapsvormen. Kennis op basis waarvan de ruimtelijke ordening ter plaats van de Waddeneilanden kan worden verbeterd. In het bijzonder wil het verkennen wat de potentiële rol van het inzetten op sedimentatie zou kunnen zijn. Door middel van sedimentatie zouden de Waddeneilanden met de zeespiegel mee kunnen groeien.

De capaciteit van de Waddeneilanden om met de zeespiegel mee te groeien wordt in dit onderzoek onder de noemer “weerbaarheid” geschoven. De Waddeneilanden zijn weerbaar te noemen als ze ondanks de aanwezigheid van versnelde zeespiegelstijging, ook in de toekomst waddeneiland blijven. Het bereiken van dat niveau van weerbaarheid is het hogere doel waar dit onderzoek aan wil bijdragen.

Het verhogen van de weerbaarheid van de Waddeneilanden valt alleen binnen het domein van de planologie als die weerbaarheid via de inrichting van de ruimte te beïnvloeden is. Het hoofddoel van dit onderzoek is het bepalen of die relatie inderdaad bestaat. Dat zal dit onderzoek doen door op zoek te gaan naar ruimtelijke maatregelen die de weerbaarheid van de Waddeneilanden verhogen. Als die gevonden kunnen worden, bewijst dat dat er een relatie is tussen ruimte en weerbaarheid. Tevens zullen ze een beeld geven van de ruimtelijke veranderingen die kunnen worden uitgevoerd om de problematiek van de versnelde zeespiegelstijging te keren.

Het is duidelijk niet de bedoeling om tot een compleet uitgewerkt beleidsvoorstel te komen. De zoektocht naar de ruimtelijke maatregelen zal zich voor een groot deel op een fysisch geografisch niveau afspelen en gaat niet primair op bestuurlijke en beleidsmatige aspecten in. De versnelde zeespiegelstijging is een fysieke verandering en speelt zich vooral op dat niveau af.

Binnen het planningsproces is de fysieke ruimte maar één van de vele thema's en staat het naast onderwerpen als demografie, economie en milieu. Belangen die uit dit onderzoek voortkomen moeten gewogen worden met belangen uit andere thema's. Zo'n afweging zou dan moeten leiden tot een plan om tot een weerbare inrichting van de Waddeneilanden te komen; een ruimtelijk beleid dat optimaal rekening houdt met toekomstige uitdagingen (waaronder ook de versnelde zeespiegelstijging).

Nu al zichtbaar dat de versnelde zeespiegelstijging invloed heeft op de ruimtelijke ordening van de Waddeneilanden. Ten behoeve van toekomstige versterkingen van de waterkeringen op Terschelling mag er in een bepaalde zone rondom die infrastructuur niet gebouwd worden (Terschelling, 2009). Maatregelen die volgens dit onderzoek voor de verhoging van weerbaarheid noodzakelijk zijn, zouden op eenzelfde manier in toekomstig ruimtelijk beleid door kunnen werken.

## 1.4 Onderzoeksvraag

Hoe beïnvloedt de ruimtelijke inrichting van de Waddeneilanden hun weerbaarheid tegen de versnelde zeespiegelstijging?

1. Wat is weerbaarheid?
2. Hoe kan de weerbaarheid van de Waddeneilanden bepaald worden?
3. Wat betekent de versnelde zeespiegelstijging voor de Waddeneilanden?
4. Hoe kunnen plekken waar ruimtelijke maatregelen de weerbaarheid van de Waddeneilanden kunnen versterken, aangewezen worden?
5. Zijn er ruimtelijke maatregelen die de weerbaarheid van het de Waddeneilanden kunnen verhogen?

## 1.5 Leeswijzer

Dit onderzoek bestaat uit 5 onderdelen die elk in een eigen hoofdstuk worden behandeld: theorie, methode, data, synthese en conclusie.

In het hoofdstuk over de theorie worden theorieën gepresenteerd die mogelijk zullen maken de Waddeneilanden op een gestructureerde manier te beschrijven, het begrip weerbaarheid te begrijpen en om uiteindelijk die twee zaken aan elkaar te koppelen. De eerste vier deelvragen zullen aan het eind van dit hoofdstuk zijn beantwoord.

In de methode wordt uitgelegd hoe de theorieën ingezet zullen worden om de onderzoeksvraag en zijn deelvragen te beantwoorden. Er zal verteld worden welke data er verzameld worden moet en hoe die verwerkt worden zal.

Het daadwerkelijke data-inwinningsproces wordt beschreven in het derde deel; hoofdstuk 4 van dit document. Er wordt in dit onderzoek vooral abstracte data ingewonnen. Om die data makkelijker te kunnen verwerken zullen de abstracte waarnemingen via een beoordelingskader gestructureerd genoteerd worden. Tijdens de toepassing van dat beoordelingskader zal al enige analyse en beoordeling plaatsvinden

In de synthese wordt de verwerkte data samengebracht met de theorie. In dat hoofdstuk zal duidelijk worden wat de relatie is tussen ruimte en weerbaarheid; wat de invloed van de morfologie van de de Waddeneilanden is op de 'strijd' tegen de zeespiegelstijging. Ruimtelijke verschillen zullen volgens de theorie leiden tot verschillen in weerbaarheid. Dat betekent ook dat het aanpassen van de ruimte, weerbaarheid beïnvloedt. In de synthese zal besproken worden of dat verband in de data zichtbaar was en bepaald worden of er ruimtelijke maatregelen mogelijk zijn die de weerbaarheid positief beïnvloeden.

Als laatste zal in de conclusie de hoofdonderzoeksvraag beantwoord worden, zal gereflecteerd worden op het onderzoeksproces en zullen de concepten en theorieën in een breder (planologisch) perspectief gezet worden. Alle hoofdstukken hebben een eigen introductie.

## 2 Theoretisch Kader

### 2.1 Introductie

Om antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvragen is een gedegen theoretische onderbouwing noodzakelijk. In dit hoofdstuk zal een 'keten' van theorieën besproken worden waarmee het mogelijk moet worden om de Waddeneilanden, het begrip weerbaarheid en ruimtelijk ingrijpen aan elkaar te koppelen.

Het startpunt van deze keten is het systeemdenken. Het Waddengebied bestaat uit tientallen eilanden, honderden geulen en ontelbare hoeveelheden zandkorrels. Om iets zinnigs over dit onderzoeksobject te kunnen zeggen moet deze eerst behapbaar gemaakt worden, het systeemdenken biedt een raamwerk waarmee het uitvoeren van zo'n abstractieslag mogelijk wordt (Skyttner, 2005). De toepassing van systeemdenken maakt het mogelijk het Waddengebied als duidelijk geordend en afgebakend 'systeem' te beschrijven. Het 'waddeneilandsysteem' dat er uit voortkomt zal als basis dienen voor de vervolgstappen van dit onderzoek: versnelde zeespiegelstijging en de relatie tussen ruimte en weerbaarheid. Dat wil zeggen dat de versnelde zeespiegelstijging bijvoorbeeld niet 'toegepast' wordt op de werkelijkheid maar op het 'waddeneilandsysteem': een model van de werkelijkheid.

Aangezien dit onderzoek bij wil dragen aan de 'weerbaarheid' van het Waddengebied zal er in dit hoofdstuk veel aandacht aan het begrip weerbaarheid besteed worden. Dit begrip zal eerst in algemene zin onderzocht worden, dan zal van daaruit richting een theorie gewerkt worden die specifiek op open en dynamische systemen als de Waddeneilanden gericht is. Met behulp van de theorieën die hierbij naar voren komen moet het mogelijk worden weerbaarheid te 'meten' en inzicht te krijgen in hoe ruimtelijke veranderingen de weerbaarheid van een systeem beïnvloeden. Kennis over hoe weerbaarheid in zo'n geval veranderen kan, maakt het mogelijk in te schatten of er via ruimtelijk ingrijpen daadwerkelijk invloed op weerbaarheid uitgeoefend worden kan.

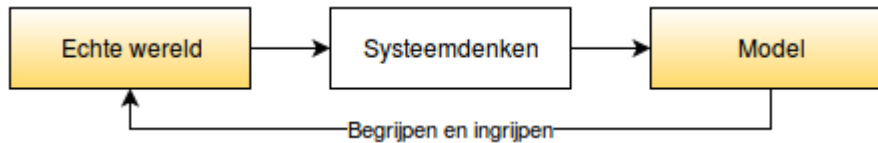
## 2.2 Systeemdenken

### 2.2.1 Introductie

In de algemene inleiding van dit onderzoek werd gesteld dat het Waddengebied een, voor Nederland, uniek gebied is omdat daar nog echt sprake is van natuurlijke dynamiek. Grote delen van het Waddengebied kunnen veranderen zonder dat daar één mensenhand aan te pas hoeft te komen. Het Waddengebied wordt vormgegeven door samenhangende autonome processen die samen alle delen van het Waddengebied met elkaar verbinden (Louters & Gerritsen, 1994). Zo'n stelsel van met in elkaar in verbinding staande onderdelen worden volgens het systeemdenken 'systemen' genoemd (Skyttner, 2005).

Om tot een systeem te komen dat bruikbaar is voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag moeten er een paar stappen gezet worden. Door vanaf een hoog duin een heel eiland te overzien is exact te zien hoe het "waddeneilandsysteem" er uit ziet, hoe het is. Het systeem

in werking zien is echter niet hetzelfde als het systeem begrijpen. Het zou al heel bijzonder zijn om op basis van zo'n observatie te begrijpen waarom de Waddeneilanden zijn zoals ze zijn, laat staan op basis daarvan de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. Het systeemdenken biedt een leidraad voor het opstellen van een systeem dat wel geschikt is voor het beantwoorden van zulke vragen: een onderzoekbaar systeem.



*Figuur 3: De relatie tussen de echte wereld en een modelsysteem*

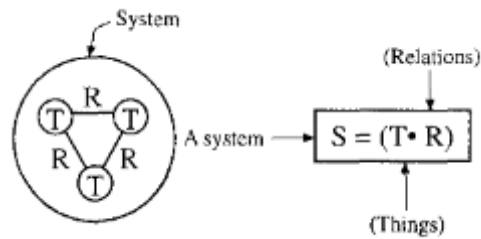
In dit hoofdstuk zal uitgelegd worden hoe een onderzoeksobject in een systeem omgezet worden kan; hoe uit een waddeneiland een waddeneilandsysteem gemaakt kan worden. Een belangrijke eigenschap van dat systeem moet natuurlijk zijn dat deze de werkelijkheid goed benadert. Dit onderzoek wil bijdragen aan het behoud van de werkelijke Waddeneilanden. Ingrenen die uit het model naar voren komen mogen op de echte Waddeneilanden niet ineens een andere uitwerking hebben. Anderzijds mag het waddeneilandsysteem ook weer niet te ingewikkeld worden waardoor deze onhanteerbaar blijft. Dat een systeem uit de echte wereld volgt en daar ook weer op terugkoppelt wordt weergegeven in figuur 3.

## 2.2.2 Onderdelen en relaties

Systeemdenken is een wetenschappelijke benadering om de eigenschappen van een 'systeem' te beschrijven en is volgens Olsson & Sjöstedt (2004) in zo'n beetje alle wetenschapsdisciplines toepasbaar, waaronder planologie (Assche & Verschraegen, 2008) en transitie management (Loorbach & Rotmans, 2006). Het is volgens Olsson & Sjöstedt (2004) een manier van denken over complexe problemen. Skyttner (2005, p. 58) bespreekt in zijn boek meerdere perspectieven op systeemdenken en komt uiteindelijk tot de volgende definitie van een systeem:

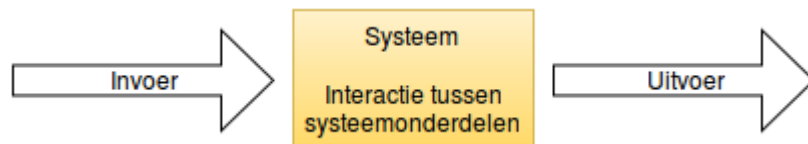
“An organized whole in which parts are related together, which generates emergent properties and has some purpose”

Binnen het systeemdenken bestaan systemen uit met elkaar verbonden onderdelen. Een systeem valt niet te begrijpen door alleen kennis te vergaren over alle losse onderdelen, alleen met een overzicht van de onderlinge samenhang van al die onderdelen wordt het mogelijk het gedrag van een systeem echt te begrijpen (Ison, 2008). Klir (1991) in Skyttner (2005) laat deze definitie van een systeem op een in figuur 4 weergegeven wiskundige manier zien. Een systeem is in de ogen van Klir het product van de in het systeem aanwezige onderdelen en de in het systeem aanwezige relaties.



*Figuur 4: Een wiskundige definitie van een systeem. Klir (1991) in Skyttner (2005)*

Een systeem is dus niet zomaar een samenraapsel van toevallig bij elkaar in de buurt liggende onderdelen. Juist de interactie tussen die onderdelen vormt volgens Olsson & Sjöstedt (2004) de kern van een systeem. Veel systemen kennen naast deze interne wisselwerking ook een wisselwerking met een omgeving, ze importeren of exporteren zaken als materie, informatie, energie, etc. Hoe een systeem er dan uitziet wordt in figuur 5 weergegeven.



*Figuur 5: Een conventioneel systeem volgens Olsson & Sjöstedt (2004)*

Om van een echt systeem te kunnen spreken moet volgens Skyttner (2005) aan drie voorwaarden worden voldaan:

- Organisatie
- Continuïteit
- Doelgerichtheid.

De eerste voorwaarde stelt dat de systeemonderdelen geordend moeten zijn; onderdelen moeten zich op een bepaalde manier tot elkaar verhouden. Een stapel losse bakstenen is geen systeem. Pas als ze in een muur gemetseld worden, krijgt iedere baksteen een eigen rol en ontstaat er uit losse onderdelen een systeem. De tweede voorwaarde stelt dat een systeem over een langere tijd stabiel moet zijn en de laatste dat een systeem een bepaalde functie of rol moet vervullen.

Constateren dat een waddeneiland stranden, duinen, kwelders, polders, enzovoort kent, is niet genoeg. Zonder iets te weten over hoe die landschapsvormen elkaar beïnvloeden kan er ook geen onderzoekbaar systeem geformuleerd worden. Een simpele opsomming van die verschillende onderdelen is structuurloos. De Waddeneilanden bezitten echter wel degelijk structuur. Polders grenzen niet aan de Noordzee en stranden komen niet op het midden van het eiland voor, in plaats daarvan lijken de landschapsvormen op alle eilanden op vergelijkbare plaatsen te liggen (het Tij Geleerd, 2008). Waarom die onderdelen van het waddeneiland zo ingedeeld zijn en welke



interacties ze onderling hebben, zijn vragen die het op te zetten waddeneilandsysteem beantwoorden moet.

### 2.2.3 Fysieke en abstracte systemen

Een systeem moet volgens Skyttner doelgericht zijn, eigenlijk is dat een standpunt uit de teleologie: de leer dat ieder verschijnsel op een doel is gericht. Olsson en Sjöstedt (2004, p9) zijn het daar mee eens en zien dat als de “beweegreden”, het “nut” of “doel” die een observator van een systeem waarneemt. In de praktijk roept dat wel wat vragen op, hebben alle systemen echt een doelstelling? Alsof alle systemen iets bijdragen aan de wereld. Valt er van een waddeneiland te zeggen dat hij 'nut' heeft? Bestaan ze om een hoger doel te dienen? Vragen die over veel systemen om ons heen te stellen zijn en volgens Ison (2008) een probleem dat in de literatuur al vaker onderkend is.

Een eerste manier om dit 'dilemma' op te lossen is het gewoonweg het 'nut' hebben weglaten, het functioneren van een systeem is dan gewoon het resultaat van de interactie tussen de in dat systeem aanwezige onderdelen. Een bepaalde set omstandigheden leidt blijkbaar tot het ontstaan van Waddeneilanden, waren die iets anders dan hadden al die eilanden wellicht niet bestaan. Dat een systeem met zijn functioneren ontstaat uit zijn onderdelen valt te beschouwen als een bottom-upbenadering: vanuit de delen ontstaat het geheel. Dit noemt Skyttner “fysieke” systemen. Volgens Ison (2008) zijn fysieke systemen vooral gericht op het vergaren van kennis. De wereld is heel erg complex maar door in systemen te denken kan hij verkend en begrepen worden. Systemen zijn dan denkproducten en geen perfecte weergave van de werkelijkheid, systeemdenken kan dan geen harde antwoorden geven.

Systemen kunnen ook de andere kant op, top-down, benaderd worden. Een systeem is dan een manier om een bepaald geobserveerd functioneren te verklaren, of sterker nog: om een bepaalde functie uit te voeren. Zulke systemen hebben voor de observator wel een eenvoudig aanwijsbaar nut (Ison, 2008). De functionaliteit van een waterkering is het buiten houden van water, zo'n systeem is specifiek voor dat doel aangelegd. Er wordt niet met de onderdelen maar met het gehele systeem begonnen: een top-downbenadering. Onderdelen worden geselecteerd door de waarnemer, die een bepaald doel voor ogen heeft of verklaren wil en hoeven niet eens per se een fysieke verschijning te hebben (Skyttner, 2005). Skyttner noemt deze systemen “abstracte” systemen. Volgens Ison (2008) zijn dit abstracte systemen gericht op het bereiken van doelen. Volgens deze invalshoek valt de wereld te beschrijven als bestaande uit waarheidsgetrouwe systemen waar aan gesleuteld worden kan. Een gevaar van deze route is het ontstaan van tunnelvisie en nevenschade: het verlies van zicht op aspecten die niet direct het doel raken maar wel door eventueel ingrijpen worden beïnvloed.

Wat beide visies gemeen hebben is dat er sprake is van “emergentie”: gedrag dat ontluikt uit het samenspel van systeemonderdelen. Dat het systeem in zijn geheel het product is van de in het systeem aanwezige onderdelen en relaties kwam natuurlijk al in de formule van Klir naar voren. Van die formule zijn nu twee varianten mogelijk. Een fysiek systeem is het product van onderdelen en relaties en leest van links naar rechts:  $(Onderdelen \cdot Relaties) = Systeem$ . Een abstract systeem

begint juist andersom. Er is sprake van een bepaald proces en om dat te begrijpen of mogelijk te maken worden er onderdelen en relaties die het systeem verklaren kunnen opgezocht: *Systeem = (Onderdelen · Relaties)*.

Op het eerste gezicht lijkt het logisch om het waddeneilandsysteem simpelweg als fysiek systeem te beschouwen, maar dat zou wat te kort door de bocht zijn. Al zouden de Waddeneilanden willekeurig en zonder doel of nut zijn ontstaan, de mens is er uiteindelijk wel nut aan gaan ontlenuen. Een waddeneiland biedt ons bijvoorbeeld ruimte voor landbouw, bosbouw, bewoning en natuurlijk toerisme. Volgens Olsson en Sjöstedt (2004) is het dan ook niet mogelijk een systeem te observeren zonder die teleologische eigenschappen toe te dichten, ook al gaat het om een fysiek systeem. Ook het willen zorgen dat Waddeneilanden met de zeespiegelstijging mee kunnen groeien is daar een voorbeeld van; dat doelt legt de observator het systeem op. Ison (2008) slaat de harde scheiding tussen fysieke en abstracte systemen dan ook af en raden in plaats van een keuze tussen beide invalshoeken te maken aan ze juist elkaar waar mogelijk te laten versterken. Dat laatste zal dit onderzoek dan ook pogen.

In de kern zal het waddenzeesysteem wel vooral een fysiek systeem zijn, de Waddeneilanden zijn bottom-up ontstaan zonder initieel nut. Dit onderzoek wil het waddenzeesysteem leren kennen en van daaruit tot nieuwe inzichten komen die bij kunnen dragen aan het voortbestaan van de eilanden: een invalshoek die beter past bij fysieke systemen. De Waddeneilanden zoals ze nu zijn echt begrijpen, is echter niet mogelijk zonder rekening te houden met ingrepen die de mens vanuit top-downperspectief op de eilanden uitgevoerd heeft. Men heeft geen polders aangelegd om er later toevallig achter te komen dat die tot een hogere productiviteit voor de landbouw leidden, dat was een doelgerichte ingreep. Bepaalde onderdelen van het waddeneilandsysteem zullen hierdoor alleen vanuit een abstract perspectief te snappen zijn.

## 2.2.4 Entropie

Wat alle systemen volgens Skytner (2005) gemeen hebben is dat ze in de loop van de tijd veranderen. Een binnen het systeemdenken belangrijke term is "entropie". Entropie is een van de thermodynamica geleende term en wordt wel omschreven als een maat voor de mate van wanorde in een systeem. Entropie kan in beginsel wel toe- maar niet afnemen, dat komt omdat processen die entropie toe laten nemen in principe onomkeerbaar zijn. Entropie is een reden waarom een systeem nooit hetzelfde kan blijven.

Een op het strand gebouwd zandkasteel zal na verloop van tijd tot een hoopje zand verworden, maar een hoopje zand zal nooit zomaar in een zandkasteel veranderen. Wanorde neemt naar verloop van tijd toe maar neemt niet uit zichzelf weer af. Voor dat laatste moet de entropie namelijk afnemen. Het is natuurlijk wel mogelijk om het zand opnieuw in een zandkasteel te boetsen, dat vergt dan wel de handeling van een externe actor. Die externe actor moet dan wel toegang tot het zand hebben. Als het strand met hoge hekken afgezet is, is dat niet mogelijk: zonder externe toegang is entropie niet te verminderen.

De 'openheid' van een systeem is een belangrijke systeemeigenschap omdat die iets zegt over de mogelijke ontwikkelingen van entropie in een systeem. Er wordt in het systeemdenken

onderscheid gemaakt tussen open en gesloten systemen, Skyttner (2005) draagt ook het zogenaamde “geïsoleerde systeem” aan. Deze drie systemen verschillen in de mate waarin ze interactie met hun omgeving hebben.

Een open systeem staat open voor, en is afhankelijk van, zijn omgeving en wisselt daar materie, energie en informatie mee uit. De import en export van deze drie elementen maakt een rijke interne dynamiek mogelijk. Open systemen kunnen een hogere import dan export kennen en daardoor groei doormaken. Bovenal kan in open systemen de entropie afnemen, lage entropie staat voor een hoge mate van orde en complexiteit. Meestal wordt er op de uitwisseling met de omgeving door het systeem zelfregulatie toegepast. De interne processen proberen dan tezamen een bepaald evenwicht in stand te houden. Door interne en externe invloeden is dit punt van evenwicht veranderlijk. De zoektocht naar het ideale evenwicht van een systeem is dan ook een doorlopend dynamisch proces (Giddings, 1991; Olsson & Sjöstedt, 2004; Katz & Kahn, 1996 in Skyttner, 2005)

Een gesloten systeem neemt alleen energie op uit zijn omgeving. In de loop van de tijd zal de entropie van een gesloten systeem, ook al neemt hij energie op, toenemen (Giddings, 1991; Olsson & Sjöstedt, 2004; Skyttner, 2005). Hierdoor neemt de wanorde in zo'n systeem toe en het functioneren af. Skyttner (2005) noemt gesloten systemen dan ook wel 'stervende systemen'. Dat klinkt dramatischer dan het is. De aarde is een gesloten systeem dat wel energie van de zon ontvangt, maar slechts verwaarloosbaar materie uitwisselt. Dit 'stervende' systeem bestaat desondanks al een paar miljard jaar en is nog lang niet gestorven.

Geïsoleerde systemen zijn zoals de naam al zegt compleet afgesloten van enige omgeving. Zonder externe input zal de entropie van zo'n systeem onherroepelijk toenemen. Daar is voor de Waddeneilanden echter geen sprake van.

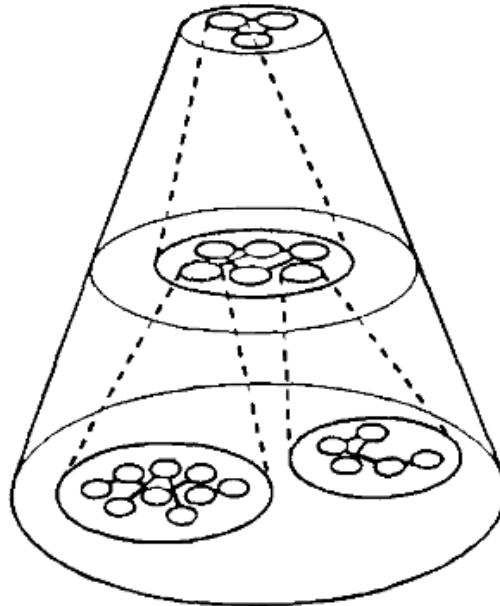
Door de openheid te bepalen van het waddeneilandsysteem wordt het mogelijk inzicht te krijgen in de (mogelijke) ontwikkeling van de entropie in dit systeem. Wat direct al duidelijk is, is dat het waddeneilandsysteem grotendeels een open systeem is: anders had het ook geen last gehad van de versnelde zeespiegelstijging in zijn omgeving. Een gesloten systeem had die toename aan materie gewoon buiten de deur gehouden. Het waddeneilandsysteem kent net als alle open systemen zelfregulering, het evenwichtspunt in het systeem zal door de versnelde zeespiegelstijging waarschijnlijk van plaats veranderen. Het effect van de versnelde zeespiegelstijging begrijpen, is de verschuiving van dat evenwichtspunt begrijpen.

In de praktijk zal een systeem niet perfect open of perfect gesloten zijn, maar een plek ergens daar tussenin innemen. De 'mate van openheid' kan ook na verloop van tijd veranderen. Land beschermen door het te bedijken doet openheid verminderen. Materie, in dit geval water, kan na zo'n aanpassing minder makkelijk het systeem in en uit. Dat vergroot, op korte termijn, de veiligheid maar heeft een negatieve invloed op de entropie. Hoe geslotener het systeem hoe kleiner de kans dat de entropie van buitenaf verlaagd wordt. Ruimtelijk ingrijpen kan de openheid van het waddeneilandsysteem beïnvloeden en daarmee ook de ontwikkeling van de entropie.

### 2.2.5 Schaal

Op geïsoleerde systemen na hebben alle systemen een omgeving: dat betekent dat die

systemen een grens hebben waar het systeem in kwestie overgaat in de omgeving. In het algemeen zal deze grens zo liggen dat de mate van interactie binnen het systeem vele malen groter is als de interactie tussen het gehele systeem en zijn omgeving. Bij fysieke systemen als het waddenzeesysteem is het uiteindelijk aan de onderzoeker om te beredeneren waar de grens precies ligt (Ison, 2008). De systeemgrens bepaalt welke onderdelen bij het systeem horen en welke niet. Vanuit de omgeving beschouwt is het systeem één entiteit.



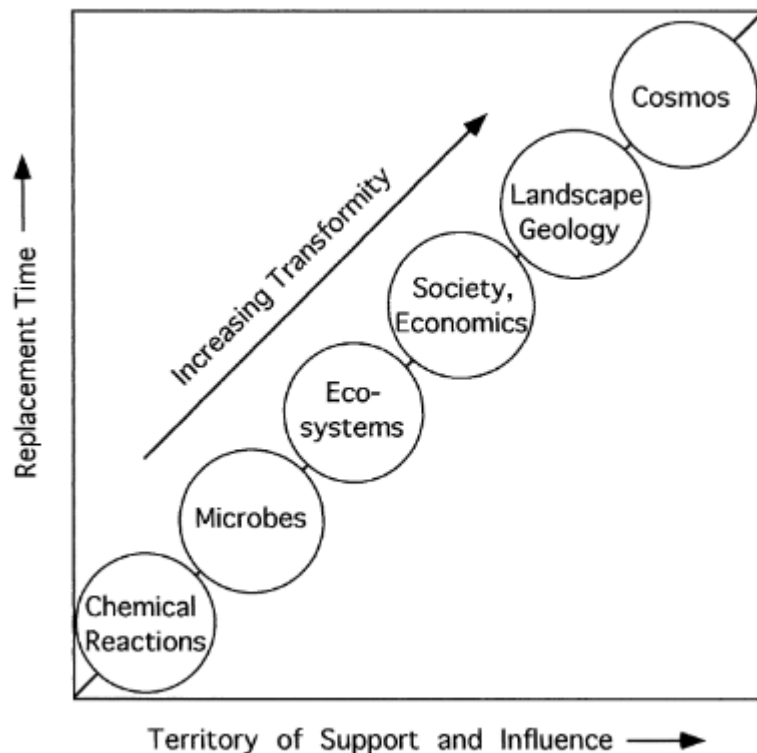
*Figuur 6: Een hiërarchie van Systemen.  
(Skyttner, 2005)*

Als de omgeving een heel systeem omvat zal die omgeving logischerwijs een groter schaalniveau moeten hebben. Andersom kan een onderdeel van een systeem ook weer systeem met eigen onderdelen op op zichzelf zijn. Dat laatste systeem bevindt zich dan op een lager schaalniveau. Vanuit dat lager gelegen 'substelsysteem' bekeken is het originele systeem ineens een omgeving. Op deze wijze ontstaat er een hiërarchie van systemen met een vanuit het kleinste systeem gezien toenemende schaalgrootte (Skyttner, 2005; Ison, 2008). Figuur 6 laat visueel zien hoe verschillende systemen zich tot elkaar verhouden kunnen. Van onder naar boven lossen de verschillende onderdelen in elkaar op, andersom vallen de systemen steeds verder uiteen in nieuwe kleinschaligere subsystemen.

De wereld in verschillende schaalniveaus indelen is op meerdere manieren behulpzaam: volgens Reenberg (1999) in Olsson en Sjöstedt (2004) zorgt het ervoor dat de complexiteit van de wereld afneemt. Het maakt het makkelijker om te focussen op de belangrijkste elementen. Voor dit onderzoek kan het relevant zijn dat duinen door de wind opgeworpen worden. Hoe die wind precies opgewekt wordt speelt zich op een heel andere niveau af en is niet relevant. Relevant is dat uit de omgeving van het 'duinsysteem' een energie komt die binnen het systeem zand verplaatsen kan. Andersom is het ook niet relevant hoe elke individuele zandkorrel precies opgeroerd wordt: al die

microscopische processen kunnen prima tot aan een relevant schaalniveau geaggregeerd worden. Natuurlijk zijn dat logische keuzes maar het idee van een systeemhiërarchie zoals die hier voorgesteld wordt, biedt een raamwerk waarmee in dit onderzoek dat soort keuzes veel bewuster gemaakt kunnen worden.

Voor het bepalen van de plaats van een systeem in een systeemhiërarchie onderscheiden Odum & Odum (2000) 2 benaderingen: bottom-up en top-down. Die benaderingen hebben geen relatie met het verschil tussen fysieke en abstracte systemen; het verschil tussen top-down en bottom-up komt op meerdere vlakken van het systeemdenken naar voren. Bij het zogenaamde bottom-up modelleren wordt er vanuit het kleine naar het grote geredeneerd. Vanuit het microscopische wordt langzaam opgeschaald tot onderdelen gevonden worden die samen het functioneren van het systeem verklaren kunnen. Een gevaar van deze aanpak is dat er teveel onderdelen op een te kleine schaal in het systeemmodel terecht kunnen komen. Dat maakt het systeem potentieel te complex om goed te kunnen begrijpen. Indien daar sprake van lijkt te zijn dienen onderdelen zoveel mogelijk geaggregeerd te worden tot grotere eenheden.

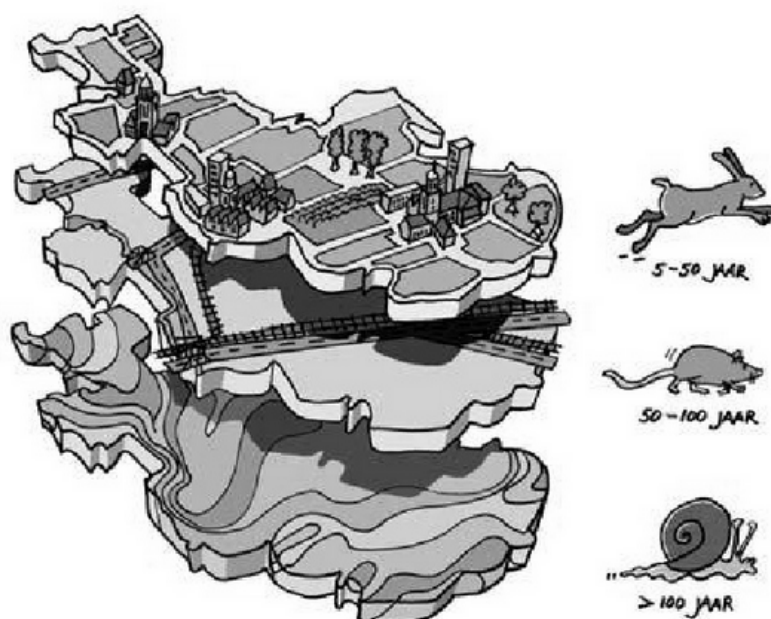


*Figuur 7: Een voorbeeld van opvolgende schaalniveau's. (Odum & Odum, 2000)*

Het is ook mogelijk andersom langs de schaal ladder te bewegen: top-down modelleren. Bij deze aanpak wordt eerst de hoogste schaal gekozen die past bij de vragen en doelen van het onderzoek. Pas dan wordt het systeem opgesplitst in de onderdelen die de werking van het systeem bepalen, het liefst op een zo'n hoog mogelijke schaal. Het gevaar van deze aanpak is natuurlijk het omgekeerde: dat het systeem uit onderdelen op een te hoge schaal bestaat.



Iets om in het achterhoofd te houden is dat er een verband bestaat tussen schaalgrootte en de tijdspanne waarover processen in een systeem plaatsvinden. Hoe groter, in dit geval in ruimtelijke zin, het systeem hoe groter die tijd is (Odum & Odum, 2000; Loorbach & Rotmans, 2006). Dit verband wordt weergegeven in figuur 7. In dat figuur neem tegelijk met de schaal de zogenaamde ‘vervangings-tijd’ (replacement time) toe, de tijdspanne waarin verschillende iteraties van een systeem elkaar opvolgen. Het verband tussen schaal en tijd komt in de planologie onder andere voor in de “lagenbenadering”, ook wel het “lagenmodel” (De Nijs & Kuiper, 2006; Van Schaick & Klaasen, 2013). In de lagenbenadering bestaat de ruimte uit verschillende lagen met verschillende vervangings-tijden. Een voorbeeld van een lagenmodel wordt weergegeven in figuur 8. In dat model heeft de ondergrond de grootste vervangings-tijd; die blijft over lange periodes hetzelfde. De bovenste ‘occupatielaag’, de laag waar onder andere woningen en andere gebouwen onder vallen, heeft juist een korte vervangings-tijd; op deze laag vinden veranderingen sneller (of vaker) plaats.



*Figuur 8: Een lagenmodel van de provincie Overijssel. Provincie Overijssel (2009b) in (Van Schaick & Klaasen, 2013).*

Een mogelijke toepassing van de lagenbenadering is het ordenen van prioriteiten. Naarmate de schaalgrootte van een systeem toeneemt, worden ingrepen op dat systeem moeizamer (Standish et al., 2014). De ‘waterlaag’ heeft een hogere schaal dan de ‘occupatielaag’, het is dus ‘makkelijker’ een huis te slopen dan om een rivier te verleggen. Hoge lagen kunnen condities opleggen aan lage lagen. De ‘noden’ van de hogere laag hebben dan prioriteit. Het voorkomen van bepaalde typen ondergrond kan als basis dienen voor keuzes in de occupatielaag (De Nijs & Kuiper, 2006). Het zo inzetten van de lagenbenadering wordt evenwel ook wel weer bekritiseerd (Van Schaick & Klaasen, 2013). Een discussie die buiten de reikwijdte van dit onderzoek ligt.

Wat de Waddeneilanden betreft: de schaal waarop de versnelde zeespiegelstijging zich afspeelt, alsmede die van het waddeneilandsysteem zelf hebben invloed op de snelheid waarmee de

veranderingen ter plaatse van de Waddeneilanden zich af zullen spelen. Traagheid kan potentieel een voordeel zijn omdat het tot gevolg hebben kan dat de effecten van de versnelde zeespiegelstijging ook over een lange tijd uitgesmeerd worden: dat geeft ademruimte en maakt dat eventuele ruimtelijke ingrepen niet halsoverkop uitgevoerd hoeven te worden. Aan de andere kant staat dan wel dat de systeemingenrepen bij een toenemende schaal steeds moeizamer zullen worden. Eventuele ruimtelijke ingrepen zullen sneller uit te voeren zijn als ze een kleinere schaalgrootte hebben. Het volgen van de lagenbenadering kan leiden tot een discussie over de prioriteit van de verschillende functies op een waddeneiland. Het compenseren van de versnelde zeespiegelstijging, een proces op een hele grote schaal, zou misschien voorrang moeten hebben op belangen van de kleinere schaalniveaus.

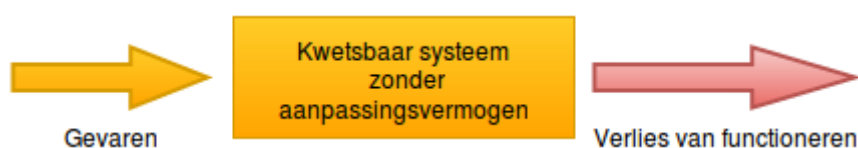
## 2.3 Weerbaarheid

### 2.3.1 Een definitie van weerbaarheid

Het doel van dit onderzoek is bepalen of met ruimtelijke maatregelen de weerbaarheid van de Waddeneilanden verhoogd worden kan. Dat maakt het noodzakelijk te begrijpen wat ‘weerbaarheid’ precies is. Volgens Shaw (2012, p308) is het begrip weerbaarheid niet meer weg te denken uit discussies over de theorie en praktijk van planning en levert het daar een belangrijke bijdrage aan. Een eerste belangrijke vraag is natuurlijk: wanneer is een systeem weerbaar? Volgens de Van Dale (2014) betekent weerbaar zijn het in staat zijn tegenstand te bieden. Het bieden van verzet tegen de effecten van de versnelde zeespiegelstijging zou daar een voorbeeld van kunnen zijn. Wat dat verzet inhoudt en wanneer dit verzet succesvol is geweest, is hiermee echter nog niet duidelijk. Een uitgebreidere omschrijving van weerbaarheid geeft het Subcommittee on Disaster Reduction (2005, p. 17) in McDaniels et al. (2008):

“The capacity of a system, community, or society potentially exposed to hazards to adapt, by resisting or changing, in order to reach and maintain an acceptable level of functioning and structure.”

Uit dit citaat kan afgeleid worden dat weerbaarheid van toepassing kan zijn op systemen en gemeenschappen die potentieel blootstaan aan gevaren. Een systeem is weerbaar te noemen als het ondanks die gevaren een acceptabel niveau van functioneren en structuur bereiken en behouden kan. Dat kan een systeem bereiken als het het vermogen in zich heeft om zich, als de nood aan de man komt, aan te passen. Wat een acceptabel niveau van functioneren is hangt samen met het doel dat de observator aan het systeem heeft gehangen. Een puur fysiek systeem heeft geen doel.

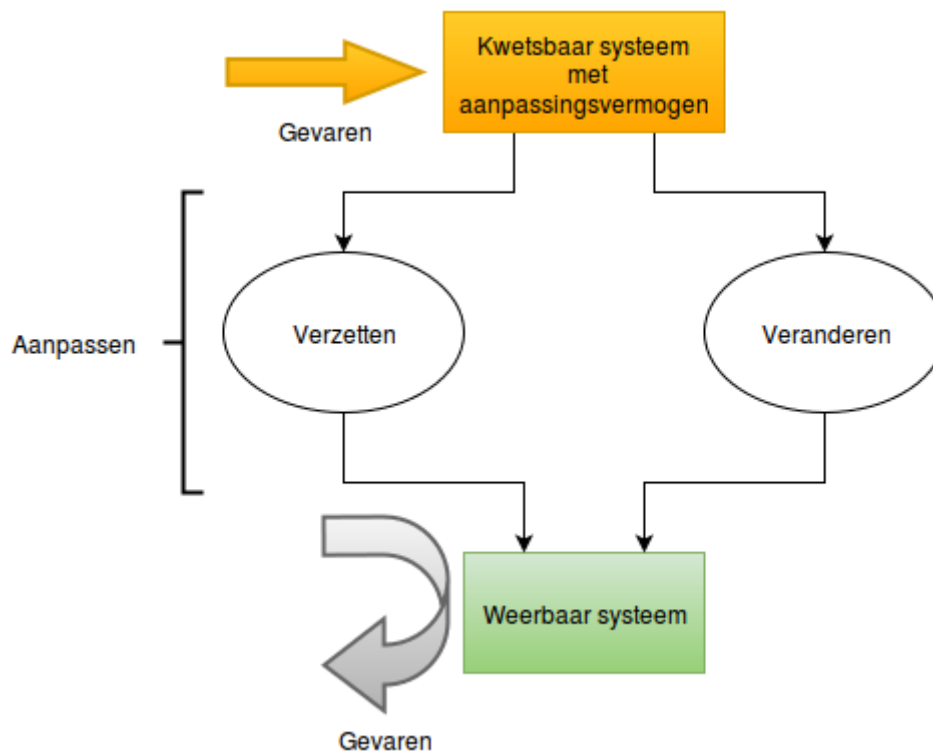


*Figuur 9: Een kwetsbaar systeem zonder aanpassingsvermogen zal niet op hetzelfde niveau door kunnen functioneren*

Systemen zonder aanpassingsvermogen zijn overgeleverd aan de beïnvloeding van de externe gevaren en zullen als gevolg daarvan functioneren verliezen. Het gevolg van het inwerken van gevaren op een systeem zonder aanpassingsvermogen wordt tevens in figuur 9 gevisualiseerd. Interessant aan systemen die wel over aanpassingsvermogen beschikken is dat zij volgens het citaat twee routes bewandelen kunnen:

1. Verzet bieden
2. Veranderen

Het belangrijkste verschil tussen de beide opties lijkt de structuur van het systeem in kwestie te zijn: moet het systeem zoals het is behouden worden of mag het systeem ook van gedaante wisselen? In de discussie rondom de ruimte voor de rivier zou het verhogen van de bestaande dijken weerbaarheid bereiken via verzet en het ruimte geven aan de rivier aan het bereiken van weerbaarheid via verandering. Beide opties leiden zoals in figuur 10 weergegeven wordt tot hetzelfde resultaat: een weerbaar systeem. Op basis van deze kijk op weerbaarheid maakt het voor het bereiken van een weerbaar waddeneiland niet uit welke route gekozen wordt.



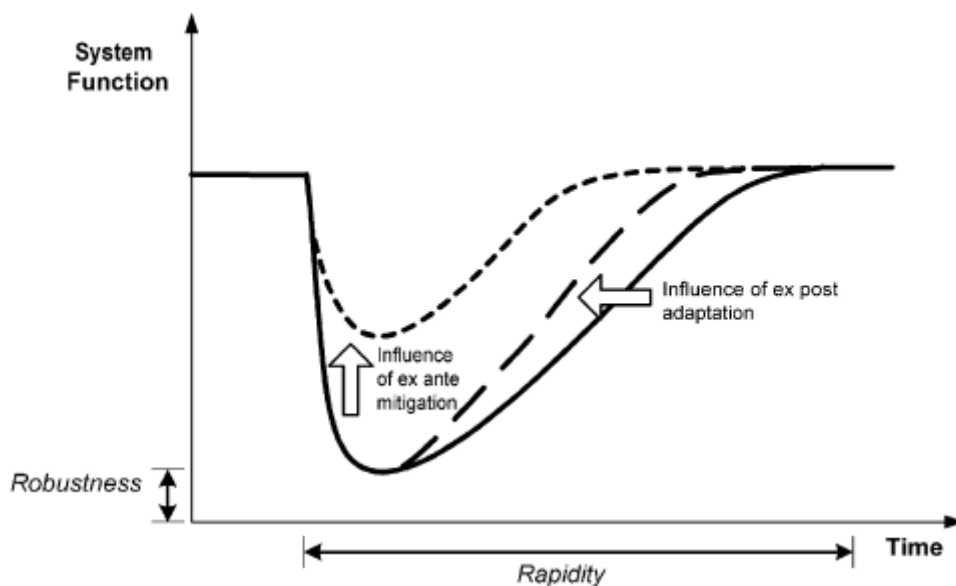
*Figuur 10: Routes die een kwetsbaar systeem af kan leggen om in een weerbaar systeem te veranderen*

Aanpassingsvermogen blijft niet beperkt tot de fysieke eigenschappen van een systeem. De Oosterschelde is bijvoorbeeld te zien als een weerbaar systeem omdat het via aangebrachte abstracte verdedigingswerken zich verzetten kan tegen stormvloed. Maar de Nederlandse overheid bezat net zo goed aanpassingsvermogen toen het met het deltaplan kwam, de Nederlandse tactiek in de strijd tegen het water veranderde met een weerbaarder land tot gevolg. Onafhankelijk van de afgelegde route, Nederland weerbaarder inrichten is natuurlijk al eeuwen een belangrijk

thema: de vele investeringen in weerbaarheid hebben er bijvoorbeeld voor gezorgd dat gemodelleerde overstromingsrisico's aan de Hollandse kust zijn teruggebracht naar slechts 1 overstroming per 10.000 jaar (Bureau Strooming BV, 2006, p. 24).

### 2.3.2 Weerbaarheid analyseren

Er bestaan verschillende benaderingen om de weerbaarheid van een systeem te ontleden. Als een ramp een systeem treft, wordt volgens McDaniels et al. (2008) het functioneren van het systeem aangetast. Een weerbaar systeem zal zo snel mogelijk terugveren naar het originele, impliciet het optimale, functionaliteitsniveau. In de reactie van een systeem op een ramp zijn er volgens hen twee fasen onderscheidbaar: de fase waarin het functioneren van het systeem aangetast wordt en de fase waarin het functioneren van het systeem weer naar het originele niveau terugveert. In de eerste fase is vooral de robuustheid van een systeem van belang, kan het systeem een klap goed opvangen. Bij de tweede fase is vooral de snelheid van belang: hoe sneller het originele functioneringsniveau weer bereikt wordt, hoe kleiner de impact van een ramp. De weerbaarheid in beide fasen kan zowel door vooraf als achteraf genomen maatregelen versterkt worden. Figuur 11 laat zien dat deze twee typen maatregelen verschillende effecten hebben op de robuustheid en herstelsnelheid van een systeem.



Figuur 11: Robuustheid en herstelsnelheid in een systeem. (McDaniels et al., 2008)

Deze kijk op weerbaarheid staat in de literatuur als “technische weerbaarheid” bekend (Holling, 1996; McDaniels et al., 2008; Davoudi, 2012). In het geval van hoog water streeft deze vorm van weerbaarheid ernaar de kans en impact van deze ramp zo klein mogelijk te maken. Mocht die dan toch plaatsvinden dan moet het water zo snel mogelijk weggepompt worden om de originele functionaliteit van het systeem te herstellen. Binnen technische weerbaarheid is het goed voorstelbaar dat ruimtelijk ingrijpen bij kunnen dragen aan weerbaarheid. Zowel in de eerste fase door middel van bijvoorbeeld dijkverzwaringen en in de tweede fase door bijvoorbeeld ervoor te zorgen dat water zo snel mogelijk het systeem weer uitstromen kan.

Een zwakte van deze technische kijk op weerbaarheid is dat het een echte een top-

downbenadering is. Er is sprake van een optimaal functioneren en het lijkt bijna onvermijdelijk dat het systeem daar altijd naar terug bewegen zal. Er mag misschien soms wat turbulentie zijn, de systeemfunctielijn uit figuur 11 zal gemiddeld genomen kaarsrecht door blijven lopen. Het is maar zeer de vraag of deze visie bruikbaar is binnen een dynamische omgeving als het Waddengebied. Voor open systemen als de Waddeneilanden is de enige constante dat ze altijd veranderen. Technische weerbaarheid sluit slecht aan bij een open systeem met een dynamisch evenwichtspunt. Een vorm van weerbaarheid die dat beter kan zal in het volgende hoofdstuk naar voren komen. De meer 'klassieke' interpretatie van weerbaarheid vormt voor de theorieën over weerbaarheid die nog volgen wel een handig ijkpunt en kan keuzes uit het verleden helpen verklaren.

## 2.4 Ecologische weerbaarheid

### 2.4.1 Introductie

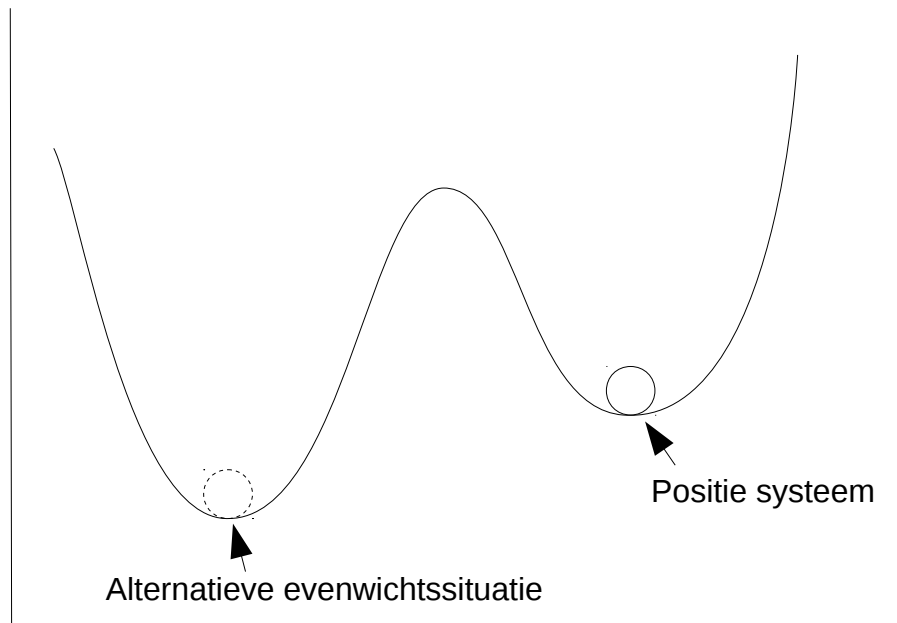
In hoofdstuk 2.2 werd weerbaarheid voornamelijk gezien als het vermogen van een systeem om het originele en enige niveau van functionering te behouden, hierbij wordt er vanuit gegaan dat het systeem in kwestie maar één optimale stabiele staat heeft en alle afwijkingen daarvan maar één kant op gecorrigeerd kunnen worden: namelijk richting dat beginevenwicht. Hoe sneller dit herstel, hoe weerbaarder het systeem. Holling (1996) stelt echter dat er naast de “technische” vorm van weerbaarheid ook een andere manier is om naar de weerbaarheid van een systeem te kijken. Een type weerbaarheid waarin systemen niet altijd naar het originele evenwicht terugbewegen, maar nadat ze uit koers zijn gebracht ook een nieuw evenwicht op een andere plaats kunnen ontwikkelen.

### 2.4.2 Evenwichtssituaties

In ecologische weerbaarheid bestaat er niet één stabiele evenwichtssituatie maar zijn er meerdere die allemaal even stabiel kunnen zijn (Holling, 1996; Davoudi, 2012). Waar deze evenwichtssituaties liggen volgt uit eigenschappen van het systeem. Niet elke stabiele positie wordt tegelijkertijd gekenmerkt door een hoog niveau van functioneren. Binnen ecologische weerbaarheid is meer sprake van een bottom-upbenadering: mogelijke evenwichten volgen uit de eigenschappen het systeem. Bij technische weerbaarheid is er daarentegen meer sprake van een teleologische top-downbenadering: het evenwicht volgt vanuit het doel van het systeem.

Holling (1996) gebruikt een visualisatiemethode van lijnen en bolletjes om het concept achter ecologische weerbaarheid te visualiseren. In figuur 12 wordt een voorbeeld van zo'n visualisatie weergegeven. Het systeem wordt gerepresenteerd door een bolletje en kan over een lijn bewegen. Het samenspel van systeemeigenschappen en systeemomgeving bepaalt hoe deze lijn eruit ziet. Systemen rollen als knikkers naar de lage punten van de lijn, hiermee worden de dalen stabiele en de toppen juist zeer instabiele posities. Ter plaatse de stabiele posities bevinden zich de evenwichtssituaties.

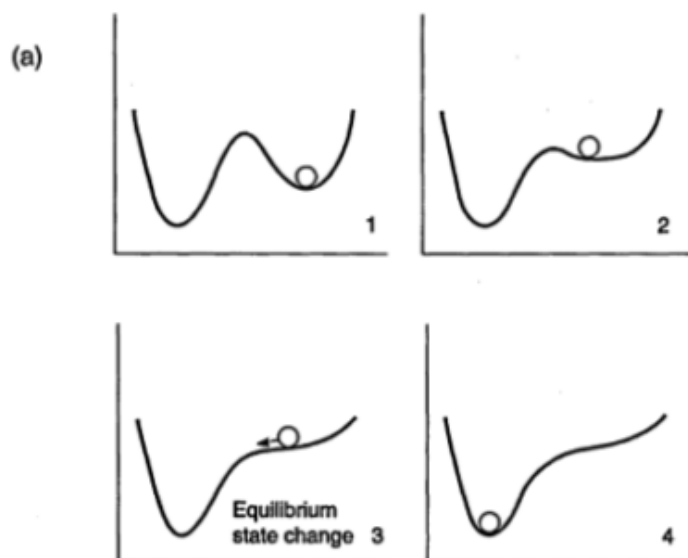




*Figuur 12: Ecologische weerbaarheid kent meerdere evenwichtssituaties. Naar Holling (1996)*

Vanuit ecologische weerbaarheid beschouwt is een systeem volgens Holling weerbaar als die niet snel van de éne naar de andere, potentieel minder functionerende, evenwichtssituatie springen zal. Hoe groter de versturende kracht die een systeem incasseren kan voordat dit gebeurt, hoe groter de weerbaarheid.

Zowel het systeem als zijn omgeving hoeven niet statisch te zijn. Ten gevolge van een veranderende systeemomgeving kunnen evenwichtssituaties op andere plekken komen te liggen of zelfs geheel verdwijnen. In de omgeving aanwezige systemen zullen daardoor (moeten) bewegen. Een visualisatie van dit proces wordt weergegeven in afbeelding 13. Deze veranderlijkheid is natuurlijk vooral van toepassing op open systemen, deze moeten het meest onder het juk van hun omgeving doorgaan.



*Figuur 13: Hoe een evenwichtssituatie verdwijnen kan. (Holling, 1996)*

Ook de Waddeneilanden, waarvan we al weten dat het open systemen zijn, zijn onderhevig aan een veranderende omgeving: de zeespiegel zal versneld stijgen. Dat zal invloed hebben op de evenwichtssituaties van de verschillende Waddeneilanden. Die evenwichten kunnen verschuiven of zelfs helemaal verdwijnen. Ecologische weerbaarheid kan een middel zijn om de gevolgen van een proces als de versnelde zeespiegelstijging op de Waddeneilanden te begrijpen; hoe omgevingsveranderingen een systeem beïnvloeden.

### 2.4.3 Stabiliteit

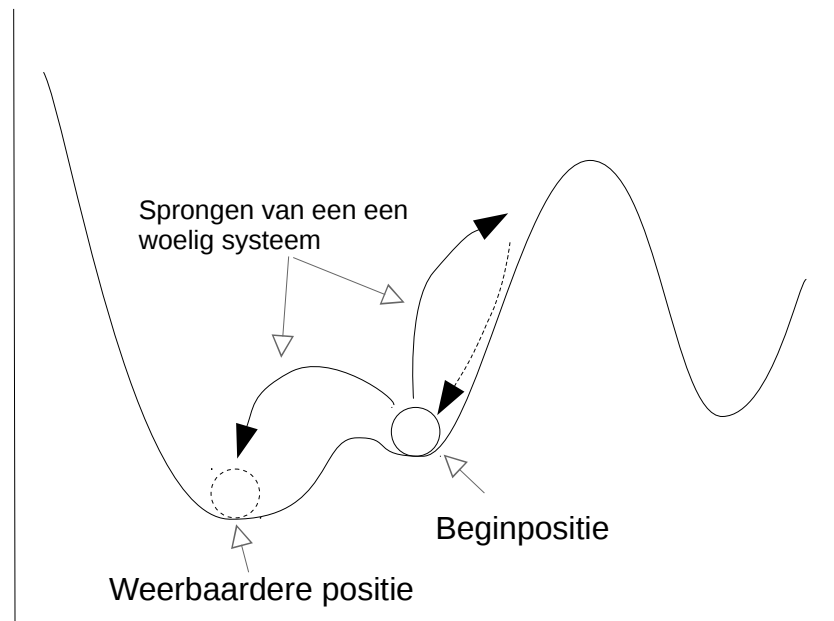
Het is niet zo dat een systeem, waaronder het waddeneilandsysteem, compleet overgeleverd is aan de veranderlijkheid van zijn directe omgeving. Er zijn volgens Holling (1996) namelijk systeemeigenschappen die de stabiliteit van een systeem binnen ecologische weerbaarheid versterken, namelijk: diversiteit en instabiliteit. Daar voegen Standish et al. (2014) nog de eigenschap connectiviteit aan toe.

Een divers systeem wordt gekenmerkt door het hebben van een groot aantal onafhankelijke maar tegelijkertijd ook met elkaar overlappende onderdelen en processen. Mocht één van de systeemonderdelen onder druk komen te staan of zelfs verdwijnen, bijvoorbeeld door een veranderende omgeving, kunnen één of meerdere andere onderdelen dit gemis opvangen. Een grasland met maar één soort gras zal na het verdwijnen van die enkele grassoort onherkenbaar veranderen, een grasland met wel 10 soorten gras zal na het verdwijnen van één van die soorten wellicht zonder veel problemen kunnen overleven.

Diverse systemen zijn dus systemen die onderdelen met overlappende functionaliteiten hebben (Holling, 1996; Standish et al., 2014). Ook buiten ecologische systemen is het mogelijk te denken in termen van diversiteit: een waterkering met één of meerdere slaperdijken zal als “stabiel” zijn aan te merken dan een systeem met maar één dijk. Als de eerste dijk faalt, neemt een

andere dijk de waterkerende eigenschap van het systeem over, die eigenschap blijft dus ondanks het wegvallen van een onderdeel behouden.

Connectiviteit is volgens Standish et al.(2014) een belangrijke versterker van weerbaarheid, zowel in biotische als abiotische zin. In “versnipperde” systemen waarin de onderdelen grotendeels op zichzelf staan, zijn deze individuele onderdelen kwetsbaar. Een waddeneiland waarop in principe genoeg zand te vinden is, maar dit zand niet naar de plekken waar het nodig is verplaatst kan worden, staat er natuurlijk zwakker voor dan een eiland waar die connectiviteit wel op orde is. Als sterke en zwakke delen van een systeem met elkaar in verbinding staan, kan het systeem in zijn geheel klappen beter opvangen.



*Figuur 14: Een woelig systeem kan naar een weerbaardere positie bewegen.*

Als laatste kan ook een vorm van instabiliteit bijdragen aan de langdurige stabiliteit van een systeem. Met instabiliteit wordt een bepaalde vorm van energie en dynamiek bedoeld. Om verwarring met de termen stabiliteit en dynamiek te voorkomen zal deze eigenschap in de rest van dit onderzoek als “woeligheid” aangeduid worden. De omgeving waar een systeem zich in bevindt zal bijna nooit statisch zijn: de evenwichtssituaties voor een systeem kunnen in de loop van de tijd van positie veranderen. Een woelig systeem heeft een bepaalde bewegelijkheid in zich die het makkelijker maakt met deze veranderingen mee te bewegen. Door dicht bij de evenwichtssituaties te blijven, kan een systeem als weerbaarder aangemerkt worden. Daarnaast bestaat er de situatie dat er voor een systeem weerbaardere evenwichtsposities kunnen zijn die alleen te bereiken zijn door eerst over een drempel te bewegen. Een woelig systeem blijft niet netjes in een positie van evenwicht liggen maar kan door de interne instabiliteit uit zichzelf bewegen, op die manier kan een systeem posities bereiken die voor een onbeweeglijk systeem onbereikbaar zullen blijven. Een weergave van deze bewegelijkheid wordt in figuur 14 gevisualiseerd.

## 2.4.4 Behulpzame en onbehulpzame weerbaarheid

Dat een systeem naar een andere evenwichtssituatie springt, hoeft niet perse iets negatiefs te zijn. Dat een woelig systeem de energie in zich heeft om naar gunstigere posities te bewegen is volgens Holling (1996) juist een eigenschap van een weerbaar systeem. Dat staat op gespannen voet met zijn definitie van ecologische weerbaarheid die stelt dat een systeem weerbaar is als deze niet snel naar een andere evenwichtssituatie springen zal. De ene evenwichtssituatieverandering is blijkbaar de andere niet. Standish et al. (2014) lossen dit dilemma op door weerbaarheid op te delen in twee categorieën: behulpzame en onbehulpzame weerbaarheid. Welke van de twee van toepassing is hangt af van de mate van degradatie van het systeem in kwestie.

Systemen die goed functioneren, lopen vooral kans functionaliteit te verliezen als ze naar een andere evenwichtssituatie bewegen. In zo'n geval is (ecologische) weerbaarheid, het voorkomen dat een systeem naar een andere evenwichtssituatie springt, behulpzaam. Het systeem verzet zich dan tegen externe gevaren en weet daardoor een acceptabel niveau van functioneren te behouden. Dit is volgens Standish et al. (2014) de meest gangbare interpretatie van weerbaarheid. De weerbaarheidsverhogende systeemeigenschappen van Holling hebben vooral op deze vorm van ecologische weerbaarheid betrekking.

Als een systeem zich echter in een gedegradeerde evenwichtssituatie met bijbehorende slechte functionaliteit bevindt, is weerbaarheid aan te merken als onbehulpzaam. Om een systeem naar een functionelere evenwichtssituatie (terug) te brengen is het juist nodig dat het systeem makkelijk te bewegen is: door te veranderen functioneren behouden en zelfs winnen. Ecologische weerbaarheid moet in het geval van een gedegraderd systeem juist doorbroken worden. Het probleem van onbehulpzame weerbaarheid speelt volgens Standish et al. (2014) veelvuldig bij gedegradeerde ecosystemen. Er is bij dat soort systemen vaak helemaal geen sprake van (spontaan) herstel.

Systeemeigenschappen die bijdragen aan onbehulpzame weerbaarheid zijn in zekere zin de tegenpolen van de eigenschappen die tot nu toe aangedragen werden. Gedegradeerde systemen hebben dan bijvoorbeeld zoals in tabel 1 getoond wordt juist een gebrek aan connectiviteit, zijn totaal niet woelig en niet divers. Dit leidt tot compleet statische systemen waarvan je niet verwachten kan dat ze snel naar een andere evenwichtspositie zullen bewegen. Dat geeft ze technisch gezien een hoge mate van ecologische weerbaarheid, maar zeker niet een hoge weerbaarheid in de klassieke op functionaliteit gerichte zin. Het zijn de systemen zonder aanpassingsvermogen die in figuur 9 al geïntroduceerd werden.

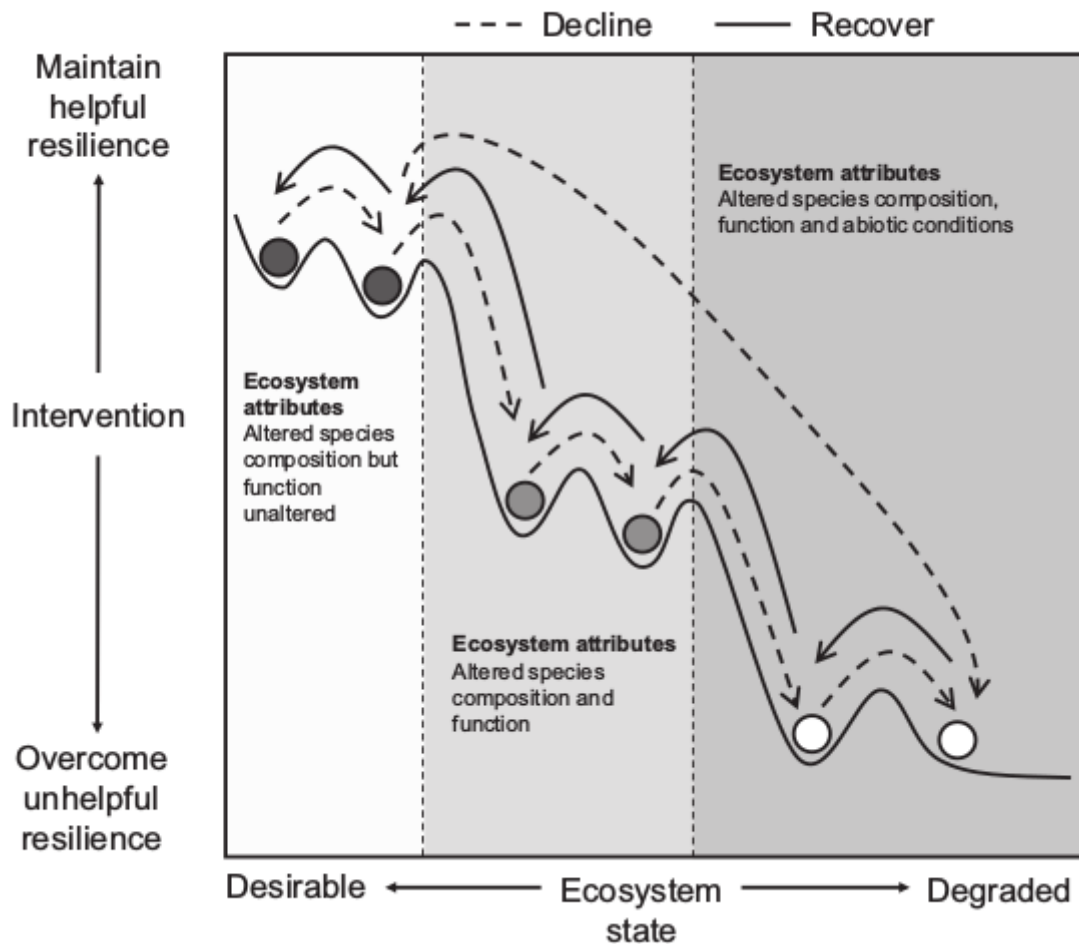
<b>Systeemeigenschap</b>	<b>Behulpzame weerbaarheid</b>	<b>Onbehulpzame weerbaarheid</b>
Openheid	Open	Gesloten
Diversiteit	Functionele overlap	Enkelvoudige functionaliteiten
Woeligheid	Woelig	Star
Connectiviteit	Verbonden onderdelen	Geïsoleerde onderdelen

*Tabel 1: Eigenschappen die systemen met hoge behulpzame weerbaarheid en systemen met hoge onbehulpzame weerbaarheid kenmerken.*

Door functionaliteit (opnieuw) een hoofdrol te geven wordt het verschil tussen open en gesloten systemen ook weer relevant. In hoofdstuk 2.2.4 bleek dat de afname van entropie en toename van functionaliteit eigenlijk alleen mogelijk is in open systemen. Gesloten systemen verliezen door de onvermijdelijke toename van entropie juist functionaliteit. Hierdoor wordt ook openheid een systeemeigenschap die invloed heeft op de weerbaarheid van een systeem. Daarbij is het zo dat de 'variabelen' diversiteit, connectiviteit en woeligheid ook door de openheid van een systeem worden beïnvloed. Er is in het geval van openheid daarmee sprake van een bijzonder geval. Deze eigenschap kan naast de drie andere variabelen gezet worden maar ook als tussenproduct tussen het fysieke systeem en de daaruit afgeleide systeemeigenschappen.

De uitbreiding op de theorie van Holling zorgt ervoor dat de visualisatiemethodiek ook enigszins verandert. Hoe Standish et al. (2014) dit doen is te zien in figuur 15. De meest functionele evenwichtssituaties zijn de donkerste bolletjes, de gedegradeerde evenwichtssituaties worden in lichtere kleuren weergegeven. Er is in zekere zin een soort helling waarbij omhooggaande systeembewegingen wenselijk zijn en dalende bewegingen onwenselijk. De hoogte van de sprongen heeft in deze visualisatiemethode geen relatie met de 'energie' die nodig is om de sprong te maken, een beweging naar een functionelere positie zou zomaar gemakkelijker kunnen zijn dan een sprong de andere kant op. Afhankelijk van de positie die een systeem inneemt op deze (weerbaarheids-)trap kan weerbaarheid iets gunstigs zijn of juist een belemmering.

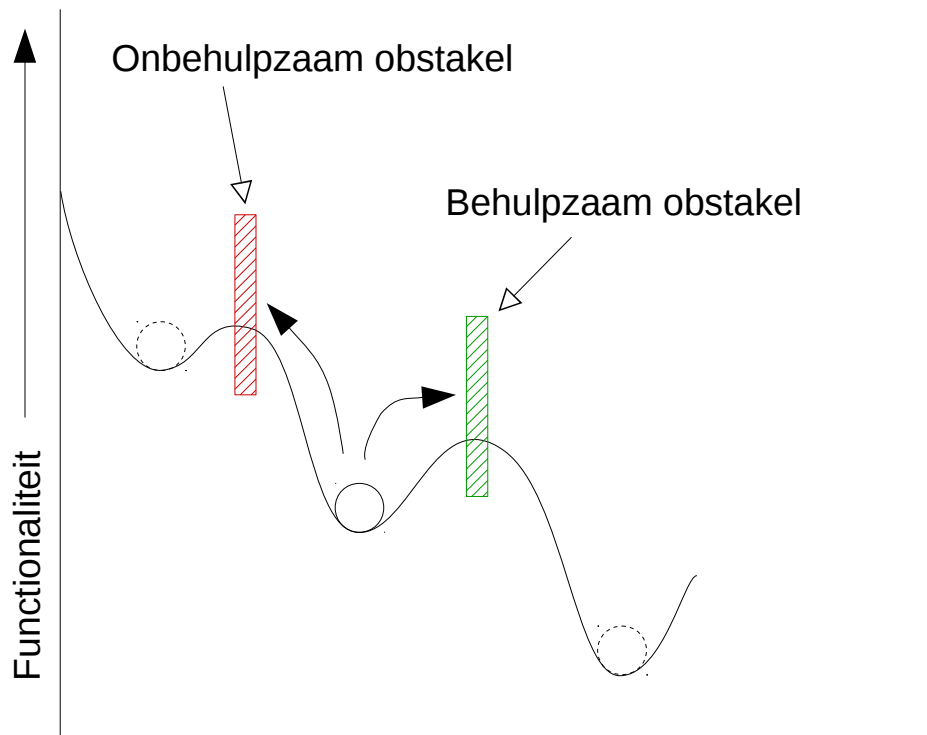
Bij het beschouwen van de weerbaarheid van de Waddeneilanden moet ook nagegaan worden wat de staat van het waddeneilandsysteem is. Bevindt deze zich in een functionele, of juist gedegradeerde positie? Afhankelijk van deze positie kan weerbaarheid goed of slecht zijn. Misschien heeft het waddeneilandsysteem niet een gebrek maar juist een overschot aan weerbaarheid.



Figuur 15: Ecologische weerbaarheid volgens Standish et al. (2014).

### 2.4.5 Obstakels

De theorie van Standish et al. (2014) maakt duidelijk wanneer weerbaarheid gunstig is en wanneer niet. Ookal wordt hiermee een extra laag aan het begrip weerbaarheid toegevoegd, weerbaarheid blijft een vrij ééndimensionaal begrip. Een hoge mate van ecologische weerbaarheid leidt er toe dat een systeem minder snel naar een andere evenwichtspositie bewegen zal. Soms is het netto resultaat van het stoppen van die bewegingen behulpzaam en op andere momenten niet. Deze redenatie kan echter nog wat verfijnd worden. In plaats van het stoppen van bewegingen in het algemeen kan er ook ingezoomd worden op de richting van die potentiële bewegingen.



*Figuur 16: Ecologische weerbaarheid gevisualiseerd als bestaande uit obstakels die systeembewegingen tegenhouden.*

De aanwezigheid van een hoge mate van (ecologische) weerbaarheid betekent dat de hindernis die een systeem overkomen moet om naar een andere evenwichtssituatie te bewegen groot is. Dit kan gevisualiseerd worden door weerbaarheid als obstakels te zien die sprongen van een systemen tegenhouden. Figuur 16 laat zien hoe dat er uit zou kunnen zien. Weerbaarheid trekt 'muurtjes' op die een systeem inkaderen. Net als weerbaarheid kunnen die obstakels zowel behulpzaam als onbehulpzaam zijn. Een behulpzaam obstakel maakt de kans kleiner dat het systeem naar een minder functionele positie bewegen zal. Onbehulpzame obstakels maken de kans dat het systeem een functionelere positie bereikt kleiner.

De obstakels zijn opgebouwd uit “onbehulpzame en behulpzame systeemeigenschappen”. Het behulpzame obstakel is te zien als de som van alle systeemeigenschappen die bijdragen aan het voorkomen van systeembewegingen naar een minder functionele evenwichtssituatie. Andersom is het onbehulpzame obstakel de som van alle systeemeigenschappen die bewegingen naar functionelere posities tegenhouden.

Bij het opzetten van het waddeneilandsysteem is het dus zaak om te beschouwen of aangetroffen onderdelen bijdragen aan het behulpzame dan wel onbehulpzame obstakel. Hierbij zijn de eerder genoemde systeemeigenschappen – diversiteit, woeligheid, connectiviteit en openheid – belangrijke aanknopingspunten. Door een systeemonderdeel op die eigenschappen te ‘toetsen’ kan indirect de bijdrage van dit onderdeel aan de verschillende obstakels bepaald worden. Hierbij kan het goed zijn dat onderdelen zowel aan het behulpzame als het onbehulpzame obstakel bijdragen, al dan niet in verschillende mates. Hoe zo’n toetsing geoperationaliseerd worden kan zal in hoofdstuk 3 uiteengezet worden.

Het denken in de twee typen obstakels maakt het ook mogelijk weer een link te leggen met de 'klassieke' interpretatie van weerbaarheid uit hoofdstuk 2.3: het behouden van functioneren door middel van verzet of verandering. Het behulpzame obstakel draagt bij aan het verzet tegen functionaliteitsverlies. Het onbehulpzame obstakel blokkeert functionaliteitsbehoud door verandering. In een ideale wereld zou het behulpzame obstakel zo 'hoog' mogelijk zijn en het onbehulpzame obstakel zo 'laag' mogelijk.

## 2.4.6 Dynamische omgevingen

Wanneer onbehulpzame obstakels pas echt een blok aan het been worden is bij systemen die zich in een dynamische omgeving bevinden. Op de weerbaarheidstrap van Standish et al. (2014) uit figuur 15 is de meest linkse evenwichtssituatie het functioneelst en de meest rechtse het meest gedegradeerd. Als een systeem zich dan in de meest linkse evenwichtssituatie bevindt maakt het niet uit dat het systeem weerbaarheid kent met zowel behulpzame als onbehulpzame obstakels. Er is geen beweging naar een nog functionelere evenwichtssituatie mogelijk, obstakels die dat tegenhouden zijn puur hypothetisch. Precies zoals Standish et al. (2014) betogen lijkt ecologische weerbaarheid dan altijd behulpzaam te zijn.

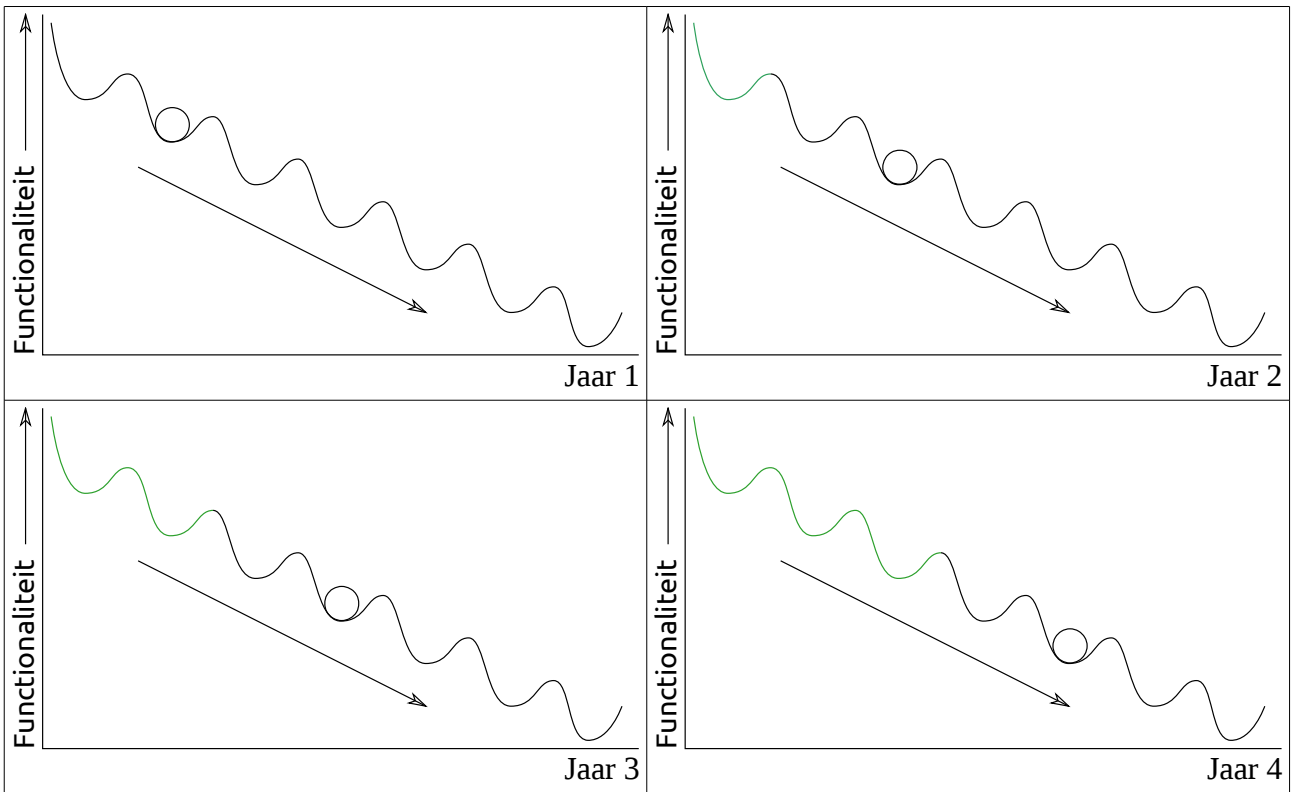
Voor open systemen als het waddeneilandsysteem valt niet met zekerheid te stellen dat de functioneelste evenwichtssituatie dat altijd blijven zal. Onder invloed van een veranderende omgeving kan de functionaliteit van een systeem afnemen zonder dat het systeem zelf verandert. Een eiland dat een hoogte van één meter boven NAP heeft, zal na een verhoging van de zeespiegel met twee meter compleet onder de golven verdwijnen. Onder een nieuwe context valt de functionaliteit anders uit. De functionaliteit van het eilandsysteem nam af terwijl het eiland, in fysieke zin, compleet statisch bleef.

Figuur 17 laat zien wat de invloed van een dynamische omgeving op de weerbaarheidstrap is. Het voorbeeldsysteem bevindt zich in jaar één in een goed functionerende evenwichtssituatie. Elk jaar verandert de omgeving en valt de functionaliteit van de bestaande evenwichtssituaties anders uit. Ter vervanging van de wegzakkende evenwichtssituaties ontstaan nieuwe evenwichten: in de tekeningen in het groen weergegeven. Het wegzakkende systeem kan alleen, zoals in figuur 18 weergegeven, hetzelfde niveau van functioneren behouden als die elk jaar een sprong maakt naar de bovenliggende evenwichtssituatie. De weerbaarheidstrap verandert in zekere zin in een weerbaarheidsroltrap. Stilstaan op een roltrap betekent dat je uiteindelijk onderaan terecht komt.

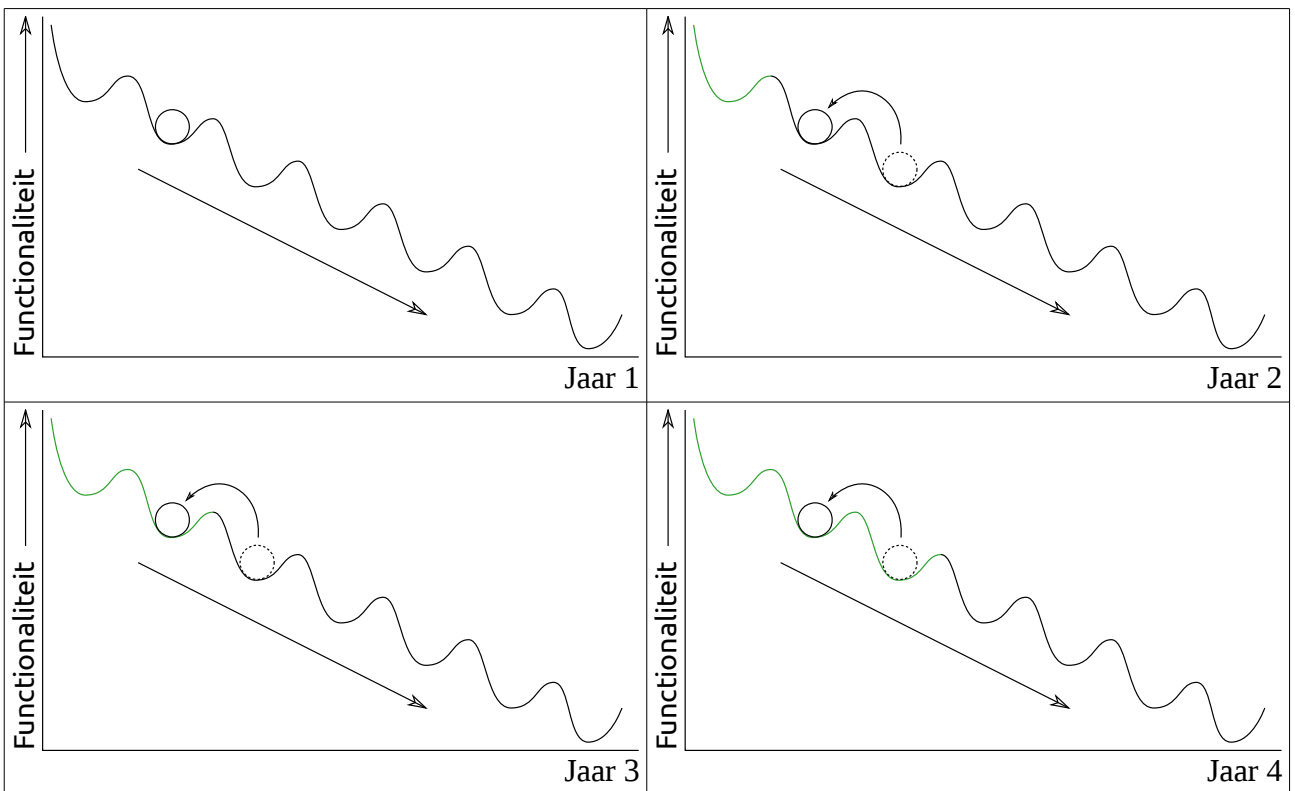
Binnen een dynamische omgeving kan een systeem alleen zijn functioneren behouden door te veranderen, slechts verzet bieden is niet genoeg. Om dit mogelijk te maken dient het onbehulpzame obstakel zo klein mogelijk te zijn. Het onbehulpzame obstakel vermindert de capaciteit van het systeem om te veranderen, de capaciteit om functioneren te behouden en daarmee de weerbaarheid van het systeem.

Een weerbaar waddeneiland kent een zo laag mogelijk onbehulpzaam obstakel. Ruimtelijke ingrepen die dit obstakel verlagen, dragen bij aan de weerbaarheid van dat waddeneiland.



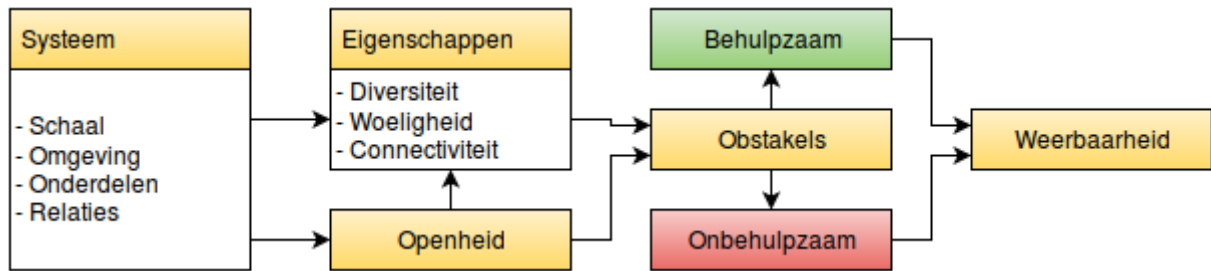


Figuur 17: Zonder te bewegen kan een systeem toch wegzakken op de weerbaarheidstrap.



Figuur 18: Door te bewegen kan een systeem in een dynamische omgeving toch het originele niveau van functionaliteit behouden.

## 2.5 Conceptueel model



*Figuur 19: Conceptueel model*

Het conceptueel model uit figuur 19 geeft de relaties weer tussen de in het theoretisch kader besproken elementen. Met dit model is het mogelijk de weerbaarheid van een systeem als het waddeneilandsysteem af te leiden. Als input is allereerst het fysieke systeem zelf nodig, daaruit volgen de verschillende eigenschappen, die eigenschappen hebben invloed op de 2 verschillende obstakels die samen de weerbaarheid – de capaciteit tot behoud van functioneren – van het systeem bepalen.

Omdat openheid een enigszins speciale systeemeigenschap is heeft deze in het conceptueel model een eigen positie gekregen. De mate van openheid zegt rechtstreeks iets over de entropie, maar heeft ook invloed op de eigenschappen diversiteit, woeligheid, en connectiviteit. Toename van entropie staat in principe al direct gelijk aan het afnemen van functionaliteit.

De vier systeemeigenschappen beïnvloeden de obstakels verschillend. Tabel 2 geeft weer wat, meest waarschijnlijk, de invloed van een 'toename' van de systeemeigenschappen is op de hoogte van beide obstakels. Wat het het onbehulpzame obstakel betreft zijn er drie eigenschappen die bij toename altijd een positief effect hebben. Voor diversiteit valt dat niet per definitie te zeggen.

	<b>Behulpzaam obstakel</b>	<b>Onbehulpzaam obstakel</b>
Diversiteit	+	+/-
Woeligheid	-	-
Connectiviteit	+	-
Openheid	+/-	-

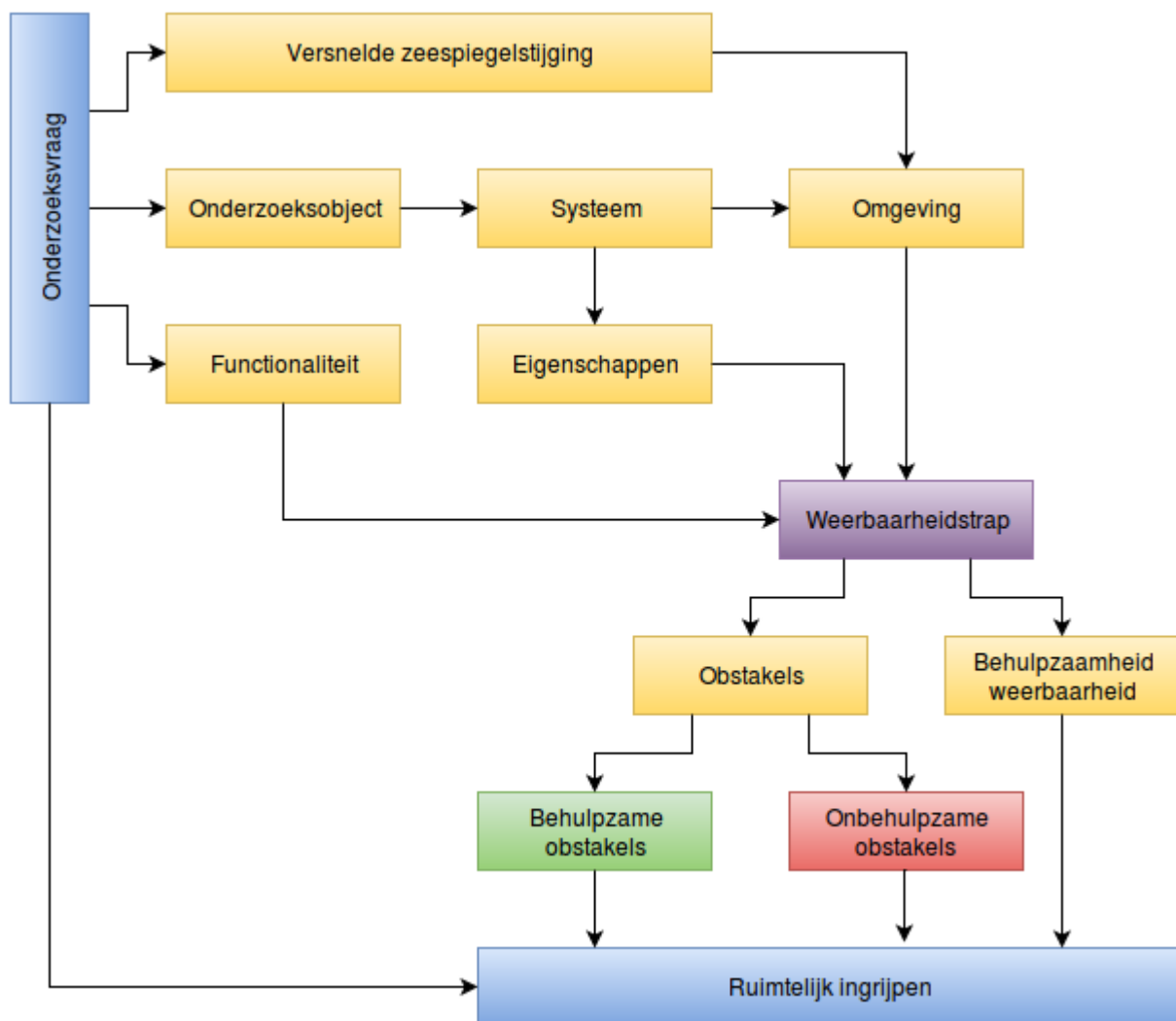
*Tabel 2: Invloed van de toename van systeemeigenschappen op de twee typen obstakels*

## 3 Methode

### 3.1 Introductie

Het doel van dit onderzoek is het vergaren van kennis over de relatie tussen de ruimtelijke inrichting van de Waddeneilanden en hun weerbaarheid. Om daar achter te komen zal dit onderzoek op zoek gaan naar concrete maatregelen die die weerbaarheid positief beïnvloeden. Het theoretisch kader en in het bijzonder het conceptuele model uit hoofdstuk 2.5 zullen daar de fundering voor vormen. In dit hoofdstuk wordt besproken hoe het conceptuele model ingezet worden zal om die ruimtelijke maatregelen te vinden.

Het conceptueel model bevat vier ‘variabelen’ die uiteindelijk de mate van weerbaarheid bepalen: de schaal, omgeving, onderdelen en relaties. Uit die variabelen ontstaat een systeem met systeemeigenschappen waaruit uiteindelijk de weerbaarheid af te leiden is. Door aan de variabelen te sleutelen veranderen de systeemeigenschappen en indirect ook de weerbaarheid. De rest van dit onderzoek zal op zoek gaan naar ingrepen die de variabelen zo beïnvloeden dat indirect de weerbaarheid van een waddeneiland positief wordt beïnvloed.



Figuur 20: Onderzoeksstrategie

In figuur 20 wordt de onderzoeksstrategie die verderop in dit onderzoek wordt gevolgd schematisch weergegeven. Uit de onderzoeksvragen zijn al direct drie belangrijke elementen te destilleren:

1. Er is een planningsobject: de Waddeneilanden.
2. Er wordt een doel gesteld voor het functioneren van de Waddeneilanden: weerbaar zijn tegen de versnelde zeespiegelstijging.
3. Er wordt een middel voorgesteld om dit doel te bereiken: ruimtelijke maatregelen.

Om deze elementen met elkaar te verbinden zal gebruik gemaakt worden van de theorieën en concepten uit het theoretisch kader. Spil in de onderzoeksstrategie vormt de weerbaarheidstrap, die maakt het mogelijk uit de staat van het waddeneilandsysteem, weerbaarheid af te leiden. Het eerste deel van de onderzoeksstrategie bestaat uit het verzamelen van de data waarmee de weerbaarheidstrap gevuld worden moet. Het tweede deel bestaat uit het trekken van conclusies op basis van de weerbaarheidstrap. De verschillende tussenstappen uit het diagram zullen verderop in dit hoofdstuk nader besproken worden.

## 3.2 Data-inwinning

Om de benodigde kennis over waddeneilanden op te doen zal in dit onderzoek voornamelijk gebruikt worden gemaakt van een literatuurstudie en waar mogelijk van zelfstandige waarnemingen. Tevens heeft er op 20-05-2014 een interview plaatsgevonden met prof. dr. A. P. Grootjans. Hij is een ecohydroloog en heeft onder andere veel kennis over de Waddeneilanden. Dat interview vond plaats aan het begin van het onderzoeksproces en er kwam een nog heel breed palet aan onderwerpen aan bod.

De belangrijkste vraag die in het interview ter sprake kwam, was wat de effecten van de versnelde zeespiegelstijging op de Waddeneilanden zijn. Ook de relatie tussen de ruimtelijke inrichting van waddeneilanden en hun capaciteit om met zeespiegelstijging om te gaan kwam aan bod. Er zijn volgens Grootjans in het verleden ruimtelijke ingrepen geweest die de natuurlijke dynamiek van de eilanden hebben geremd. Hij voorspelt dat die de weerbaarheid van de Waddeneilanden sterk verminderen. Voorbeelden van ingrepen met een negatieve invloed zijn de stuifdijken en het idee van een basiskustlijn. Het bestaan van die ingrepen en de reden van hun negatieve invloed op de toekomst van de de Waddeneilanden speelt in dit onderzoek een grote rol. Het interview is dan ook van grote invloed geweest op de inhoud van dit document.

Een andere bron voor dit onderzoek zijn eigen waarnemingen. Gezien de grote schaal van een waddeneiland kent het zelf doen van waarnemingen beperkingen. Een grote schaal betekent namelijk dat, zoals al in figuur 7 werd weergegeven, de processen die zich op een eiland afspelen over lange tijdspannen plaatsvinden. Eigen waarnemingen kunnen een statisch beeld geven van de huidige staat van de Waddeneilanden, maar maken niet direct inzichtelijk hoe ze op de langere termijn evolueren.

Disturbances of increasing scale	Threshold	Research	Management
Short-term small-scale e.g., fire	known	Study contribution of connectivity, functional diversity and scale	Local intervention e.g., manage fire frequency, increase functional diversity
	unknown	Manipulative experiments to identify threshold	
Short-term large-scale e.g., hurricane	known	Study contribution of connectivity, functional diversity and scale	Regional intervention e.g., targeted species conservation, increase connectivity
	unknown	Observational experiments to identify threshold	
Long-term small-scale e.g., grazing	known	Study contribution of connectivity, functional diversity and scale	Local intervention e.g., manage grazing intensity
	unknown	Observational experiments to identify threshold	
Long-term large scale e.g., climate change	known	Study contribution of connectivity, functional diversity and scale	Regional intervention e.g., assisted migration, re-assess goals
	unknown	Observational experiments to identify threshold	

Tabel 3: Soorten onderzoek die Standish et al. (2014) aanraden bij verschillende typen verstoringen

Welke onderzoeksmethoden precies mogelijk zijn hangt af van de schaal en tijdspanne waarover de verstoring (=het gevaar) in kwestie plaatsvindt. Tabel 3 geeft weer dat bij verstoringen die zich op een grote schaal afspelen en over een lange tijdspanne plaatsvinden het zelf doen van experimenten en observaties als onderzoeksmethodes wegvallen. De klimaatverandering en daarmee verbonden zeespiegelstijging bevinden zich sowieso in die categorie. Ten opzichte van deze processen bevinden de Waddeneilanden zich op een veel kleinere schaal, wat betekent dat het doen van observaties toch binnen bereik zou kunnen komen. Er is wat de tabel betreft dan sprake van verstoringen met een lange duur en een kleine schaal.

Observaties die mogelijk zijn betreffen niet letterlijk observaties in het veld maar bijvoorbeeld uit het gebruik maken van kaartmateriaal, luchtfoto's en digitale hoogtemodellen. Deze bronnen geven een overzicht van hoe het waddeneilandsysteem er in de 'echte wereld' uitziet. Het is niet mogelijk in de toekomst te kijken maar met behulp van bovenstaande bronnen wel om in het verleden te kijken. Dat zou kunnen door gebruik te maken van kaartmateriaal uit verschillende periodes en door naar aanwijzingen van processen uit het verleden in het huidige landschap te zoeken. Hierdoor wordt het stiekem toch mogelijk langdurigere processen te observeren, het is een voordeel van het onderzoeksonderwerp dat dat soort bronmateriaal aanwezig is. Vaak maakt de literatuur die in dit onderzoek gebruikt is van eenzelfde soort observaties gebruik. Op zichzelf zal het hele onderzoek natuurlijk niet op de eigen observaties kunnen draaien, maar ze vormen wel een nuttige verrijking van het data-inwinningsproces.

De bronnen voor het theoretisch kader zijn nagenoeg volledig uit de literatuur gehaald. Ook kennis over over het Waddengebied en de Waddeneilanden zal grotendeels op die wijze opgedaan

worden. In de literatuur zijn veel onderzoeken over waddengebieden van over de hele wereld beschikbaar die zonder veel moeite in dit onderzoek zijn toe te passen. Waddengebieden worden al decennia bestudeerd. Het is niet een doel van dit onderzoek om nieuwe (fysisch geografische) kennis over waddengebieden te creëren en al helemaal niet om het wiel opnieuw uit te vinden. Het wil juist bestaande kennis op een nieuwe op een nieuwe manier toepassen. Voor het bereiken van de doelen van dit onderzoek is literatuuronderzoek een effectieve methode.

Om er voor te zorgen dat uitspraken over weerbaarheid terug te koppelen zijn op de werkelijkheid is het belangrijk dat het waddeneilandsysteem goed op die werkelijkheid aan zal sluiten (zie figuur 3). Daar is in het inwinningsproces veel aandacht aan besteed. Belangrijke bronnen waarop hoofdstuk 4 in grote mate stoelt, worden weergegeven in tabel 4.

Literatuurbron	Jaartal	Auteur(s)
The barrier island system	1985	Oertel, G.F.
Holocene Evolution, Morphodynamics and Sedimentology of the Spiekeroog Barrier Island System.	1994	Flemming et al.
Het mysterie van de wadden: Hoe een getijdesysteem inspeelt op de zeespiegelstijging	1994	Louters & Gerritsen
Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian inlet	1995	Oost, A.P.
Sediment Transport	2001	Lui, Z.
Morphodynamics of Texel Inlet	2006	Elias, E.
Eilanden Natuurlijk	2008	Het Tij Geleerd
Morphodynamics of Tidal Inlet Systems	2009	Swart & Zimmerman
The Battle for North Carolina's Coast: Evolutionary History, Present Crisis, & Vision for the Future	2011	Riggs, S.R. (Red.)
Morphodynamics of the Wadden Sea and it's barrier island system	2012	Wang et al.

Tabel 4: Een niet limitatieve lijst van bronnen die in hoofdstuk 4 naar voren zullen komen.

Dat er vooral gebruik wordt gemaakt van ‘secundaire observaties’ is een risico. De geselecteerde literatuur zou een eenzijdig beeld kunnen geven of onjuist kunnen zijn geïnterpreteerd. Al wordt dat gevaar wel minder naarmate het aantal bronnen toeneemt. Die beperking van literatuuronderzoek erkent dit onderzoek, uitspraken die in de conclusie gedaan zullen worden zijn alleen geldig gegeven de gemaakte, op de literatuur gebaseerde, aannames van dit onderzoek. Door zelf een waddenzeesysteem op te bouwen en daar veel aandacht aan te besteden wordt de route naar de conclusies toe zo transparant en controleerbaar mogelijk gemaakt. In hoofdstuk 4 zullen er ter ondersteuning van de theorie ook voorbeelden van bestaande Waddeneilanden ingezet worden.

De conclusie is maar één van de onderdelen van dit onderzoek, de voor dit onderzoek ontwikkelde strategie neemt een even, zo niet grotere, rol in. Mocht het waddenzeesysteem toch net

iets anders in elkaar steken kunnen de conclusies misschien omvallen. Ondertussen kan de strategie blijven staan, op een nieuw systeem toegepast worden en worden gebruikt voor het maken van een aangepaste conclusie. Het is een eerste toepassing van het conceptueel model zoals dat in het theoretisch kader ontwikkeld is, verder onderzoek zou veel elementen verder uit kunnen diepen.

De inwinning van bronnen uit de wetenschappelijke literatuur heeft voornamelijk plaatsgevonden op het internet, via verschillende wetenschappelijk zoekmachines. Dit verzamelproces heeft zich over een aantal jaar afgespeeld. Sommige bronnen zijn aangeraden door geïnterviewden en begeleiders. Aan het begin van dit proces werd er een breed net uitgegooid en in de breedte naar informatie gezocht over onderwerpen als klimaatverandering, weerbaarheid, systemen en natuurlijk barrière-eilanden. Nadat er langzamerhand een strategie naar voren kwam werd de zoektocht nauwer en vooral gericht op het vullen van geconstateerde leemtes. In die fase kon er meer gezocht worden op informatie rondom specifieke theorieën, onder ander om te zien of die door meerdere auteurs onderbouwd worden. Ook werd er in dat stadium vaker vanuit de bestaande bronnen gezocht door citaten over en weer te volgen.

Om te zorgen dat het waddeneilandsysteem goed aansluit op de werkelijkheid moesten de theorieën over het opzetten van systemen alsmede kennis over de Waddeneilanden van goede kwaliteit zijn. Om daarvoor te zorgen is er zoveel mogelijk gebruik gemaakt van goed onderbouwde wetenschappelijke literatuur uit betrouwbare bronnen. Bij voorkeur onderzoeken die een samenvatting van bestaande kennis geven en bijvoorbeeld laten zien hoe die kennis toe te passen is bij planning en klimaatadaptatie. Het gebruik van onderzoeken die met nieuwigheden komen werd als meer risicovol beschouwt, al is daar met het artikel van Standish et al. (2014) over behulpzame en onbehelpzame weerbaarheid wel enigszins sprake van. Informatie van websites is alleen afkomstig van overheidswebsites of sites van onderzoeksinstituten. Uiteraard is nagestreefd om alle uitspraken die in dit onderzoek opgenomen zijn zoveel mogelijk door meerdere auteurs te laten ondersteunen.

### **3.3 Onderzoeksubject als systeem**

Om het onderzoeksonderwerp van dit onderzoek, de Waddeneilanden, hanteerbaar te maken zal die met behulp van de theorieën van het systeemdenken als systeem beschreven worden: het “waddeneilandsysteem”. In dit onderzoek wil een onderbouwing leveren voor eventuele ruimtelijke maatregelen. Ruimtelijke maatregelen zijn tastbare ingrepen die zich in de fysieke werkelijkheid manifesteren. Dat leidt er toe dat er in dit onderzoek zoals in het theoretisch kader al aangestipt werd voornamelijk sprake zijn van een fysiek, en dus geen abstract, systeem.

In het theoretisch kader bleek dat systemen niet op zichzelf staan, maar onderdeel van een hiërarchie van elkaar opvolgende systemen zijn. Systemen hebben een omgeving en systeemonderdelen kunnen ook weer systemen op zichzelf zijn, zie figuur 6 op pagina 18. Alleen geïsoleerde systemen hebben geen omgeving, er kan echter vanuit worden gegaan dat het waddeneilandsysteem geen geïsoleerd systeem is. Het bepalen van de plaatsing van het onderzoeksubject binnen deze hiërarchie zal de eerste stap in het beschrijven van het waddeneilandsysteem vormen.

Het afbakenen moet een systeem opleveren met een voor dit onderzoek praktische schaal. De beschrijving moet gedetailleerd genoeg worden om het waddeneilandsysteem goed te kunnen begrijpen maar mag ook weer niet te gedetailleerd zijn. In hoofdstuk 2.2.5 werden twee benaderingen opgevoerd voor het inkaderen van systemen: één bottom-up en de andere top-down. Beide hoeven elkaar niet uit te sluiten. In dit onderzoek is ruimte om beide benaderingen uit te proberen, de twee zullen verkend worden waarbij wel de voor- en nadelen van elk in acht genomen zullen worden.

Het is goed mogelijk dat er tussen de gekozen boven- en ondergrens meerdere 'systeemlagen' zitten. Een waddeneiland zal ongetwijfeld uit meerdere onderdelen bestaan en voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag kan het nodig zijn ook deze onderdelen uit te pluizen. Dat vormt geen probleem maar is zoals in het theoretisch kader naar voren kwam juist een behulpzame manier om een complex systeem als het waddeneiland te beschrijven. Om processen in de polder te begrijpen is het niet noodzakelijk om nog steeds bewust te zijn van wat er op het strand gebeurt. Deze twee onderdelen staan wel met elkaar in verbinding maar die relatie kan via een overkoepelend schaalniveau afgehandeld worden.

### **3.4 Van systeem naar systeemeigenschappen**

Als er een gedegen beschrijving van het 'fysieke waddeneilandsysteem' ligt kunnen de in het conceptueel model genoemde systeemeigenschappen bepaald worden. Het fysieke voorkomen van het waddeneilandsysteem wordt in deze fase geïnterpreteerd. Wat betekent de vorm van het waddeneilandsysteem, is het een open systeem? Is er sprake van dynamiek? Hoe goed zijn de onderdelen met elkaar verbonden? Het beantwoorden van dat soort vragen moet uiteindelijk een overzicht van systeemeigenschappen opleveren op basis waarvan de twee typen obstakels opgebouwd kunnen worden.

Om structuur in de beoordeling van systeemeigenschappen te brengen zal er gebruik gemaakt worden van een klein beoordelingskader met vijf mogelijke scores. Omdat de gebruikte literatuur daar geen handvatten voor biedt zal er gebruik worden gemaakt van een speciaal voor dit onderzoek gemaakte systematiek. In de tabellen 6, 7, 8 en 9 wordt weergegeven hoe elke systeemeigenschap beoordeeld zal worden. Of de systeemeigenschap 'diversiteit' invloed heeft op het onbehulpzame obstakel werd in het theoretisch kader in het midden gelaten, tijdens de dataverzameling zal die eigenschap wel worden meebeoordeeld.

Aangezien een systeem te zien is als de som van zijn onderdelen biedt het beoordelingskader de mogelijkheid scores van losse onderdelen te aggregeren naar de systeemschaal. Hiervoor worden de vijf mogelijke scores omgezet in een getal waarvan vervolgens het gemiddelde berekend wordt. In tabel 5 wordt het complete omrekeningschema weergegeven. Twee onderdelen met een score van '+' (4) en '-' (2) geven dan een systeemscore van 'o' (3). De aggregatie houdt geen rekening met de grootte van de onderdelen ten opzichte van elkaar. Ook worden alle systeemeigenschappen gelijk behandeld terwijl ze in werkelijkheid niet allemaal even veel hoeven bij te dragen aan de obstakels. Er moet dan ook niet al teveel kracht toegekend worden aan het beoordelingskader, het is vooral een hulpmiddel om abstracte observaties gestructureerd te noteren.



Score	++	+	0	-	--
Getal	5	4	3	2	1

Tabel 5: Omreken tabel beoordelingskader

Openheid	Betekenis
++	Omgeving kan ongehinderd het systeem binnentreden
+	Omgeving kan op regelmatige basis het systeem binnentreden
o	Omgeving kan in bijzondere situaties systeem binnentreden
-	Omgeving kan in uitzonderlijke situaties systeem binnentreden
--	Omgeving en systeem zijn compleet gescheiden

Tabel 6: Beoordelingskader voor de systeemeigenschap 'openheid'.

Connectiviteit	Betekenis
++	Meerdere verbindingen met een hoge capaciteit
+	Meerdere verbindingen waarvan 1 met hoge capaciteit
o	Minimaal 1 verbinding met een hoge capaciteit
-	Minimaal 1 verbinding
--	Geen verbindingen

Tabel 7: Beoordelingskader voor de systeemeigenschap 'connectiviteit'.

Woeligheid	Betekenis
++	Minder dan 50 jaar stabiel
+	Minder dan 100 jaar stabiel
o	Minder dan 200 jaar stabiel
-	Minder dan 500 jaar stabiel
--	Meer dan 500 jaar stabiel

Tabel 8: Beoordelingskader voor de systeemeigenschap 'woeligheid'.

Diversiteit	Betekenis
++	Uitval onderdeel kan zonder functionaliteitsverlies opgevangen worden
+	Uitval onderdeel leidt tot tijdelijk functionaliteitsverlies
o	Uitval onderdeel leidt tot langdurig functionaliteitsverlies
-	Uitval onderdeel leidt tot permanent functionaliteitsverlies
--	Uitval onderdeel beëindigt systeem

Tabel 9: Beoordelingskader voor de systeemeigenschap 'diversiteit'.

### 3.5 Functionaliteit en omgeving

Voordat uit deze afgeleide eigenschappen conclusies kunnen worden getrokken moet er nagedacht worden over de opzet van de weerbaarheidstrap. Evenwichtssituaties op de weerbaarheidstrap zijn gerangschikt op functionaliteit. Er moet voor het onderzoeksobject dus een definitie van functionaliteit komen. Voor het gemak zal deze definitie niet te gecompliceerd mogen zijn en moet deze makkelijk uit de staat van het systeem af te leiden zijn.

Op de weerbaarheidstrap is ook de omgeving uitgezet. De omgeving van het waddeneesysteem bepaalt de positie van de evenwichtssituaties. In dit onderzoek is er dankzij de versnelde zeespiegelstijging natuurlijk sprake van een veranderende omgeving. Dat de omgeving verandert moet in de weerbaarheidstrap terugkomen.

### 3.6 Waddeneilanden in het verleden en over de grens

Ook al beoogt dit onderzoek een bijdrage te leveren aan de toekomst van de Waddeneilanden, een blik op het verleden wordt ook heel nuttig geacht. Sprongen die in het verleden op de weerbaarheidstrap gemaakt zijn, kunnen iets zeggen over de omstandigheden waarin die in de toekomst plaatst kunnen vinden. Als de Waddeneilanden vroeger met zeespiegelstijging om hebben kunnen gaan, zou dat aanknopingspunten kunnen geven voor de toekomst. Als blijkt dat de Waddeneilanden dat vroeger gekund hebben maar nu niet meer dan is er iets belangrijks veranderd. Misschien zijn er onbehulpzame obstakels opgeworpen?

Een sprong in het verleden is niet de enige manier om verschillende verschijningsvormen van Waddeneilanden te vinden. Ook nu zit er nog veel verschil tussen de Waddeneilanden, zeker als ook over de grens gekeken wordt. Over de hele wereld komen waddeneilanden voor. Die over de grens in Duitsland lijken erg op de Nederlandse. Deze buitenlandse eilanden kunnen er op de weerbaarheidstrap heel anders voorstaan. Er zullen op basis van de verschillende verschijningsvormen, verschillende varianten van het waddeneilandsysteem opgezet worden.

### 3.7 Van weerbaarheid naar ruimtelijke ingrepen

Met de tot nu toe opgedane kennis wordt het uiteindelijk mogelijk een definitieve weerbaarheidstrap te formuleren. Met die weerbaarheidstrap wordt het mogelijk verschillende vormen van weerbaarheid en de daar bijbehorende obstakels te identificeren. Of ecologische

weerbaarheid in zijn geheel behulpzaam of onbehulpzaam is volgt uit de positie die het onderzoeksobject op dit moment inneemt op de weerbaarheidstrap. Alleen voor systemen die zich in de allerhoogste evenwichtssituatie bevinden zal ecologische weerbaarheid altijd behulpzaam zijn. Aangezien dit onderzoek over een dynamisch systeem gaat zal die situatie zich in dit onderzoek niet voordoen.

Op basis van de eerder bepaalde systeemeigenschappen van het gehele waddeneilandsysteem en de individuele systeemonderdelen kan het gedrag van de verschillende waddeneilandsystemen op de weerbaarheidstrap vastgesteld worden. Daarvoor is het van belang hoe die eigenschappen bijdragen aan het onbehulpzame dan wel behulpzame obstakel. Draagt een onderdeel in zijn huidige verschijningsvorm bij aan het zorgen dat een systeem niet naar een minder functionele positie beweegt, dan draagt hij bij aan het behulpzame obstakel. Blijkt een onderdeel daarentegen een sta in de weg en houdt het een beweging naar een functionelere positie tegen, dan draagt hij bij aan het onbehulpzame obstakel.

Zo ontstaan er voor het hele systeem twee geaggregeerde obstakels: een opsomming van alle in het systeem aanwezige behulpzame en onbehulpzame eigenschappen. In dit onderzoek is vooral aandacht voor het onbehulpzame obstakel. Systeemonderdelen die aan dat obstakel bijdragen zijn een kandidaat voor ruimtelijke maatregelen. Als er op die plekken daadwerkelijk ingrepen mogelijk zijn die het totale onbehulpzame obstakel verlagen kan de onderzoeksvraag positief beantwoord worden.

## 4 Data

### 4.1 Introductie

In dit hoofdstuk wordt het waddeneilandsysteem opgebouwd, dat wil zeggen dat de Waddeneilanden met behulp van het systeemdenken worden omgezet in een systeem. Er worden drie varianten van het waddeneilandsysteem opgezet: het modelwaddeneilandsysteem, het moderne waddeneilandsysteem en het Duitse waddeneilandsysteem. Het modelwaddeneiland stelt een waddeneiland in zijn oorspronkelijke vorm voor, voordat de mens invloed op het Waddengebied uit begon te oefenen. Het moderne systeem is een model van de Waddeneilanden zoals ze nu zijn en het Duitse een model van een Duits Waddeneiland. Er worden meerdere systemen opgezet zodat later vergeleken kan worden hoe verschillen in ruimtelijke inrichting tot verschillen in weerbaarheid leiden.

Voordat aan het opzetten van de systemen begonnen wordt, moet eerst de positie van de Waddeneilanden in de wereld bepaald worden. Dit gebeurt zowel vanuit een top-down als bottom-up perspectief. Uit deze stap zal tevens blijken wat de systeemomgeving is en wat het open waddeneilandsysteem daar mee uitwisselt.

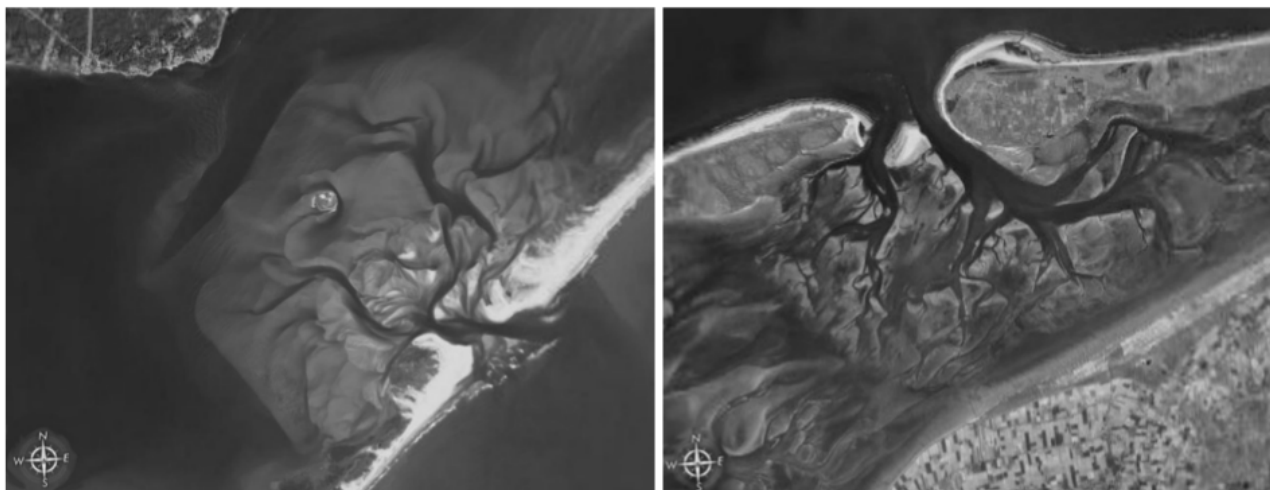
Elk van de drie systemen zal ingeleid worden met een voorbeeld uit de realiteit of in het geval van het modelwaddeneilandsysteem met een hypothetisch modeiland. Met behulp van de literatuur en eigen observaties zullen alle drie de typen eilanden in individuele met elkaar verbonden systeemonderdelen worden opgebroken. Van de systemen worden vervolgens de vier systeemeigenschappen beoordeeld volgens het beoordelingskader dat in de methode werd gepresenteerd.

Voordat in de synthese de weerbaarheidstrap opgesteld en geïnterpreteerd worden kan zijn er nog twee dingen nodig: een functionaliteitsdefinitie en kennis over de omgeving. Van de omgeving is vooral de versnelde zeespiegelstijging van belang. Die twee elementen zullen ook in dit hoofdstuk worden ingevuld. De losse elementen die in dit hoofdstuk worden besproken, zullen in hoofdstuk 5 bij elkaar worden gebracht en worden ingezet om de laatste deelvraag te beantwoorden: zijn er ruimtelijke maatregelen die de weerbaarheid van het de Waddeneilanden kunnen verhogen?

## 4.2 Waddeneilanden

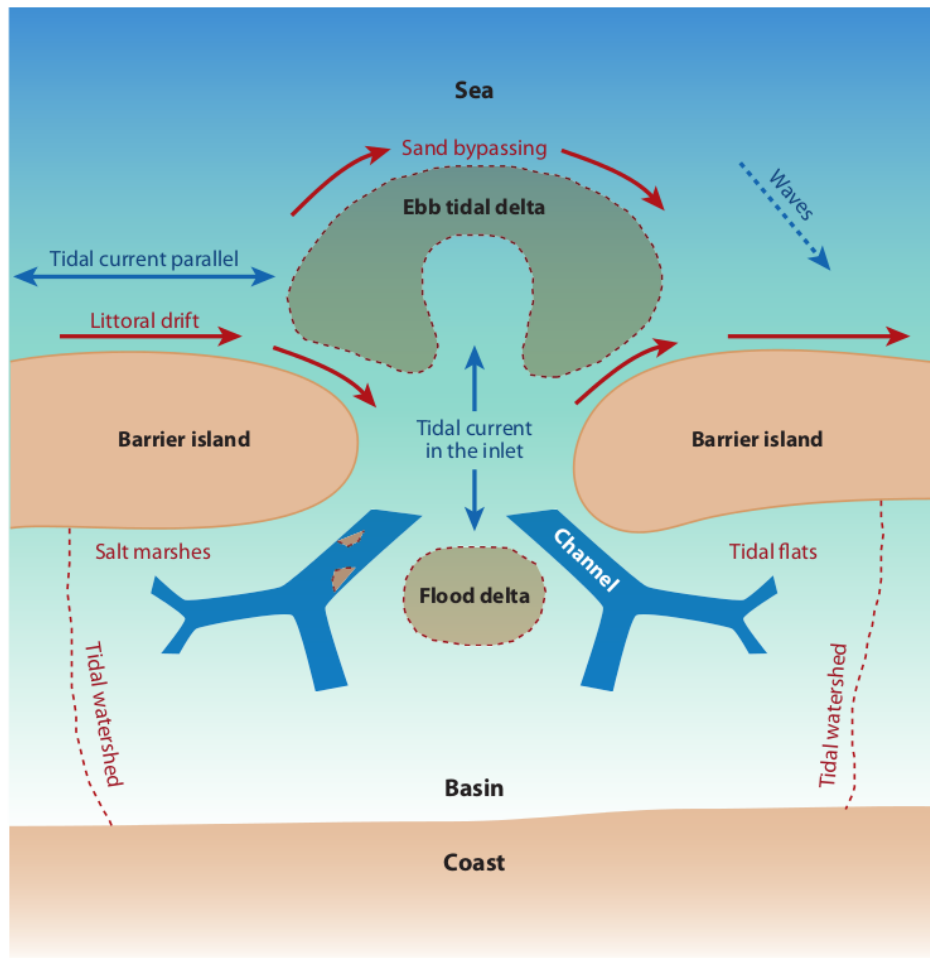
Als er in Nederland over de “Waddeneilanden” wordt gesproken, worden daar vanzelfsprekend in eerste instantie vooral de Nederlandse Waddeneilanden mee bedoeld. Daarvan zijn de bewoonde eilanden het bekendst. Van west naar oost zijn dat: Texel, Vlieland, Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog. Daarnaast kent het Nederlandse waddengebied een paar onbewoonde eilanden alsmede verschillende zandplaten (Het Tij Geleerd, 2008).

De Nederlandse Waddeneilanden zijn echter niet uniek op de wereld. De eilandketen die in Nederland met Texel begint stopt niet bij de landsgrens maar loopt in Duitsland gewoon verder, om uiteindelijk met het eiland Fanø in Denemarken te eindigen. Gebieden als het Nederlandse Waddengebied staan in de literatuur bekend als 'Systemen van barrière-eilanden en zeegaten' en komen volgens Glaeser (1978, in Elias, 2006) en Hibma et al. (2004) langs een grote delen van de wereldkusten voor. In Noord-Amerika bijvoorbeeld aan de oostkust en langs de Golf van Mexico. Een vergelijking tussen zo'n Noord-Amerikaans en een Nederlands waddengebied wordt weergegeven in figuur 21.



*Figuur 21: Een vergelijking tussen een Amerikaans (links) en Nederlands (rechts) Waddengebied. (Elias, 2006)*

Op het eerste gezicht lijkt een waddengebied gekenmerkt te worden door een keten van eilanden, feitelijk gezien is er echter sprake van een keten van zeegaten en hun bijbehorende getijdenbekkens (Louters & Gerritsen, 1994; Oost, 1995; Elias, 2006). Zeegaten zijn de engtes tussen de eilanden die de buitenzee toegang geven tot de achter de barrière-eilanden gelegen binnensee. Deze binnensee is opgedeeld in verschillende bekkens die allemaal onder invloed van staan van hun eigen zeegat: de getijdenbekkens. De plaats waar de getijdenbekkens elkaar raken heet het 'wantij'. Figuur 22 geeft een overzicht van de onderdelen die per getijdenbekken herhaald worden. De eilanden lijken op deze afbeelding slechts een voetnoot te zijn, sterker nog: ze worden doormiddengehakt. Het gehele Waddengebied bestaat volgens Elias (2006) uit 33 van zulke getijdenbekkens, waarvan er 6 in Nederland liggen (Oost 1995; Elias 2006; Swart & Zimmerman 2009).



Figuur 22: Schematisch overzicht van de onderdelen die zich rondom een zeegat bevinden. (De Swart & Zimmerman, 2009)

Waddeneilanden, en barrière-eilanden in het algemeen, spelen dus niet de hoofdrol die de meeste mensen op het eerste gezicht zullen vermoeden, ze zijn desondanks wel integrale onderdelen van waddengebieden. Louters & Gerritsen (1994) leggen namelijk uit dat alle onderdelen van het Waddengebied, ook de eilanden, via water- en sedimenttransport met elkaar in verbinding staan. In de inleiding werd al aangehaald dat alle landschapsvormen in het waddengebied vormgegeven worden door de balans tussen erosie en sedimentatie van sediment. Louters & Gerritsen (1994) noemen het Waddengebied dan ook een “zanddelend systeem”: een bepaalde hoeveelheid sediment wordt door alle onderdelen van het Waddengebied gedeeld. Sediment dat ooit de top van een duin vormt, kan zich jaren later op de bodem van een zegeul bevinden en vice versa. Het is deze sedimentuitwisseling verderop in dit onderzoek van groot belang zal blijken.

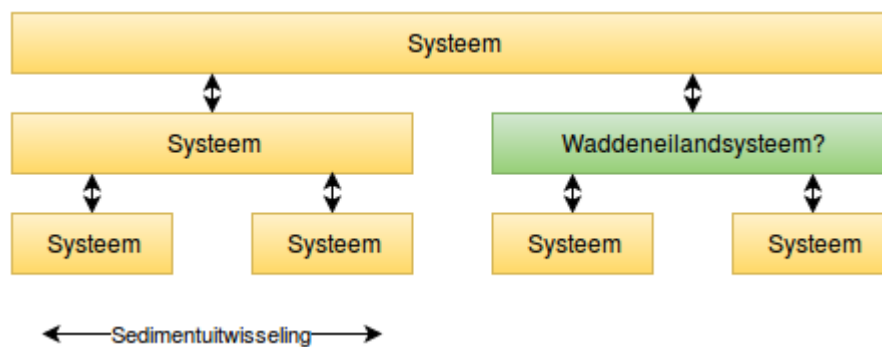
## 4.3 Afbakening onderzoeksobject

### 4.3.1 Randvoorwaarden

De eerste stap in het beschrijven van een systeem is het bepalen van de systeemgrenzen. De grens wordt volgens hoofdstuk 2.2.5 van het theoretisch kader in principe zo gelegd worden dat de

mate van interactie binnen het systeem vele malen groter is dan de interactie tussen het systeem en zijn omgeving. Het is uiteindelijk aan de onderzoeker een de knoop door te hakken. Het doel van dit hoofdstuk is het bepalen wat de systeemgrens van het waddeneilandsysteem is. De zoektocht naar de systeemgrens zal meteen informatie opleveren over de omgeving van de Waddeneilanden. De versnelde zeespiegelstijging speelt zich op een hele hoge schaal af en zal via de omgeving de Waddeneilanden bereiken. Met kennis van de positie van het onderzoeksobject binnen de hiërarchie van alle systemen wordt het makkelijker verbanden te leggen met processen die zich op de andere systeem schalen afspelen.

Om iets te kunnen zeggen over de mate van interactie moet eerst bepaald worden wat onder de noemer interactie verstaan wordt. In hoofdstuk 4.2 werd aangegeven dat alles in een waddengebied draait om de uitwisseling van sediment. Dat maakt dat het logisch is om onder interactie te verstaan: de uitwisseling van sediment. Het waddeneilandsysteem is dan, zoals in figuur 23 weergegeven wordt, één systeem in een hiërarchie van systemen die via sedimentwisseling met elkaar in verbinding staan.



Figuur 23: Een hiërarchie van sedimentuitwisselende systemen

## 4.3.2 Ondergrens

### 4.3.2.1 De werking van sedimentuitwisseling

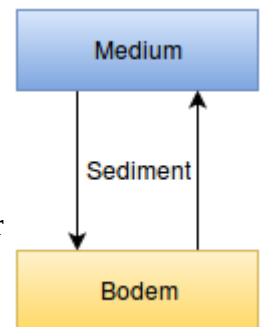
De systemen in figuur 23 staan door middel van sedimentuitwisseling met elkaar in verbinding. Om de interacties tussen al deze systemen te kunnen begrijpen is noodzakelijk te weten wat er achter dit proces van sedimentuitwisseling schuilgaat. Op de Waddeneilanden zijn dat vooral hydrografische en eolische processen (Flemming & Davis, 1994). Hieronder zal kort uitgelegd worden hoe deze natte en droge vormen van sedimentuitwisseling werken.

Waterstroming leidt volgens Wang et al. (2012) tot sedimenttransport, Louters & Gerritsen (1994) noemen water zelfs de “motor achter sedimenttransport”. De mate van sedimenttransport in water wordt volgens hen vooral bepaald door snelheid waarmee het stroomt. Daar waar water hard stroomt erodeert het sediment en daar waar het traag stroomt laat het dit sediment weer los. Lui (2001) geeft in zijn artikel een gedetailleerde uitleg van de natuurkunde achter sedimenttransport in water. Volgens hem bestaat het proces van sedimenttransport door water uit twee delen: het oproeren van sediment en het vervoeren van sediment.

Door de zwaartekracht zal sediment van nature snel uit water wegzakken. Dat wordt anders als water onrustig wordt, de turbulentie die dan ontstaat overmunt de zwaartekracht. Turbulentie

ontstaat niet alleen ten gevolge van stroming maar ook voor een belangrijke mate door golfwerking. Naarmate de energie in het water toeneemt kan het steeds grotere, en dus zwaardere, sedimentkorrels vasthouden. Turbulent, en dus energiek, water roert aan de bedding ook nieuw sediment op, aan de bedding vindt dan erosie plaats. Als de energie van het water afneemt, neemt de erosie aan de bedding af en zakt sediment makkelijk uit het water weg, de grootste korrels als eerste. Dat verlies aan sediment wordt ook niet meer gecompenseerd door oproering van nieuw materiaal, er vindt sedimentatie plaats (Lui 2001). Eenmaal in water opgelost beweegt het sediment met de stroomrichting van het water mee. De richting waarin het water stroomt, bepaalt daarmee ook de richting waarin sediment potentieel verplaatst kan worden.

Op land spelen zich vergelijkbare processen af, alleen is daar geen water maar lucht en geen (water)stroming maar wind. Turbulentie doet sediment opstuiven en bij kalmte valt sediment weer terug op de grond. Het Tij Geleerd (2008) vertelt dat de vorm van het landschap van grote invloed is op het transport van sediment. Op open vlaktes heeft de wind vrij spel en kan het veel sediment meevoeren. Daar waar in het landschap obstakels voorkomen wordt de wind echter weer flink afgeremd. In de luwte achter zo'n obstakel valt opgestoven sediment weer uit de lucht en zal het niet snel opnieuw opstuiven. Op deze wijze kunnen obstakels zo klein als één schelp al zomaar tot de vorming van een enorm duin leiden. Net als de stroomrichting bepaalt ook de windrichting waar sediment naartoe verplaatst.

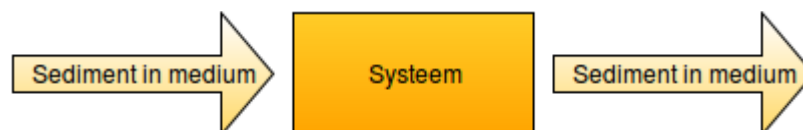


*Figuur 24: Uitwisseling van sediment op het laagste schaalniveau*

De uitwisseling van sediment tussen de bodem en het medium erboven, water dan wel lucht, is meteen het laagste schaalniveau in de hiërarchie van sedimentuitwisselende systemen. Dit systeem van uitwisseling wordt gevisualiseerd in figuur 24. Over de gehele oppervlakte van de zeebodem of het land is zo'n systeem actief. Voor elk van de schaalniveaus die nog volgen zal een visualisatie worden gemaakt.

#### 4.3.2.2 Landschapsvormen uit sediment

Uit de sedimentuitwisseling langs de bodem van de zee en langs de oppervlakte van de eilanden ontstaan grotere landschappelijke eenheden, in de literatuur: morfologische eenheden. Sedimentuitwisseling bleek in het vorige hoofdstuk onderhevig te zijn aan eigenschappen van het medium dat sedimenttransport faciliteert. Variaties in deze eigenschappen vormen op een groter schaalniveau het landschap (Hibma et al., 2004).



*Figuur 25: Sedimentuitwisselende landschapsvormen*

Op sommige plekken stroomt het water heel hard en heeft het een grote sedimenttransporterende capaciteit. Op zulke plekken wordt veel sediment opgeroerd en het onderliggende landschap geërodeerd, zo ontstaan bijvoorbeeld diepe zeegeulen. Andersom zijn er



plaatsen waar het water traag stroomt en sediment makkelijk uit het water valt, onder zulke omstandigheden kunnen platen en zandbanken ontstaan. Op het strand waait het hard en wordt sediment door de wind gladgestreken, in de luwte achter een duin kan dit zand weer neerdalen en wordt het niet snel meer opgepakt.

Lokale eigenschappen van het medium dat sediment vervoert hebben zo invloed op de vorm van het landschap. Andersom heeft de vorm van het landschap ook weer invloed op de eigenschappen van het medium. Zo wisselen erosie en sedimentatie elkaar continu af, soms heeft één van de twee de overhand maar ze kunnen ook precies in evenwicht zijn. Sedimentuitwisselende landschapsvormen kennen dus zelfregulatie, een kenmerkende eigenschap van open systemen. Figuur 25 geeft het systeem op deze schaal weer. Sediment in medium stroomt de landschapsvorm in, in het systeem vindt er uitwisseling plaats tussen het medium de systeemonderdelen waarna het medium met een nieuwe hoeveelheid sediment het systeem weer verlaat.

Op deze schaal wordt het niveau van de Waddeneilanden geraakt. Alle onderdelen van een waddeneiland zijn te beschrijven als een systeem dat sediment in medium ontvangt, intern uitwisselt en weer doorstuurt. Een kwelder ontvangt bij vloed sedimenthoudend water, vangt sediment uit dit water en komt vervolgens weer droog te liggen. De verhouding tussen sedimentatie en erosie bepaalt of een landschapsvorm als een waddeneiland groeit. Wil een waddeneiland met de zeespiegelstijging mee kunnen groeien moet de balans richting sedimentatie uitslaan.

### 4.3.3 Bovengrens

#### 4.3.3.1 De Noordzee

De Waddeneilanden liggen op de grens van de Waddenzee en de Noordzee. De Waddenzee is een binnenzee van de Noordzee, die op zijn beurt weer een randzee van de Atlantische Oceaan is en zo met alle wereldzeeën verbonden is. Omdat waddeneilanden volledig door zee worden omgeven zal praktisch gezien alle sedimentuitwisseling via de zee plaats moeten vinden.

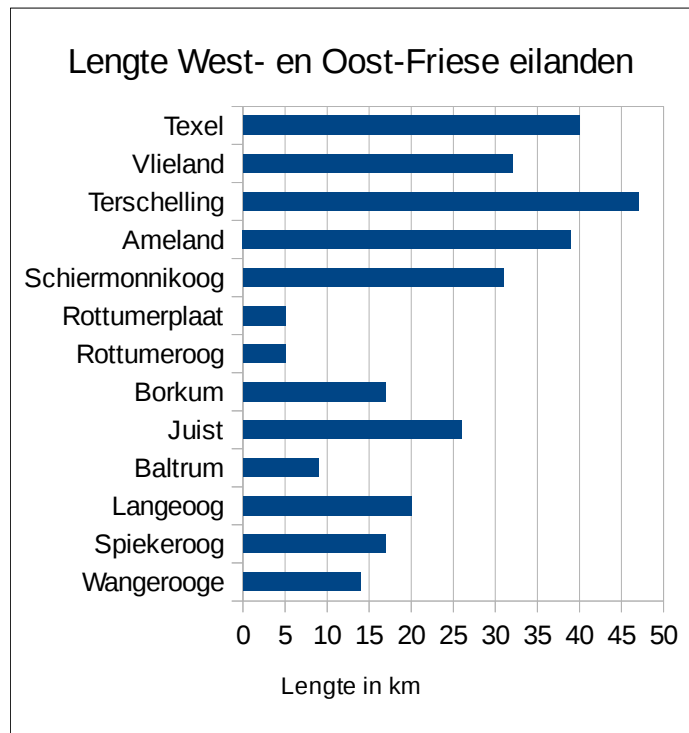
De waterstroomrichting was volgens het vorige hoofdstuk van invloed op de potentiële sedimentwisseling; sediment kan immers niet tegen de stroming in 'zwemmen'. De belangrijkste waterstromen in de Noordzee ontstaan ten gevolge van het getij. Vanuit de Atlantische Oceaan ontvangt de Noordzee twee keer per dag een vloedstroom. De dominantste vloedstroom stroomt vanuit het noorden binnen, tussen Schotland en Noorwegen door, en volgt de Schotse en Engelse kust naar het beneden. In het zuiden van de Noordzee komt deze waterstroom de secundaire vloedstroom die door het Kanaal binnenkomt tegen en draait deze tegen de klok in om samen met deze tweede waterstroom weer naar het Noorden op te trekken (Oost, 1995; Van der Molen 2000; Elias, 2006; Pickering, 2012).

Langs het Waddengebied stroomt de vloedstroom van de Noordzee bij benadering parallel aan de kust, van het zuidwesten naar het noordoosten. De amplitude van het tij, het verschil in waterspiegel tussen eb en vloed, varieert op dezelfde as en wordt naar het oosten toe steeds groter. In het zuidwesten bij Den Helder is de amplitude zo'n 1,4 meter, ter hoogte van Denemarken loopt hij op tot meer dan 3 meter (Oost, 1995; Flemming & Davis 1994).

De eigenschappen van het tij hebben een grote invloed op de Waddeneilanden. De richting van de vloedstroom bepaalt dat sediment dat in het water oplost voornamelijk richting het (noord)oosten verplaatst wordt. De invloed van de amplitude is misschien nog wel groter, volgens Oost (1995) bepaalt het verschil tussen eb en vloed of systemen van barrière-eilanden en zeegaten überhaupt kunnen ontstaan. Zulke systemen zijn zeldzaam op plaatsen waar er sprake is van grote verschillen in waterniveau en komen vooral voor in gebieden waar sprake is van een klein (0-2m) tot gemiddeld (2-4m) tij (Flemming & Davis 1994; Oost, 1995).

Een interessant neveneffect van de amplitude van het tij is de relatie tussen de grootte ervan en de afstand tussen de verschillende zeegaten. Volgens Oost (1995) wordt deze afstand kleiner naarmate de amplitude toeneemt. Aangezien die langs Waddengebied richting het oosten toeneemt zou dat in de lengte van de eilanden zichtbaar moeten zijn. Een inventarisatie waarvan de resultaten in figuur 26 worden weergegeven laat zien dat dat ook daadwerkelijk het geval is.

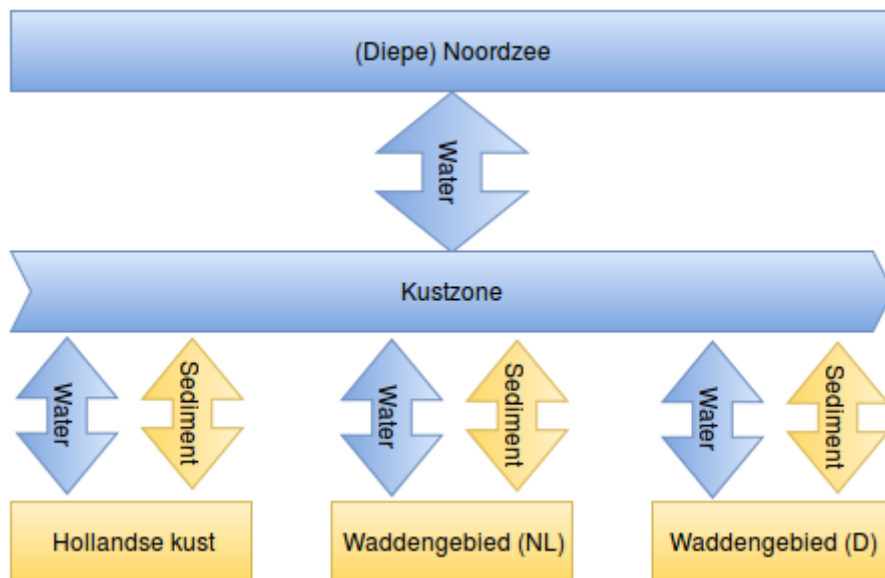
Dat de Noordzee een groot effect heeft op de Waddeneilanden is evident, op het vlak van sedimentuitwisseling speelt de Noordzee echter amper een rol. Het blijkt namelijk dat hoewel er altijd wel wat sediment uitgewisseld wordt tussen de diepe Noordzee en het Waddengebied, deze uitwisseling eigenlijk verwaarloosbaar is (Louters & Gerritsen 1994; Wang et al, 2012). De Noordzee levert het medium waarin sediment zich verplaatst maar draagt aan dat sediment zelf niet bij: dat geeft de Noordzee een rol als “moderator”, maar geen echte plek in de hiërarchie van sedimentuitwisselende systemen.



Figuur 26: Eilandlengte van West naar Oost

#### 4.3.3.2 Het Waddengebied

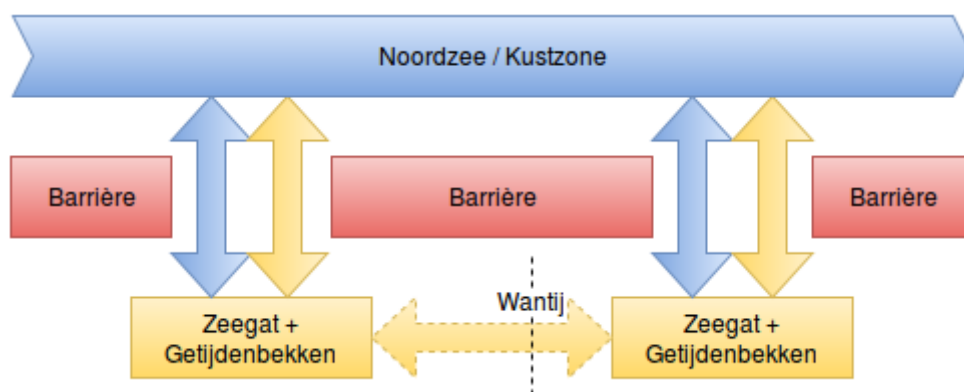
Om het schaalniveau waarop wel sprake is van sedimentuitwisseling te vinden moet er ingezoomd worden op het Waddengebied zelf. Eerder bleek al dat het Waddengebied bestaat uit opeenvolgende complexen van zeegaten en getijdenbekkens. Het Waddengebied wisselt water uit met de Noordzee, maar in de praktijk geen sediment. Dat betekent niet dat het Waddengebied voor sediment een compleet gesloten systeem is. Volgens Louters & Gerritsen (1994) wordt er vlak langs de Nederlandse kust wel sediment verplaatst. Via deze zone kan sediment in het zuidwesten van van het Waddengebied binnenstromen en in het oosten weer verlaten. Voor een toename van sediment in het Waddengebied zorgt deze uitwisseling niet, er komt ongeveer evenveel sediment het Waddengebied binnen als er in het oosten weer verdwijnt (Louters & Gerritsen 1994). Figuur 27 geeft de systemen en hun onderlinge relaties op deze schaal weer.



*Figuur 27: Sedimentuitwisseling op de schaal van de hele kustzone*

Een schaal lager bevindt zich het eigenlijke (Nederlandse) Waddengebied zelf. Zoals in de introductie van dit hoofdstuk bleek, bestaat een waddengebied uit opéénvolgende systemen van zeegaten en getijdenbekkens. Voor elk van die systemen worden de onderdelen uit figuur 22 (pagina 46) herhaald. Het Nederlandse Waddengebied kent volgens Elias (2006) zes van zulke eenheden, ze worden in figuur 29 weergegeven.

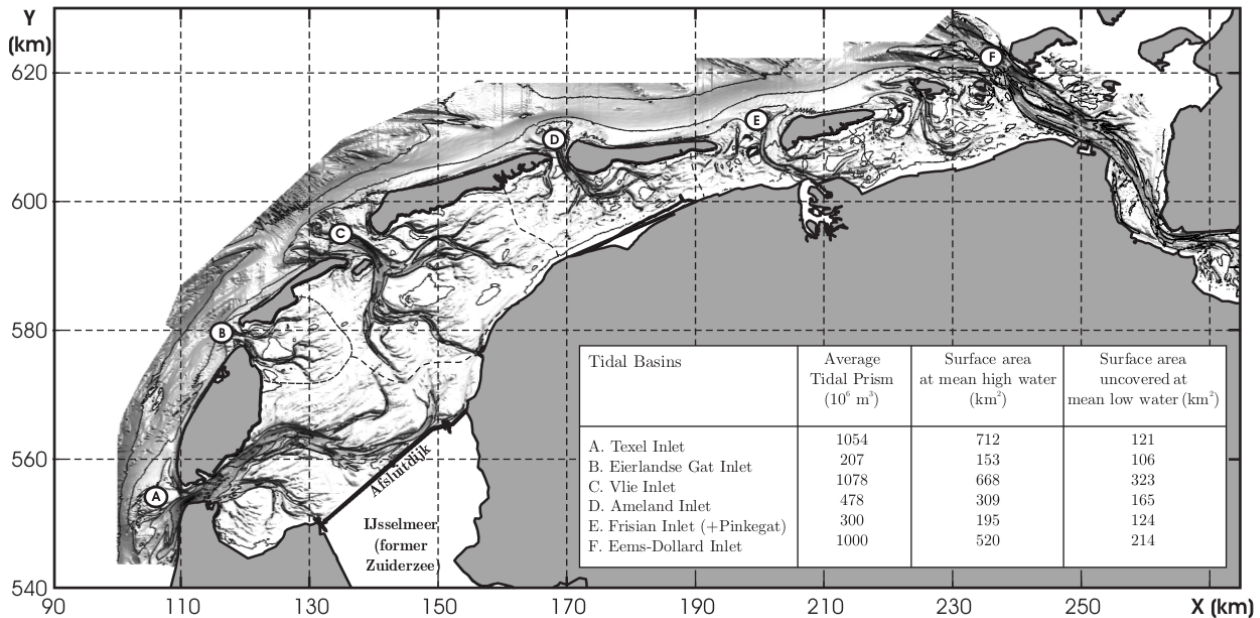
De verschillende getijdenbekkens wisselen onderling sediment uit (Louters & Gerritsen, 1994; Oost 1995). Omdat het Waddengebied wat sediment betreft beschouwd kan worden als gesloten systeem, kent het Waddengebied een vaste hoeveelheid sediment die door alle systeemonderdelen gedeeld moet worden. Als er ergens sedimentatie plaatsvindt moet dat ergens anders geërodeerd zijn: het zanddelende systeem dat in de introductie al aangehaald werd. Een overzicht van het systeem op deze schaal wordt in figuur 28 weergegeven.



*Figuur 28: Onderdelen van een "Waddengebiedsysteem"*

Sedimentuitwisseling vindt voornamelijk plaats via de Noordzee. In de binnensee grenzen de getijdenbekkens elkaar ter plaatse van het wantij, vloedstromen uit verschillende zeegaten "botsen" daar tegen elkaar op. Omdat de vloedstroom uit het westen komt worden niet alle zeegaten

op hetzelfde moment bereikt. Dat heeft tot gevolg dat het wantij niet precies halverwege de zeegaten ligt. Tegen de tijd dat het tweede zeegat bereikt wordt heeft het water dat via het eerste binnenstroomde al tijd gehad om onder het barrière-eiland door te gaan. Door de lage stroomsnelheden ter plaatse van het wantij zelf wordt er daar maar weinig sediment verplaatst.



Figuur 29: De zes getijdenbekkens (Elias, 2006)

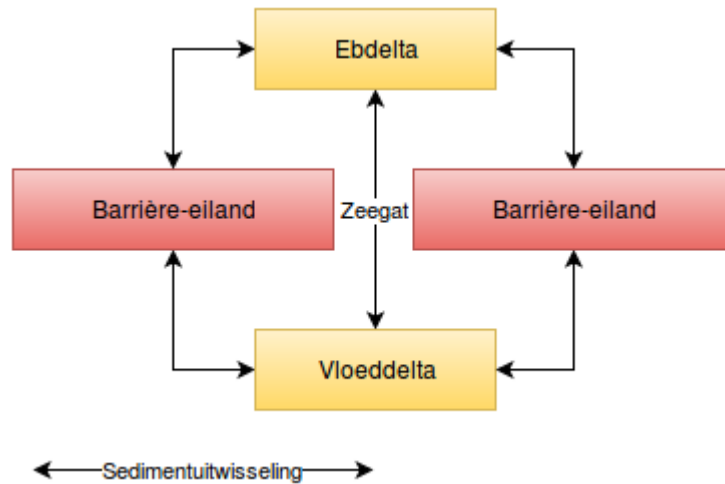
#### 4.3.3.3 Zeegaten en Getijdenbekkens

Nog weer een schaal lager bevinden zich de zeegaten en getijdenbekkens zelf. Het op die schaal aanwezige systeem kent drie onderling uitwisselende opslagplaatsen van sediment: de vloeddelta, de ebdelta en de barrière-eilanden. Deze onderdelen liggen gegroepeerd rondom het daadwerkelijke zeegat. Net als alle sedimentuitwisselende landschapsvormen worden ze vormgegeven door processen van sedimentatie en erosie.

De zeegaten zijn de onderbrekingen in de kustlijn die de Noordzee toegang geven tot de achterliggende getijdenbekkens. Ter plaatse van het zeegat moet al het vloedwater dat getijdenbekkens vullen zal door een nauwe doorgang stromen, er liggen in de zeegaten dan ook diepe geulen. De hoeveelheid water die een getijdenbekken tijdens vloed opslaat, wordt in de literatuur het getijprisma genoemd. Er bestaat een relatie tussen het getijprisma en de doorsnede van het bijbehorende zeegat. Als het zeegat te nauw is neemt de energie in het water toe en zal er erosie plaatsvinden, net zo lang tot er een nieuw evenwichtspunt gevonden wordt (Louters & Gerritsen 1994; Elias 2006; De Swart & Zimmerman 2009; Riggs, 2011).

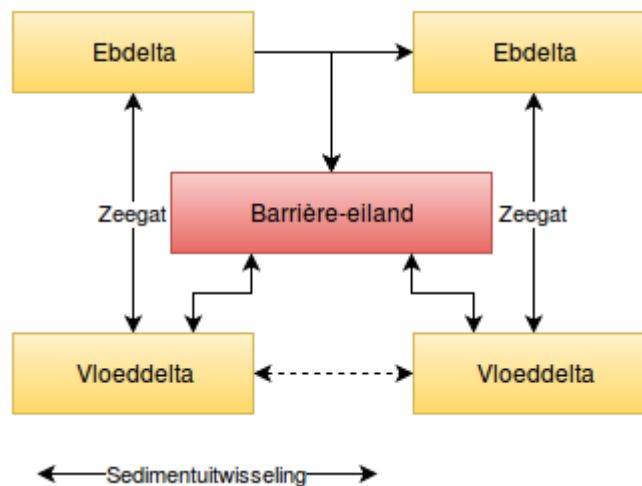
Aan beide kanten van het zeegat liggen delta's: een ebdelta in de Noordzee en een vloeddelta in de Waddenzee. Deze ontstaan doordat water na passage van het nauwe zeegat flink afremt en energie verliest. Sediment zakt het water uit en slaat neer op de delta's die qua vorm wel aan rivierdelta's doen denken. De wirwar aan geulen en platen in de Waddenzee zijn simpelweg deze vloeddelta's. Bijzonder aan de vloeddelta's van het Nederlandse Waddengebied is dat zij zo ongeveer de hele binnenzee opvullen (Elias, 2006; Wang et al., 2012). Op figuur 21 is zichtbaar dat

dat de vloeddelta van het Noord-Amerikaanse Waddengebied lang zo groot niet is. Ebdelta's zijn minder prominent: water dat de Noordzee instroomt, krijgt enorm de ruimte en verliest veel sneller energie dan water dat de nauwe geulen van de Waddenzee instroomt. Beide delta's slaan grote hoeveelheden sediment op (Oost 1995).



*Figuur 30: De onderdelen rondom een enkel zeegat*

Figuur 30 geeft de hierboven besproken situatie weer en is het schaalniveau dat direct boven het waddeneilandsysteem zelf ligt, al is vanuit het eiland zelf bekeken de situatie uit figuur 31 relevanter. Omdat het barrière-eiland eigenlijk bij twee getijdenbekkens hoort, heeft één eiland een relatie met twee eb- en vloeddelta's. Door de stroomrichting van de vloedstroom ontvangt een waddeneiland sediment van de westelijk gelegen ebdelta en komt verloren sediment weer op de oostelijk gelegen ebdelta terecht.



*Figuur 31: De onderdelen rondom een enkel eiland*

## 4.4 Van waddeneiland naar waddeneilandsysteem

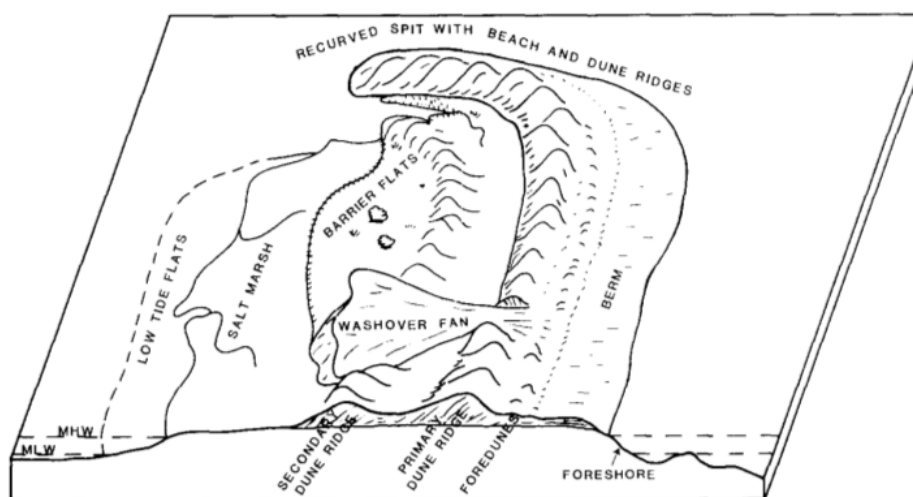
### 4.4.1 Introductie

In hoofdstuk 4.3 bleek dat het waddeneilandsysteem een systeem is in een hiërarchie van sedimentuitwisselende systemen, tevens is de positie van de Waddeneilanden op die hiërarchie vastgesteld. Op de hoogste schaal is het waddeneiland een systeem dat sediment uitwisselt met twee ebdelta's en twee vloeddelta's. Op de laagste schaal bestaat een waddeneiland uit landschapsvormen die sediment uitwisselen met een voorbijtrekkend medium.

Nu wordt het tijd om het waddeneiland zelf te beschrijven en de systemschalen tussen de nu bekende boven- en ondergrens van het waddeneilandsysteem in te vullen. Van dat waddeneilandsysteem kunnen de systeemeigenschappen bepaald worden. Die eigenschappen kunnen later gebruikt worden om het gedrag van het waddeneilandsysteem op de weerbaarheidstrap te voorspellen. Allereerst wordt het waddeneiland in zijn 'natuurlijke' staat omgezet in een systeem. In latere hoofdstukken zullen beter bij de huidige realiteit passende systemen besproken worden.

### 4.4.2 Barrière-eilanden

Waddeneilanden zijn voorbeelden van wat in de literatuur barrière-eilanden worden genoemd en komen over de hele wereld voor. Een model van een generiek barrière-eiland wordt weergegeven in figuur 32. Vanuit de hiërarchie van sedimentuitwisselende systemen bekeken is een barrière-eiland gewoon weer de zoveelste opslagplaats van sediment; een sedimentuitwisselende landschapsvorm (Oertel, 1985).



Figuur 32: Schematisch overzicht van een generiek barrière-eiland. Leatherman (1979, in Oertel 1985)

Een 'volgroeid' generiek barrière-eiland bestaat volgens Leatherman (1979 in Oertel 1985) uit de volgende onderdelen (allemaal sedimentuitwisselende landschapsvormen):

1. Vooroever (foreshore)
2. Strand (berm)

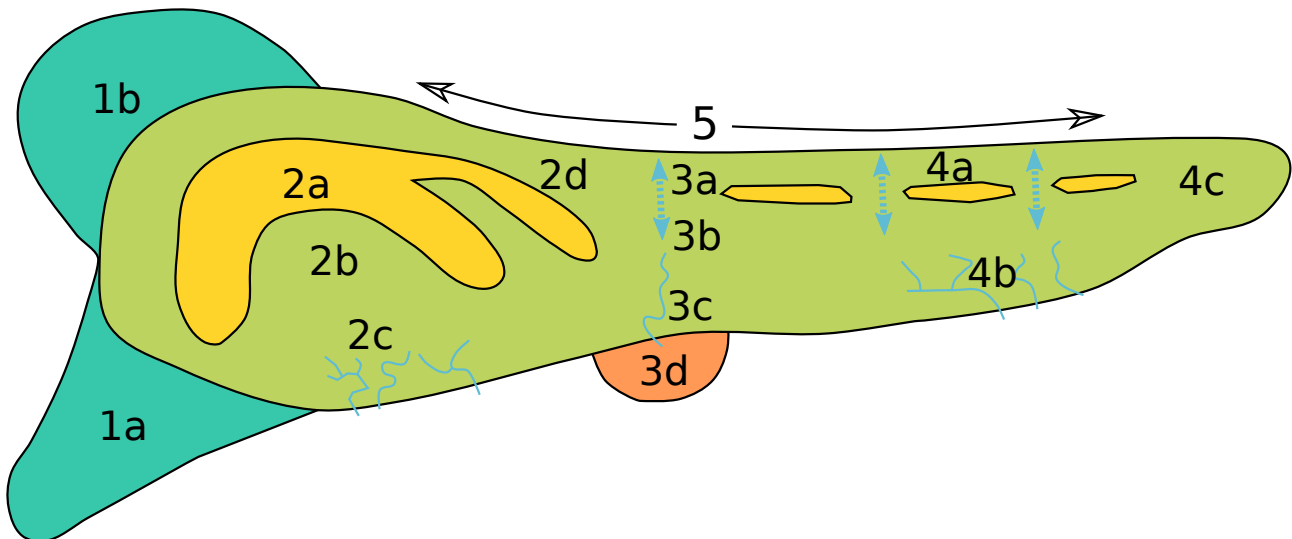
- |                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| 3. Strandduinen             | (foredunes)          |
| 4. Zeeduinen                | (primary dune ridge) |
| 5. Ingesloten strandvlaktes | (barrier flats)      |
| 6. Kwelders                 | (salt marsh)         |
| 7. Overslaggronden          | (Washovers)          |
| 8. Landtongen               | (spits)              |

Omdat barrière-eilanden open systemen zijn wordt de specifieke verschijningsvorm van barrière-eilanden beïnvloed door de wisselwerking van systeem en omgeving. In het geval van de (Nederlandse) Waddeneilanden is de dominante stroomrichting van de buitenzee van grote invloed. Figuur 33 geeft een voorbeeld van een Nederlands waddeneiland en laat zien dat deze in tegenstelling tot het symmetrische generiek barrière-eiland een duidelijke “kop” en “staart” heeft. Deze vorm ontstaat doordat de vloedstroom niet recht op het eiland afstroomt maar er van west naar oost ‘langs trekt’.



*Figuur 33: Een asymmetrisch en symmetrisch barrière-eiland. Beeldmateriaal uit Bing © Microsoft*

Het Tij Geleerd (2008) heeft een variant van het model van Leatherman gemaakt dat specifiek toegesneden is op de Nederlandse Waddeneilanden: het modelwaddeneiland zoals weergegeven in figuur 34. Dit modeleiland kent een duidelijke kop en staart en heeft daardoor een soort druppelvorm. Het eiland ligt met de kop in de vloedstroom en wordt naar het oosten toe steeds dunner. Tabel 10 geeft een overzicht weer van de landschapsvormen van het modelwaddeneiland. De in de tabel opgenomen onderdelen zullen in de komende hoofdstukken één voor één besproken worden. De nummers in de afbeelding en de tabel komen met elkaar overeen. De onderdelen in de tabel vallen weer in subonderdelen uit elkaar, deze subonderdelen zijn met achtervoegsels aangegeven op de tekening. In de volgende hoofdstukken wordt soms terugverwezen naar de nummers op de tekening.



Figuur 34: Het modelwaddeneiland van Het Tij Geleerd (Het Tij Geleerd 2008, p.29).

5: Strand en vooroever			
1: Eilandkop	2: Duinboogcomplex	3: Overslagcomplex	4: Eilandstaart

Tabel 10: Landschapsvormen van het modelwaddeneiland.

#### 4.4.3 Strand en vooroever

Langs de buitenkant van het waddeneilandsysteem ligt een strand waar weer een onder water gelegen vooroever tegenaan ligt. Beide krullen nabij de zeegaten een stukje mee naar binnen. De vooroever is het eerste stuk zeebodem, in het modeleiland van het Tij Geleerd loopt die tot zo'n 20 meter diepte door. Alleen met de eerste 10 meter van de vooroever wordt ook daadwerkelijk sediment uitgewisseld (Wang et al., 2012). De vooroever vormt voor het zeewater een soort verkeersdrempel; een groot deel van de energie in de waterstroom wordt op de vooroever al geabsorbeerd. Om die reden kunnen barrière-eilanden alleen ontstaan en bestaan als de vooroever niet te steil is (Riggs, 2012).

Alle delen van het strand komen zo nu en dan onder water te staan en kunnen daardoor via water sediment uitwisselen. Slechts een deel van het strand staat dagelijks onder water. Op de hogere delen van het strand is wind dan ook een belangrijker medium voor sedimenttransport. In de winter zetten stormvloedden regelmatig het hele strand onder water (Flemming & Davis, 1994). Omdat de stranden soms wel en soms niet onder water staan, zijn ze een plek waar sediment overgedragen kan worden tussen de natte en droge delen van het overkoepelende Waddengebied. Zonder deze koppeling zou de hiërarchie van sedimentuitwisselende systemen onderbroken worden en de Waddeneilanden een stuk geïsoleerder.

Onder het strand door beweegt de vloedstroom richting het oosten en drijft de wind de golven dezelfde kan op, hierdoor slaat het zeewater in een hoek op het strand in. Volgens Oost (1995) zorgen dit voor een netto sedimenttransport naar het oosten: de zogenoemde kustdrift (Oost 1995; De Swart & Zimmerman, 2009). Sediment op de eilandkop wordt hierdoor richting de eilandstaart bewogen; en nooit andersom. Kustdrift zorgt ervoor dat het strand in oostelijke richting



gladgestreken wordt.

#### 4.4.4 Eilandkop

De eilandkop is de stompe 'voorkant' van het waddeneilandsysteem. Het eiland ligt met de kop in de vloedstroom en is aan veel erosie onderhevig. Aan de andere kant is de eilandkop de eerste plaats waar vers sediment aanlandt, soms in de vorm van hele zandplaten. Die zandplaten zijn meestal afkomstig van de westelijk gelegen ebdelta (1b op figuur 34) maar kunnen ook vanuit de vloeddelta aanlanden (1a) (Het Tij Geleerd, 2008). Onder andere door kustdrift wordt sediment dat op de eilandkop aankomt om het hele eiland heengewalst. Dat is een belangrijke reden voor het asymmetrische uiterlijk van de Nederlandse Waddeneilanden.

Volgens het Tij Geleerd (2008) is er een cyclus van 50 tot 100 jaar waarin erosie van de eilandkop en het aanlanden van nieuwe zandplaten elkaar opvolgen. Op de Nederlandse Waddeneilanden is het mogelijk de verschillende stadia van deze cyclus te zien op de verschillende eilanden. Een paar voorbeelden worden op figuur 35 weergegeven. Terschelling heeft meer dan 100 jaar geleden een grote zandplaat ontvangen die nog altijd op de kop aanwezig is. Op Ameland is duidelijk te zien hoe sediment vanaf de eilandkop langzaam om het eiland heen wordt geboetseerd.



*Figuur 35: Eilandkoppen op verschillende punten in de cyclus van aanlanding en om het eiland heenwalsen. Vlnr: Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog. Beeldmateriaal uit Bing © Microsoft*

#### 4.4.5 Duinboogcomplex

Oostelijk van de eilandkop ligt het duinboogcomplex. Op de hoge delen van het strand kunnen uit kleine verstoringen beginnende duintjes ontstaan. Zeker zodra deze begroeid raken kunnen ze flink wat voorbijstuivend zand vangen. Volgens het Tij Geleerd (2008) groeien deze jonge duinen uiteindelijk zijdelings aan elkaar en vormen ze duinenrijen. Onder invloed van de zee en de wind krullen deze duinenrijen naar binnen waardoor ze een boogvorm aannemen (2a). Aan deze boog kan ook weer een nieuwe boog aansluiten waardoor er een opeenvolgende schakeling van duinbogen ontstaat (2d).

De vlakte achter de duinbogen raakt ingesloten en ontvangt daardoor nog maar weinig sediment: dat is de ingesloten strandvlakte (2b). Mede doordat regenwater uit de duingebieden er opkwelt is dit een heel nat gebied waar volgens Het Tij Geleerd zelfs veen kan ontstaan. Aan de binnenkant van dit geheel stroomt de Waddenzee zo nu en dan nog het land op en kan er slib afgezet

worden: hier ontstaan kwelders (2c). De gehele structuur “duinboog, ingesloten vlakke en kwelder” wordt door het Tj Geleerd een duinboogcomplex genoemd.

#### 4.4.6 Overslagcomplex

Nog oostelijker verdwijnen de duinbogen en is er op het modeleiland sprake van een onderbroken duinenrij. Hier bevinden zich de overslaggronden (3a). Bij zeer hoog water kan de zee de onderbrekingen in de duinen voorbij stromen en de rest van het eiland bereiken. Het gebied dat tijdens zo'n gebeurtenis overstroomt is de overslagvlakte (3b). Zoals eerder besproken is de sedimenttransportcapaciteit van water vele malen hoger dan die van de wind, via de overslaggronden kan dan ook heel veel sediment verplaatst worden. Overslag is voor grote delen van het eiland een zeer belangrijke bron van sediment (Oertel, 1985; Riggs, 2011). Volgens het Tj Geleerd (2008) kan er op de overslagvlakte wel één meter sediment per eeuw afgezet worden. Als het sediment de overslagvlakte en kwelder (3c) voorbij stroomt kan het een zandbank afzetten aan de binnenkant van het eiland (3d).

Op het modelwaddeneiland komen meerdere overslaggronden naast elkaar voor, gezamenlijk worden ze door het Tj Geleerd het overslagcomplex genoemd. Omdat het eiland hier van alle kanten door water bereikt worden kan zijn de omstandigheden voor sedimentatie optimaal.

#### 4.4.7 Eilandstaart

Aan het einde van het modeleiland bevindt zich de eilandstaart. De staart is het dunste gedeelte van de druppelvorm. Het landschap is hier gemiddeld veel jonger. De aanwezige jonge duinen (4a) hebben nog niet de kans gehad aan elkaar te groeien en worden onderbroken door kleine overslaggronden. Aan het begin van de eilandstaart is nog een kwelder aanwezig (4b).

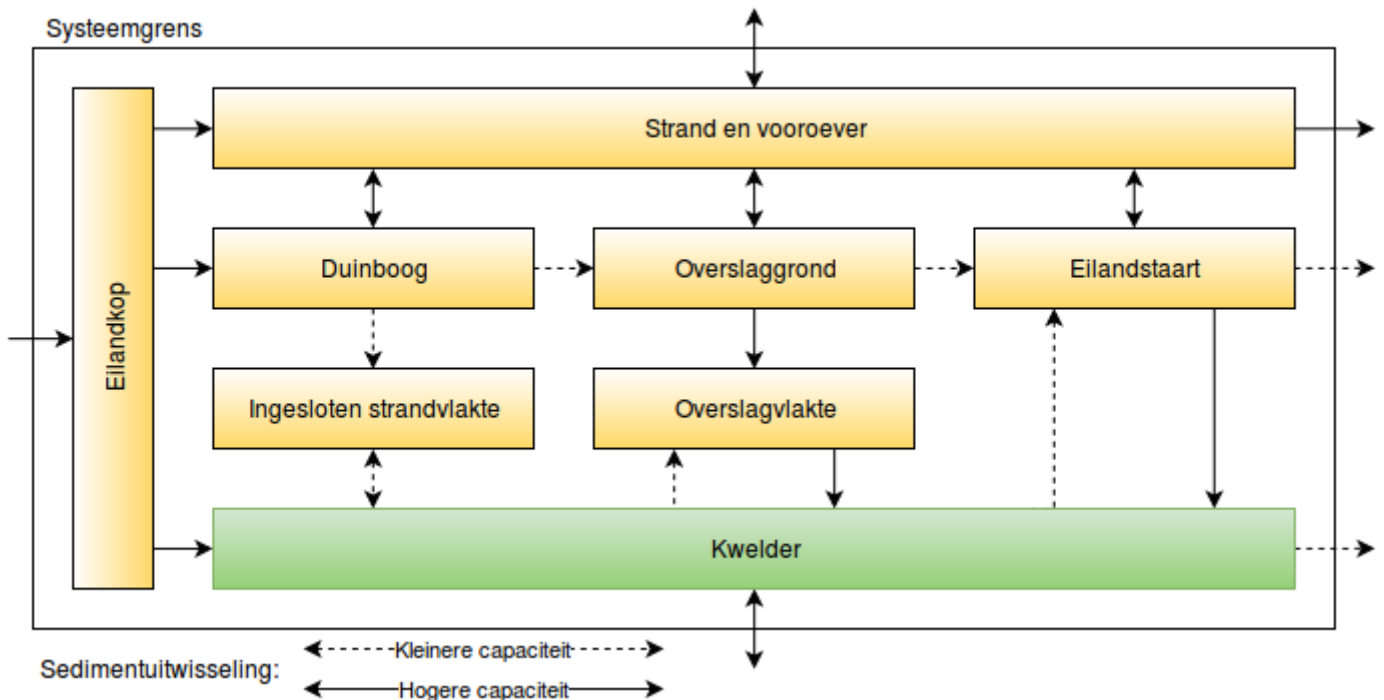
Het uiteinde van de eilandstaart bestaat uit een onbegroeide zandplaat die weinig weerstand kan bieden tegen de werking van de stromingen in het zeegat en hierdoor continu onderhevig is aan een cyclus van afslag en aan aangroei. De eilandstaart wordt hierdoor niet alleen korter en langer maar verplaatst ook in noordelijke en zuidelijke richting. Het Tj Geleerd (2008) noemt dit het kwispelen van de eilandstaart. Op Terschelling heeft de eilandstaart op deze wijze volgens Marijnissen (2012) wel 2 kilometer aan lengte verloren.

#### 4.4.8 Kwelders

De kwelders van het duinboogcomplex, overslagcomplex en de eilandstaart vormen één zone aan de binnenkant van het modelwaddeneiland. Kwelders stromen niet vanuit de Noord- maar vanuit de Waddenzee onder. Het zeewater dat via de Waddenzee de kwelders opstroomt is onderweg al het meeste van zijn sediment kwijtgeraakt. De energie van het water bleek in hoofdstuk 4.3.2.1 verband te houden met de hoeveelheid sediment die in het water op kan lossen en ook met de korrelgrootte van dat sediment. Bij afname van deze energie valt het grofste sediment als eerste uit het water. Tegen de tijd dat de vloedstroom de kwelders bereikt is alleen het fijnste sediment nog over. Het sediment dat op de kwelders afgezet wordt is dan ook van een hele andere samenstelling dan het sediment dat op het strand terecht komt.

Grote delen van de kwelders raken alleen bij uitzondering overstroomd en zijn dicht begroeid. De energie van de Waddenzee is minder dan die van de Noordezee. Processen als kustdrift spelen minder aan de kwelder kust waardoor de kustlijn grilliger is. Kreken doorsnijden de kwelders en geven zeewater toegang tot de binnenlanden van het modelwaddeneiland. Hoe langer de kreken hoe kleiner de hoeveelheid sediment verst gelegen delen van de kwelder bereikt. Het meeste sediment is onderweg immers als uit het water gezakt. Ten hoogte van overslaggronden kan zo nu en dan grover sediment uit de Noordzee de kwelders rechtstreeks bereiken.

#### 4.4.9 Het waddeneilandsysteem



Figuur 36: Het waddeneilandsysteem

Uit de besproken onderdelen van het modelwaddeneiland ontstaat het in figuur 36 weergegeven sedimentuitwisselende waddeneilandsysteem. Het is een waddeneiland in zijn simpelste vorm: er is slechts één duinboog- en één overslagcomplex in opgenomen. De onderdelen van het systeem zijn de landschapsvormen van het modelwaddeneiland. Tussen deze systeemschaal en het complete waddeneiland zit nog een schaal met daarin geaggregeerde complexen zoals in tabel 10. Die schaal is echter te hoog om het gedrag van de Waddeneilanden goed te begrijpen. De kwelders en duinbogen uit het duinboogcomplex bijvoorbeeld hebben compleet verschillende systeemeigenschappen.

In figuur 36 worden de relaties tussen de verschillende onderdelen weergegeven, sediment komt aan de linkerkant het systeem binnen en verspreid zich via verschillende wegen door het systeem heen om uiteindelijk aan de rechterkant te verdwijnen. De systeemeigenschappen van dit geheel zullen in het volgende hoofdstuk besproken worden. Eigenlijk heeft alleen sedimentuitwisseling via water een hoge capaciteit.

#### 4.4.10      **Systeemeigenschappen**

Nu het onderzoeksonderwerp als systeem beschreven is, wordt het mogelijk de eigenschappen van dit systeem af te leiden. Het gaat hier in het bijzonder om de eigenschappen die invloed hebben op weerbaarheid: Openheid, Diversiteit, Woeligheid en Connectiviteit.

Het waddeneilandsysteem is duidelijk een open systeem. De omgeving, bestaande uit de zeeën rondom de Waddeneilanden, heeft directe toegang tot bijna alle onderdelen van het systeem. Omdat water een grote sedimenttransporterende capaciteit heeft, betekent die directe toegang voor water dat er grote hoeveelheden sediment tussen de omgeving en het waddeneilandsysteem uitgewisseld kunnen worden. Alleen de ingesloten strandvlakte is geslotener; water zal niet snel vanuit de Waddenzee zo ver het systeem inreiken. Omdat de strandvlakte in de luwte van duinbogen ligt, kan er ook via de wind niet veel sediment aangevoerd worden.

Diversiteit kunnen systemen verkrijgen door onderdelen met overlappende eigenschappen te hebben. In het op het modelwaddeneiland gebaseerd waddeneilandsysteem komt dat niet heel sterk naar voren. Op het gebied van bijvoorbeeld vegetatie zijn Waddeneilanden natuurlijk divers maar in het abstracte op sedimentuitwisseling gerichte waddeneilandsysteem, spelen dat soort zaken geen rol. De verschillende complexen, die van de duinbogen en overslaggronden, kunnen hetzelfde onderdeel meerdere keren bevatten en in zo'n geval bijdragen aan diversiteit. Als er maar één overslaggrond is en die raakt verstopt, gaat er direct een belangrijke route voor sedimenttransport verloren. Zijn er meerdere overslaggronden dan is er sprake van overlappende functionaliteit en is het verdwijnen van één van die gronden minder ernstig.

Wat ook nog onder diversiteit zou kunnen vallen is de mogelijkheid tot doorontwikkelen die sommige systeemonderdelen hebben. Duinboogcomplexen ontstaan uit jonge onderbroken duinen, precies zoals die op de eilandstaart te vinden zijn. Als een duinboog verdwijnt, kan er oostelijker een nieuwe ontstaan die de rol van de verdwenen duinboog overneemt. Die kneedbaarheid van de systeemonderdelen draagt op lange termijn bij aan een soort diversiteit. Er zou wel een hele lange tijd kunnen zitten tussen het verdwijnen van een onderdeel en het ontstaan van een vervanger, maar dat is beter als het definitief verdwijnen van een systeemonderdeel.

Connectiviteit speelt in een sedimentuitwisselend systeem een grote rol aangezien het hele waddeneilandsysteem draait om het delen van sediment tussen verschillende onderdelen. Een overvloed aan sediment is alleen wat waard als het op de plek komen kan waar het nodig is. Veel onderdelen van het systeem kunnen gelukkig dan ook uit meerdere richtingen sediment ontvangen. De kwelders ontvangen bijvoorbeeld sediment uit zowel de Waddenzee als via de overslaggronden van het strand.

Op het gebied van connectiviteit is het de ingesloten strandvlakte die er het slechtste voor staat, die is voor water alleen via de Waddenzee te bereiken. Hoe langer de route die het water af moet leggen, hoe kleiner echter de hoeveelheid sediment die nog in dat water aanwezig is. Ook voor transport via de wind zijn er flinke beperkingen, de gesloten strandvlakte ligt in de luwte van de duinbogen. Als er al sediment met de wind meekomt zal dat sediment snel uit de wind vallen en niet ver komen.

Een algemeen beperkende factor is de richting waarin sedimentuitwisseling plaats kan vinden. Door de richting van de vloedstroom en de dominante windrichting is er bij veel relaties sprake van éénrichtingsverkeer: sediment kan wel van het onderdeel a naar onderdeel b komen, maar niet andersom. Sediment op de eilandstaart zal nooit de eilandkop kunnen versterken. Sediment uit de duinen kan wel richting de ingesloten strandvlakte waaien maar een wind die krachtig genoeg is om dat andersom te doen komt niet voor, die komen immers voornamelijk uit het westen (Oost, 1995; BügelHajema, 2016). Dit éénrichtingsverkeer beperkt de mogelijke verbindingen voor veel van de systeemonderdelen. Het waddeneilandsysteem kent een hoge mate van connectiviteit maar sediment kan ook weer niet compleet vrij door het systeem zwerven.

Op het gebied van woeligheid ziet het er voor het waddeneilandsysteem goed uit. Bij elk onderdeel kwam naar voren dat er sprake is van zowel sedimentatie als erosie. Op de eilandkop landen hele zandplaten aan en de eilandstaart is continue in beweging. Water en wind kunnen alle onderdelen van het systeem bereiken en zijn daar vrij om het landschap te boetseren. De vorm van het waddeneilandsysteem ligt dan ook nooit helemaal vast. Soms zorgt dat ervoor dat er twee kilometer van een eiland af kan gaan maar diezelfde woeligheid zorgt er ook voor dat er op een later tijdstip ook weer twee kilometer aan kan groeien.

Het Tij Geleerd (2008) geeft voor de meeste onderdelen van het modeleiland een vervangingstijd die aangeeft hoe lang een bepaald onderdeel ongeveer stabiel kan blijven. Onderdelen met een korte vervangingstijd zijn instabieler en die typeert dit onderzoek dientengevolge als woeliger. De vervangingstijden worden weergegeven in tabel 11. De vervangingstijd van de kwelder is niet over de hele lengte van de kwelder gelijk, dicht bij de eilandkop is die hoger dan bij de eilandstaart. Voor het strand is geen tijd opgegeven. Elke keer als het strand onder water staat wordt deze vernieuwd, iets wat door stormen in de winter het gehele strand minimaal één keer per jaar overkomt. Dit onderzoek gaat er vanuit dat het strand daardoor een vervangingstijd in de orde van jaren heeft.

Onderdeel	Vervangingstijd in jaren
Eilandkop	50
Duinboog	100
Ingesl. strandvl.	100
Overslaggrond	50
Overslagvlakte	100
Eilandstaart	25
Kwelder	25 – 100

Tabel 11: Vervangingstijd van de verschillende onderdelen (Het Tij Geleerd 2008, p.29).

Onderdeel	Openheid	Connectiviteit	Woeligheid	Diversiteit
Eilandkop	++	+	+	0
Strand	++	++	++	+
Duinboog	+	+	0	+
Ingesl. strandvl.	0	-	0	0
Overslaggrond	+	+	+	+
Overslagvlakte	+	+	0	0
Eilandstaart	++	+	++	0
Kwelder	+	++	+	0
<b>Totaal</b>	+	+	+	0

Tabel 12: *Systeemeigenschappen van het modelwaddeneilandsysteem.*

Op basis van wat in dit hoofdstuk besproken is, zijn in combinatie met het beoordelingskader uit de methode de eigenschappen van alle systeemonderdelen beoordeeld en is tevens een gemiddelde voor het hele systeem berekend. Het resultaat daarvan wordt in tabel 12 weergegeven. Ter verduidelijking van dit proces is voor twee uiteenlopende systeemonderdelen in de tabellen 13 en 14 de motivatie achter de gekozen scores opgenomen. De overige systeemonderdelen zijn op eenzelfde manier beoordeeld. De scores komen steeds overeen met de beschrijvingen uit het beoordelingskader uit hoofdstuk 3.4, met behulp van die beschrijvingen zijn alle scores te controleren en te reproduceren.

Eigenschap	Score	Motivatie
Openheid	++	De omgeving (zee) spoelt twee keer per dag grote delen van het strand en meerdere keren per jaar het hele strand over. Hierdoor is de score maximaal.
Connectiviteit	++	Het strand is direct met de omgeving (zee), alsmede de eilandkop, duinboog, eilandstaart en overslaggrond verbonden. Allemaal verbindingen met een hoge capaciteit, meerdere ervan in twee richtingen. Bij elkaar genoeg voor een maximale score.
Woeligheid	++	Elke keer als het overspoelt raakt verandert het strand. Het is veilig te stellen dat een strand minder dan 50 jaar stabiel blijft.
Diversiteit	+	Als het strand zou verdwijnen liggen onder andere de duinbogen direct aan zee, door herschikking van het sediment uit die duinbogen kan een nieuw strand ontstaan. Door de kracht van het water zal deze herschikking relatief snel gaan, het functionaliteitsverlies is dan van tijdelijke aard.

Tabel 13: *Motivatie toetsing strand*

<b>Eigenschap</b>	<b>Score</b>	<b>Motivatie</b>
Openheid	o	De systeemomgeving kan de ingesloten strandvlakte binnentreden maar kan dat alleen via een route met een lage capaciteit. Alleen onder bijzondere omstandigheden kan de zee voorbij de kwelders de strandvlakte opstromen.
Connectiviteit	-	De ingesloten strandvlakte kan vanuit de duinboog bereikt worden en is in twee richtingen verbonden met de kwelders. Beide verbindingen hebben een lage capaciteit. Hierdoor scoort dit systeemonderdeel slecht op het gebied van connectiviteit.
Woeligheid	o	De ingesloten strandvlakte is volgens het Tij Geleerd 100 jaar stabiel, volgens het beoordelingskader genoeg voor een gemiddelde score.
Diversiteit	o	Als de duinen breken is de ingesloten strandvlakte niet langer ingesloten. Na verloop van tijd kunnen weer nieuwe duinbogen ontstaan die opnieuw een strandvlakte insluiten, daar zal wel tijd overheen gaan. De verwachting is dat er dan sprake zal zijn van langdurig functioniteitsverlies.

*Tabel 14: Motivatie toetsing ingesloten strandvlakte*

## 4.5 De versnelde zeespiegelstijging

In de algemene inleiding bleek al dat het KNMI verwacht dat de zeespiegel voor de Nederlandse kust in 2100 tussen 35 en 85 centimeter hoger liggen zal dan in het ijkjaar 1990. (KNMI, 2016b). Mocht de aanpak van de klimaatverandering tegenvallen zou het in het zwaarste geval zelfs om een stijging van 1,5 meter kunnen gaan (Grootjans; 2014). Vanuit het systeemdenken gezien, betekent dat dat de omgeving van het waddeneilandsysteem zal veranderen. Het waddeneilandsysteem wordt aan alle kanten door water omringd dat in directe verbinding staat met de wereldzeeën, de versnelde zeespiegelstijging zal het eiland compleet omcirkelen.

Er wordt gesproken over een versnelde zeespiegelstijging omdat de zeespiegelstijging altijd al bestaan heeft. Sinds het einde van de laatste ijstijd is er al zeespiegelstijging, in die 10.000 jaar gaat het om een stijging van wel 120 tot 140 meter. De laatste 150 gaat het om een een vrij constante stijging van zo'n 18 à 20 cm per eeuw (Louters & Gerritsen, 1994; Grootjans, 2014; KNMI, 2016a). Het proces van zeespiegelstijging an sich vormt dan ook geen gevaar voor de Waddeneilanden, ze worden daar al eeuwen aan blootgesteld en zijn daar niet aan ten onder gegaan. Dat de zeespiegelstijging versnelt van 20 tot misschien wel 85cm per eeuw betekent wel dat de Waddeneilanden in 'optimale conditie' moeten zijn. Hoe makkelijker en sneller ze zeespiegelstijging kunnen accommoderen, hoe groter de kans dat ze een stijging van 85cm overleven kunnen.

Zeewater kan, zoals in het vorige hoofdstuk bleek, bijna alle onderdelen van het open waddeneilandsysteem bereiken. De versnelling van de zeespiegelstijging raakt de Waddeneilanden in hun kern. Volgens Grootjans (2014) kunnen de kwelders maximaal een stijging van 50cm bijhouden. De Waddenzee kan volgens Wilschut (2014) een stijging van maximaal 60cm bijhouden. Wat dat de stijging zal doen met de functionaliteit van het gehele waddeneilandsysteem zal in het volgende hoofdstuk besproken worden.



## 4.6 Functionaliteit

Het doel van dit onderzoek is het beoordelen of ruimtelijke maatregelen bij kunnen dragen aan de weerbaarheid van de Waddeneilanden. Om die vraag te kunnen beantwoorden zal van de weerbaarheidstrap gebruik gemaakt worden. In de weerbaarheidstrap zijn evenwichtssituaties gerangschikt op functionaliteit. Om de trap op te kunnen stellen is het dan ook noodzakelijk een definitie van functionaliteit op te stellen.

De versnelde zeespiegelstijging betekent, in de meest simpele vorm, dat het waddeneilandsysteem ten opzichte van de zeespiegel lager komt te liggen. Met het stijgen van de zee daalt de “hoogte” van het eiland. Met de laagste delen beginnende staan hierdoor steeds grotere delen van het eiland permanent onder water. Als het hele waddeneilandsysteem onder de golven verdwenen is, is er in alle gevallen geen sprake meer van een functionerend waddeneilandsysteem. Het is deze verhouding tussen zeespiegel en eilandhoogte waar in dit onderzoek de functionaliteitsdefinitie op gebaseerd wordt.

De definitie van functionaliteit voor dit onderzoek luidt:

“De gemiddelde hoogte van het waddeneilandsysteem ten opzichte van de zeespiegel”

De verschillende evenwichtssituaties kunnen gerangschikt worden op deze definitie. Een evenwichtssituatie waarin het waddeneiland ten opzichte van de zeespiegel gemiddeld hoger ligt dan nu heeft een functionelere positie. Is deze hoogte juist lager dan is deze evenwichtssituatie minder functioneel. Er zijn, met deze definitie, een oneindig aantal evenwichtssituaties en geen positie die 'maximaal' functioneert. Natuurlijk zal van een waddeneiland met een gemiddelde hoogte van 100 meter boven de zeespiegel ook niet echt als traditioneel waddeneiland functioneren. De kans dat het waddeneilandsysteem op basis van water en wind zo'n evenwichtssituatie bereikt is echter niet aanwezig. In dit onderzoek is ook niet de absolute hoogte relevant maar voornamelijk de relatieve kracht van een systeem om, eventueel, hoogte te kunnen pakken. Daar past deze definitie van functionaliteit goed bij.

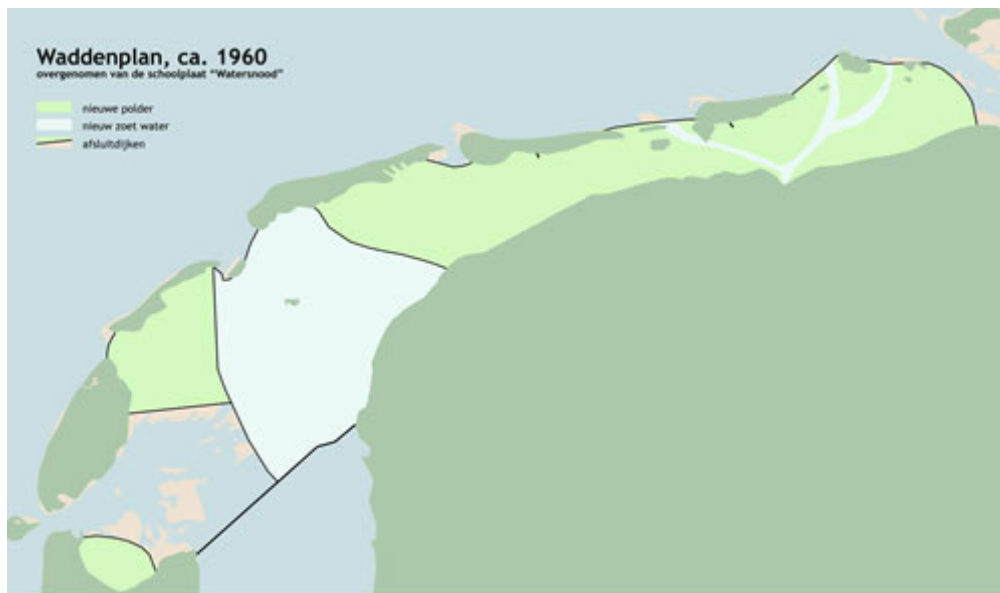
## 4.7 Moderne Nederlandse Waddeneilanden

### 4.7.1 Introductie

Het waddeneilandsysteem uit hoofdstuk 4.4 is gebaseerd op een modelwaddeneiland. Dit model is echter gebaseerd op een, in de de woorden van het Tij Geleerd (2008), ideaalbeeld van een waddeneiland in een natuurlijke situatie. Het Waddengebied mag dan misschien wel één van de minst door mensen beïnvloede plekken van Nederland zijn, in een compleet natuurlijke situatie bevinden de eiland zich ook niet. Dit onderzoek wil bijdragen aan het behoud van de Waddeneilanden uit de realiteit. Voordat op basis van het waddeneilandsysteem ruimtelijke maatregelen voorgesteld kunnen worden moet dat systeem eerst dichterbij de werkelijke staat van de Nederlandse Waddeneilanden gebracht worden.

De Waddeneilanden raakten volgens het Kenniscentrum Landschap (2015) na de 8<sup>e</sup> eeuw permanent bewoond en gingen vanaf dat moment afwijken van het modeleiland. De

Waddeneilanden werden niet meer alleen door puur natuurlijke krachten van sedimentatie en erosie vorm gegeven. De vroegen eilandbewoners zullen al vroeg maatregelen genomen hebben om hun veiligheid binnen hun dynamische omgeving te vergroten. Deze maatregelen zijn in de loop van de geschiedenis van steeds grotere aard geworden en culmineerden met plannen uit de jaren 60 om het hele Waddengebied in te polderden (BügelHajema, 2016; Waddenvereniging, 2016). Een visie op de toekomst van het Waddengebied uit die tijd wordt weergegeven op figuur 37, van die plannen is uiteindelijk weinig terecht gekomen.



Waddenplan: naar de schoolplaat "Watersnood", ca. 1960

*Figuur 37: Plan tot inpoldering van grote delen van de Waddenzee.  
(Waddenvereniging, 2016)*

In het theoretisch kader werd al vermoed dat de Waddeneilanden ook vaak als abstract systeem beschouwd zijn; dat er vanuit top-downperspectief op ingegrepen is. Er zijn het waddeneilandsysteem functionaliteiten opgelegd die niet vanuit het systeem volgen maar vanuit een bepaald doel. Die ingrepen hebben tot gevolg dat het waddeneilandsysteem dat bij de moderne Waddeneilanden aansluit er iets anders uit zal zien. Als introductie zal er hieronder allereerst een voorbeeldeiland bij gepakt worden: Schiermonnikoog. Drie belangrijke abstracte ingrepen die op dat eiland zichtbaar zijn, zullen daarna afzonderlijk besproken worden. Dat alles zal resulteren in een nieuwe variant op het waddeneilandsysteem met een nieuwe set systeemeigenschappen: het moderne waddeneilandsysteem.

## 4.7.2 Schiermonnikoog



*Figuur 38: Schiermonnikoog, een voorbeeld van hoe een Nederlands waddeneiland er tegenwoordig uitziet. Gemarkeerd zijn: rood: bevolkingskern, paars: de zeereep en blauw: de stuifdijk. Beelmateriaal uit Bing © Microsoft*

Op de luchtfoto van figuur 38 is te zien dat dat Schiermonnikoog in grote lijnen erg lijkt op het modelwaddeneiland van het Tij Geleerd. Het heeft een duidelijke eilandkop en staart, en van west naar oost is een duinboogcomplex te herkennen die in het oosten overgaat in wat een overslagcomplex lijkt te zijn. Er zijn op de luchtfoto ook verschillen zichtbaar ten opzichte van het modelwaddeneiland. Allereerst wordt Schiermonnikoog bewoond, daar was op het modelwaddeneiland geen ruimte voor ingericht. Op de luchtfoto is de bewoningskern in het rood aangegeven. Om de bevolkingskern te beschermen zijn twee delen van het duinboogcomplex, de ingesloten strandvlakte en de kwelder, afgesloten met een zeedijk: op de luchtfoto in het oranje aangegeven.

Aan de Noordzijde van het eiland zijn lijnstructuren zichtbaar die eveneens niet natuurlijk aandoen. Op de grens van het strand en de duinboog is een versterkte zeereep, roze op de luchtfoto, aangelegd die een harde scheiding tussen het woelige strand en de nu beschutter gelegen duinen van het duinboogcomplex vormt. Ten oosten van het duinboogcomplex steekt een lijnelement de eilandstaart op: op de luchtfoto in blauw aangegeven. Dit is een stuifdijk die als een schutting het eiland in twee delen op lijkt te delen en de plek inneemt van in ieder geval een gedeelte van het overslagcomplex.

## 4.7.3 Inpoldering

De eerste bewoners van de Waddeneilanden vestigden zich volgens het Tij Geleerd (2008) op relatief beschutte plekken onder de duinbogen. Tegen wateroverlast uit de Noordzee zijn die plekken goed beschermd, vanuit de Waddenzee lagen ze nog wel open. Om de kwetsbaarheid vanuit die richting te verminderen zullen al snel dijkjes aangelegd zijn. Van Terschelling is bekend dat dit eiland in de 16<sup>e</sup> eeuw al een gesloten zeedijk had die de belangrijkste bevolkingskernen tegen de

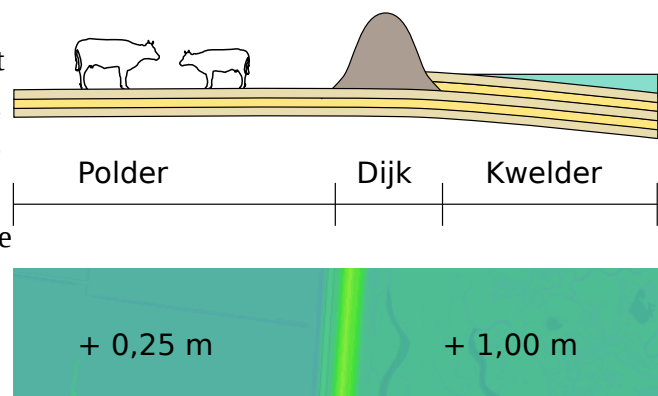
zee beschermde. (Kenniscentrum landschap, 2015)

Ondertussen zijn die eerste zeedijkjes uitgegroeid tot forse verdedigingswerken die de oude ingesloten strandvlakte en grote delen van voormalige kwelders beschermen tegen de zee. Uit die systeemonderdelen is een polder ontstaan. In de kern is een polder een gebied waarvan de in- en afvoer van water kunstmatig geregeld wordt (Van Dale, 2015). Meestal betekent dat dat water van buiten de polder, in dit geval de Waddenzee, gekeerd wordt en water van binnen op zo'n wijze geloosd wordt dat er intern een 'optimaal waterpeil' in stand gehouden kan worden. Naast bescherming die de zeedijk biedt, biedt de achterliggende polder ook ruimte voor bijvoorbeeld landbouw.

Als systeem beschouwt bezit een polder compleet andere systeemeigenschappen dan die van een ingesloten strandvlakte of kwelder. Een open systeem dat vrijelijk sediment kan uitwisselen is door inpoldering veranderd in een gesloten systeem dat het belangrijkste medium voor sedimenttransport, water, buiten de deur houdt. De polder kent hierdoor uiteraard een slechte connectiviteit. Binnen een polder is er amper sprake van processen van sedimentatie en erosie waardoor er ook van woeligheid geen sprake is (BügelHajema, 2016).

Die systeemeigenschappen leiden volgen het theoretisch kader tot een systeem dat door zowel behulpzame als onbehulpzame obstakels ingekaderd wordt. De geslotenheid die de aanwezigheid van een zeedijk opwekt, zorgt ervoor dat het "poldersysteem" niet makkelijk naar een minder functionele positie bewegen kan. Het gebrek aan eigenschappen als connectiviteit en woeligheid zorgen echter ook voor een groot onbehulpzaam obstakel. Het poldersysteem zal nooit uit zichzelf naar een functionelere positie bewegen kunnen. Ten opzichte van de zeespiegel komen de polders steeds lager te liggen (BügelHajema, 2016).

Het effect van de zeedijk is op de Waddeneilanden al zichtbaar. Op figuur 39 wordt een stukje hoogtekartaat weergegeven van de zeedijk ter hoogte van het kweldergebied de Schorren op Texel. Zichtbaar is hoe het maaiveld in de polder zo'n 0,75 meter lager ligt dan het maaiveld van de buitendijkse kwelder. Sinds de inpoldering is er in de polder geen nieuw sediment meer afgezet, sinds de aanleg van de zeedijk is de polder in dezelfde evenwichtssituatie gebleven.



Figuur 39: Hoogteverschil tussen polder en kwelder. Data uit de AHN.

#### 4.7.4 De aanleg van stuifdijken

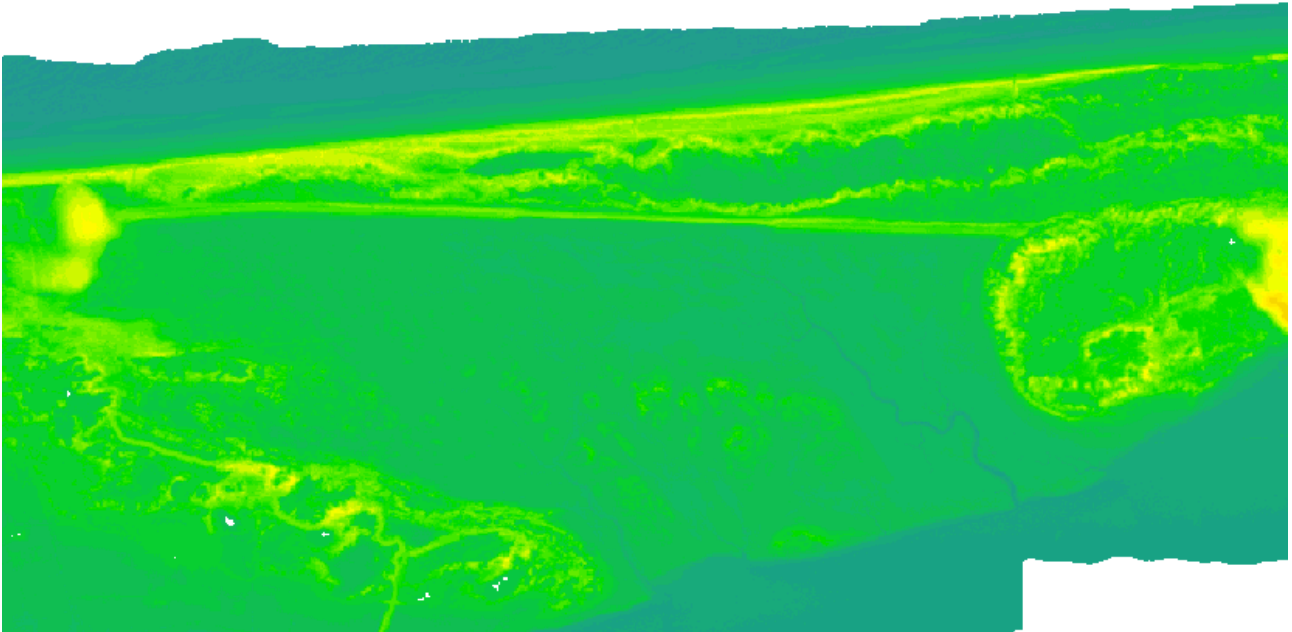
Volgens het Tij Geleerd (2008) werden in de 17<sup>e</sup> eeuw op Texel de eerste stuifdijken aangelegd. Die van Schiermonnikoog werd vanaf 1959 aangelegd (BügelHajema, 2016). Stuifdijken zijn opgestoven landschapsvormen en komen daarin overeen met de duinbogen. In tegenstelling tot de duinbogen zijn de stuifdijken echter onnatuurlijke door de mens aangebrachte elementen in het landschap. Het doel van de aanleg van de stuifdijken was het sluiten van de complete Noordzeekust. Ze werden aangelegd op de op de gaten tussen de duinboogcomplexen en

andere verspreid liggende duingebiedjes, openingen die eerder als overslaggrond functioneerden. Aan hun aanleg lag voornamelijk een veiligheidsaspect aan ten grondslag, er bestond onder andere de angst dat de eilanden ter plaatse van de overslaggronden door zouden kunnen breken (Het Tij Geleerd, 2008). Er was ook de wens om een groter deel van de eilanden en uiteindelijk de hele Waddenzee economisch productiever te maken. Een gesloten kustlijn op de eilanden is de eerste stap op het pad naar het compleet sluiten van het hele Waddengebied (Marijnissen, 2012; Vroege Vogels, 2014; Waddenvereniging, 2016).

Om stuifdijken aan te leggen werd er langs het gekozen tracé helmgras aangeplant of werden er andere zandvangende materialen geplaatst. Door interactie met de wind stuift er langs dat tracé na verloop van tijd een kaarsrechte duinenrij op (Vroege Vogels, 2014). Zodra het begin was gemaakt kon het hard gaan: tussen 1943 en 2012 groeide de stuifdijk op Terschelling volgens de Marijnissen (2012) van een oorspronkelijke hoogte van 10 meter uit tot een duinenrij met toppen van wel 26 meter hoog. Door natuurlijke processen te gebruiken (of misbruiken) bij de aanleg van de stuifdijken werd er veel werk bespaard. De doelstelling om de Noordzeekust van de eilanden te sluiten is dankzij de stuifdijken succesvol behaald. De achterliggende motivaties voor die sluiting raakten echter al heel snel achterhaald: de Waddenzee is niet ingepolderd, de kwelders achter de stuifdijk zijn nooit voor noemenswaardige economische activiteiten ingezet en volgens het Tij Geleerd (2008) blijkt uit onderzoek het gevaar van doormiddenbrekende eilanden helemaal niet bestaat.

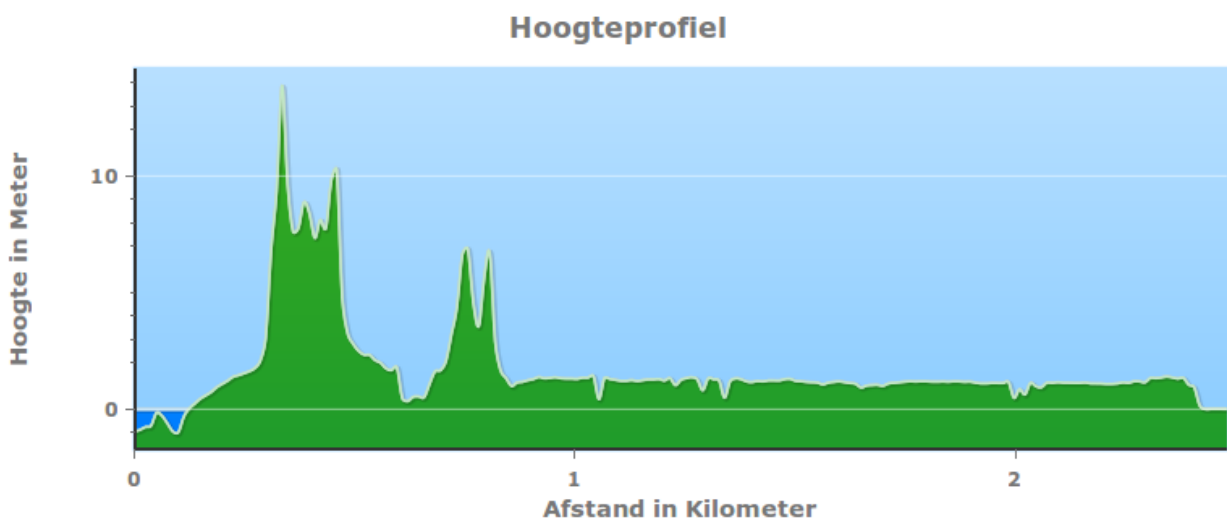
De stuifdijken baten dus niet, maar ze schaden zeker wel (Grootjans, 2014). Ze hebben namelijk de overslaggronden buiten werking gesteld. In het modeleiland speelden deze overslaggronden een grote rol bij sedimentuitwisseling, ze laten immers water toe tot de centralere delen van het eiland. Via water kan veel meer sediment vervoert worden dan via de wind. Overslaggronden spelen een kritische rol in het op peil houden van zowel de hoogte als breedte van barrière-eilanden (Riggs, 2011).

Door de aanwezigheid van de stuifdijken hebben de achterliggende overslagvlaktes en kwelders een slechtere connectiviteit en zijn ze minder open en woelig. Sediment kan deze plekken alleen nog via de Waddenzee en de kwelders bereiken, een route met veel minder capaciteit. In het ergste geval kan dat gebrek aan sediment er voor zorgen dat delen van het eiland achter de stuifdijk voor altijd onder water komen te staan (Grootjans, 2014). Water uit de Noordzee komt de stuifdijken niet door. De kracht waarmee dat vroeger wel gebeurde maakte de kwelders zeer woelig. De achterliggende kwelders zijn na de aanleg van stuifdijken statisch geworden. Dat is volgens Marijnissen (2012) onder andere te zien aan de verminderende kwaliteit van de daar aanwezige vegetatie: die gedijt het best bij de aanwezigheid van veel dynamiek. De invloed van de stuifdijken op de systeemeigenschappen van verschillende onderdelen doen vermoeden dat zij een grote bijdrage aan de hoogte van het onbehulpzame obstakel zullen leveren. En dat terwijl ze, in tegenstelling tot de zeedijk, voor de mens weinig aanwijsbaar nut opleveren (Grootjans, 2014).



*Figuur 40: Hoogtekaart van de Oederstuifdijk op Ameland. Te zien is hoe twee 'natuurlijke' hoogtes via een kaarsrechte dijk met elkaar verbonden zijn. Data uit de AHN.*

Op Waddeneilanden zijn de stuifdijken makkelijk aan te wijzen en zijn hun effecten al zichtbaar. De barrièrewerking van een stuifdijk is in figuur 40 duidelijk te zien. Op de Noordzeekust ligt een flinke voorraad sediment die ook gedeeltelijk het eiland opgestoven is. De stuifdijk vormt voor dat sediment echter een onneembare horde, de kwelder heeft het sediment tot nu toe niet kunnen bereiken. Alleen sediment dat via de Waddenzee de kwelder binnenkomt kan nog bijdragen aan sedimentatie. Een dwarsdoorsnede van de hoogtekaart is zichtbaar in figuur 41. De kwelder achter de stuifdijk verloopt vlak. Er lijkt in dit specifieke geval nog geen sprake van een grote sedimentatieachterstand. Om een echt verband tussen de stuifdijken en de morfologie van de kwelders aan te tonen zou extra onderzoek nodig zijn.



*Figuur 41: Hoogteprofiel van Noordzee tot Waddenzee ter hoogte van de Oederstuifdijk. Data uit de AHN.*

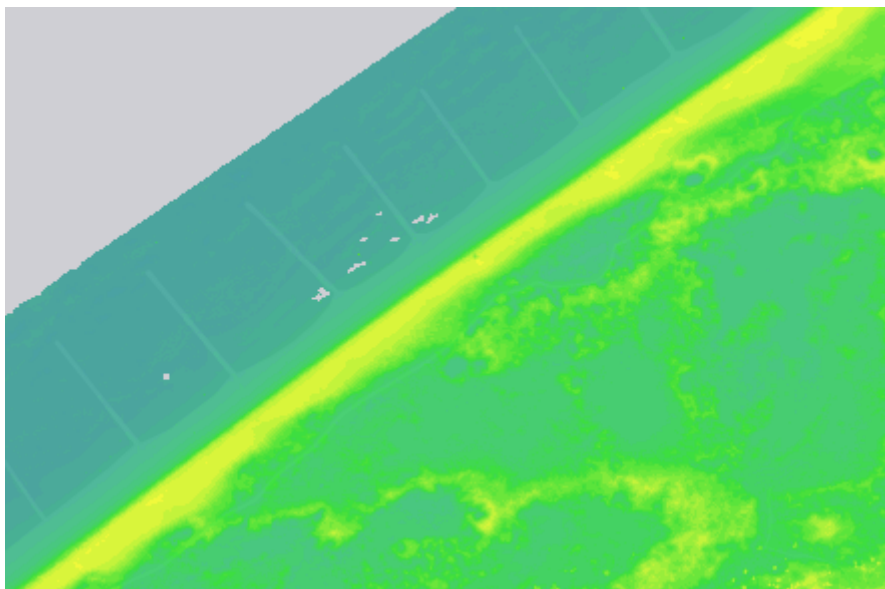


#### 4.7.5 Het versterken van de zeereep

Op de hoogtekkaart uit figuur 40 en het profiel uit figuur 41 is zichtbaar dat er niet van één maar van twee barrières sprake is. Naast de zuidelijk gelegen stuifdijk is er ook langs de zeereep sprake van een kaarsrechte en gesloten duinenrij, die eveneens door mensen is aangelegd. Die vorm van kustverdediging is langs grote delen van de Noordzeekust van de Nederlandse Waddeneilanden zichtbaar en houdt verband met de “basiskustlijn” (Arens et al., 2007). Soms is stuifdijk tegelijkertijd de zeereep, soms zijn het losse structuren.

In 1990 heeft de overheid, na een periode waarin sprake was van flink wat afslag, besloten de toen toenmalige kustlijn te handhaven (Arens et al., 2007). Om te kunnen bepalen wanneer tot handhaven over dient te worden gaan is per wet een zogenaamde basiskustlijn vastgelegd. Deze imaginaire lijn is in 1992 voor het eerst vastgesteld, later in zowel 2001 als 2012 herzien en ook op de Waddeneilanden van toepassing. Wettelijk gezien mag de werkelijke kustlijn niet landinwaarts van de basiskustlijn komen te liggen (Rijkswaterstaat 2014; Rijkswaterstaat 2015; CPSL 2005; Grootjans 2014). Vroeger werden er harde kunstwerken toegepast en vonden er versterkingen met zand ter plaatse van het van het strand en zeereep plaats. Tegenwoordig is de belangrijkste methode om de basiskustlijn te behouden zandsuppletie (CPSL 2010; Vroege Vogels 2014).

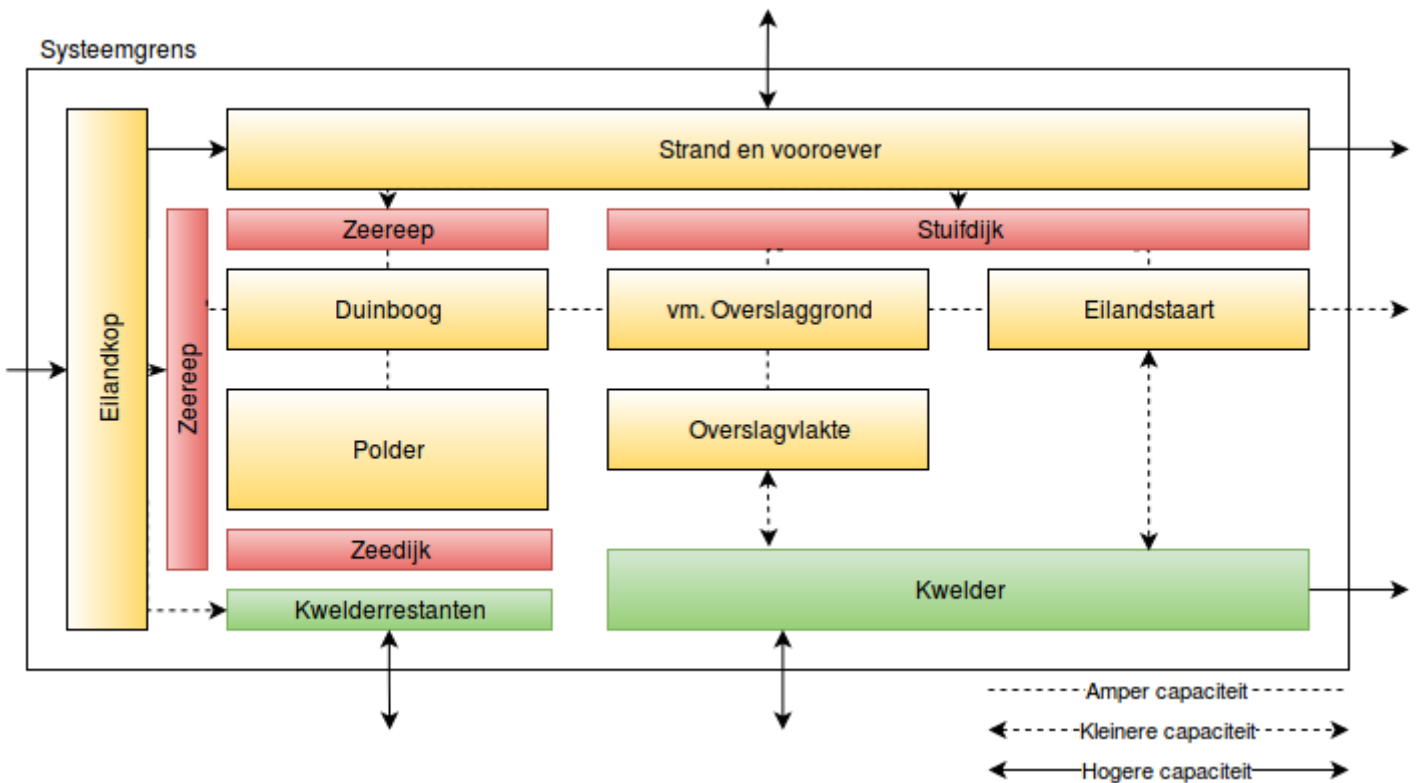
Om de kustlijn op zijn plek te houden werd op de Waddeneilanden de zeereep op éénzelfde wijze versterkt als hoe de stuifdijken zijn aangelegd: door zand uit de wind te vangen, bijvoorbeeld door het planten van helmgras of het plaatsen van stuifschermen (Arens et al., 2007). Maatregelen die overigens al lang voor het instellen van de basiskustlijn ook al genomen werden. Na de komst van zandsuppletie is de rol van de zeereep als primaire waterkering afgenomen (Arens et al., 2007). De gesloten zeerepen die toen al waren ontstaan zijn op veel Waddeneilanden nog altijd te herkennen.



*Figuur 42: De versterkte zeereep is op een hoogtekkaart, van in dit geval Vlieland, zichtbaar als een hoger gelegen lijnelement. Data uit de AHN.*

De aanwezigheid van de versterkte zeereep zorgt ervoor dat sediment dat op het strand afgezet wordt niet verder het eiland opkomen kan. De achterliggende onderdelen zijn daardoor, vanuit sedimentuitwisseling gezien, minder open en slechter verbonden. Omdat ze meer beschermd liggen zijn ze ook minder woelig. De barrièrewerking van de versterkte zeereep op de hoogtekaart op figuur 42 goed zichtbaar. De zeereep draagt gezien de veroorzaakte systeemeigenschappen bij aan het onbehulpzame obstakel.

#### 4.7.6 Een bijgewerkt waddeneilandsysteem



*Figuur 43: Het moderne waddeneilandsysteem dat aansluit bij de huidige Nederlandse Waddeneilanden. In het rood de onderdelen die nieuwe zijn ten opzichte van het modelwaddeneilandsysteem.*

De drie in dit hoofdstuk besproken abstracte ingrepen hebben, ten opzichte van het modelwaddeneilandsysteem, tot nieuwe systeemonderdelen geleid en bestaande systeemonderdelen beïnvloed. Ze waren de aanleg van de zeedijk, de versterkte zeereep en de stuifdijk. Samen leiden ze tot een nieuwe variant op het waddeneilandsysteem: het moderne waddeneilandsysteem. Dit waddeneilandsysteem wordt weergegeven in figuur 43. In het rood worden de 3 nieuwe typen systeemonderdelen weergegeven. Het is duidelijk dat de nieuwe onnatuurlijke systeemonderdelen veel routes van sedimentuitwisseling blokkeren. Sommige routes worden niet direct maar indirect geblokkeerd. Tussen de duinboog en de voormalige ingesloten strandvlakte is in theorie nog uitwisseling mogelijk maar doordat de duinboog veel statischer geworden is, zal deze niet snel sediment loslaten in het medium dat het naar de polder brengen kan.



#### 4.7.7 Systeemeigenschappen

Net als bij het modelwaddeneilandsysteem zullen nu de systeemeigenschappen van het moderne waddeneilandsysteem besproken worden. Hoe staat het met de openheid, diversiteit connectiviteit en woeligheid van dit systeem?

Er is nog steeds wel sprake van een open systeem maar in vergelijking met het modelwaddeneilandsysteem wel in veel mindere mate. Vooral de polder is vanuit sedimentuitwisseling bekeken eerder aan te merken als een gesloten dan een open systeem. Vanuit de Waddenzee komt geen sediment meer binnen en uitwisseling met de duinbogen is vooral theoretisch, zeker omdat die ook zelf door obstakels ingekaderd worden. Ter hoogte van de het (voormalige) overslagcomplex en de de eilandstaart kan de omgeving nog wel het systeem binnentreden maar op minder manieren dan eerst. De zee kon op het modeleiland via de overslaggronden het eiland nog op semi-regelmatige basis het eiland overspoelen. Datzelfde zal via Waddenzee en de kwelders alleen tijdens heel bijzondere hoogwatersituaties gebeuren. Hiermee zijn onder andere de kwelders en de overslagvlakte even open geworden als de ingesloten strandvlakte in het modelwaddeneilandsysteem dat was. De ingesloten strandvlakte was nou juist het minst open onderdeel van dat hele systeem. De qua openheid beste onderdelen in het moderne waddeneilandsysteem staan gelijk aan het onderdeel dat het in het modelwaddeneiland voor die eigenschap het slechtst scoorde.

Voor de eigenschap connectiviteit is tevens een duidelijke achteruitgang zichtbaar. Voor de polder is van connectiviteit überhaupt amper sprake. Op de stranden kan nog altijd sediment worden afgezet, maar deze kan moeilijk door de rest van het systeem bewegen. Een situatie als in figuur 40 is daar een duidelijk voorbeeld van, sediment botst daar tegen een stuifdijk op en kan niet verder. De overslagvlakte en het strand liggen hemelsbreed dicht bij elkaar, maar functioneel gezien zijn ze compleet gescheiden. Van de onderdelen die nog wel met elkaar verbonden zijn is de capaciteit van die verbindingen vaak vele malen lager dan die van het modelwaddeneilandsysteem. De delen van het eiland achter de stuifdijk kunnen voor sediment alleen nog via de Waddenzee en de kwelderkerken bereikt worden. De hoeveelheid sediment die via de route uitgewisseld kan worden is een schijntje in vergelijking met de hoeveelheid sediment die over overslaggronden verplaatst kon worden.

In samenhang met de geslotenheid en slechte connectiviteit loopt ook woeligheid een knauw op. In een sedimentuitwisselend systeem hangt woeligheid met die beide eigenschappen samen. Omdat veel systeemonderdelen geslotener zijn, worden de mogelijkheden tot de uitwisseling sediment beperkt. Binnen de systeemonderdelen zijn minder heftige processen van erosie en sedimentatie. In het modelwaddeneilandsysteem worden meters sediment afgezet op overslagvlaktes en kunnen hele duingebieden in een storm wegslaan. In vergelijking daarmee lijkt het moderne waddeneilandsysteem maar een beetje voort te kabbelen.

De polder neemt ook voor de systeemeigenschap woeligheid weer een flink afwijkende positie in. De langste vervangingstijd voor een systeemonderdeel van het modelwaddeneiland was 100 jaar. De kans dat de zeedijken die de polders van de Waddeneilanden beschermen bezwijken is één keer op honderden, zo niet duizenden jaren (Rijkswaterstaat, 2016). De polders zullen daardoor

een uitzonderlijk hogere vervangingstijd kennen dan de 'natuurlijke' systeemonderdelen: van woeligheid is dan geen sprake meer.

Diversiteit was in het modelwaddeneilandsysteem lastig te beoordelen. Veel vormen van diversiteit die in dat systeem toch nog gevonden werden zijn in het moderne waddeneilandsysteem helemaal verdwenen. De vraag wat er gebeurt als er een overslaggrond uitvalt is natuurlijk niet van toepassing op een systeem waarin alle overslaggronden al uitgevallen zijn. De slechtere score op de overige systeemonderdelen maakt de kans dat systeemonderdelen doorontwikkelen kleiner. De kans dat het uitvallen van een onderdeel door een ander onderdeel ondervangen wordt is kleiner. Een bijzonder geval is de polder: als de zeedijk breekt en de polder uitvalt zal er nooit, vanuit het systeem zelf gezien, een alternatief tot ontwikkeling komen. Uitvallen van de polder is dan definitief.

Op basis van bovenstaande verhaal is zijn alle onderdelen van het moderne waddeneilandsysteem gescoord op basis van het beoordelingskader, het resultaat daarvan is zichtbaar in tabel 15.

Eigenschap	Openheid	Connectiviteit	Woeligheid	Diversiteit
Eilandkop	++	+	+	0
Strand	++	++	++	+
Duinboog	-	-	0	0
Polder	--	--	--	--
Overslaggrond	0	--	-	0
Overslagvlakte	0	0	-	0
Eilandstaart	+	0	-	0
Kwelder	+	+	+	0
<b>Totaal</b>	0	0	0	0

Tabel 15: Systeemeigenschappen van het moderne waddeneilandsysteem

## 4.8 Moderne Duitse Waddeneilanden

### 4.8.1 Introductie

Zoals eerder genoemd komen systemen van barrière-eilanden en zeegaten over de hele wereld voor. Sterker nog: de waddeneilandketen die met Texel begint loopt in Duitsland gewoon verder. Voor dit onderzoek is het interessant te verkennen of deze eilanden anders ingericht zijn en zodoende een extra variant van het waddeneilandsysteem kunnen vormen. Voor zowel de Nederlandse als de Duitse Waddeneilanden geldt dat geen eiland hetzelfde is. De Duitse eilanden die het meest op de Nederlandse lijken, zijn de Oost-Friese Waddeneilanden. Die beginnen direct over de grens met Borkum beginnen en zijn verder van oost naar west: Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog, Spiekeroog en Wangerooge. Dit hoofdstuk zal zich richten op het eiland Spiekeroog, volgens Grootjans (2014) valt dat eiland namelijk op door de door dat eiland genomen bewuste keuze zo min mogelijk in te grijpen. Zolang de bevolkingskern geen gevaar loopt, mogen alle natuurlijke processen hun gang gaan. Een vergelijking tussen de Nederlandse Waddeneilanden en Spiekeroog zorgt dan ook voor het interessantste contrast.

### 4.8.2 Spiekeroog



*Figuur 44: Het Oost-Friese waddeneiland Spiekeroog. In het rood de bevolkingskern en in het oranje de zeedijk. Beeldmateriaal uit Bing © Microsoft 2015*

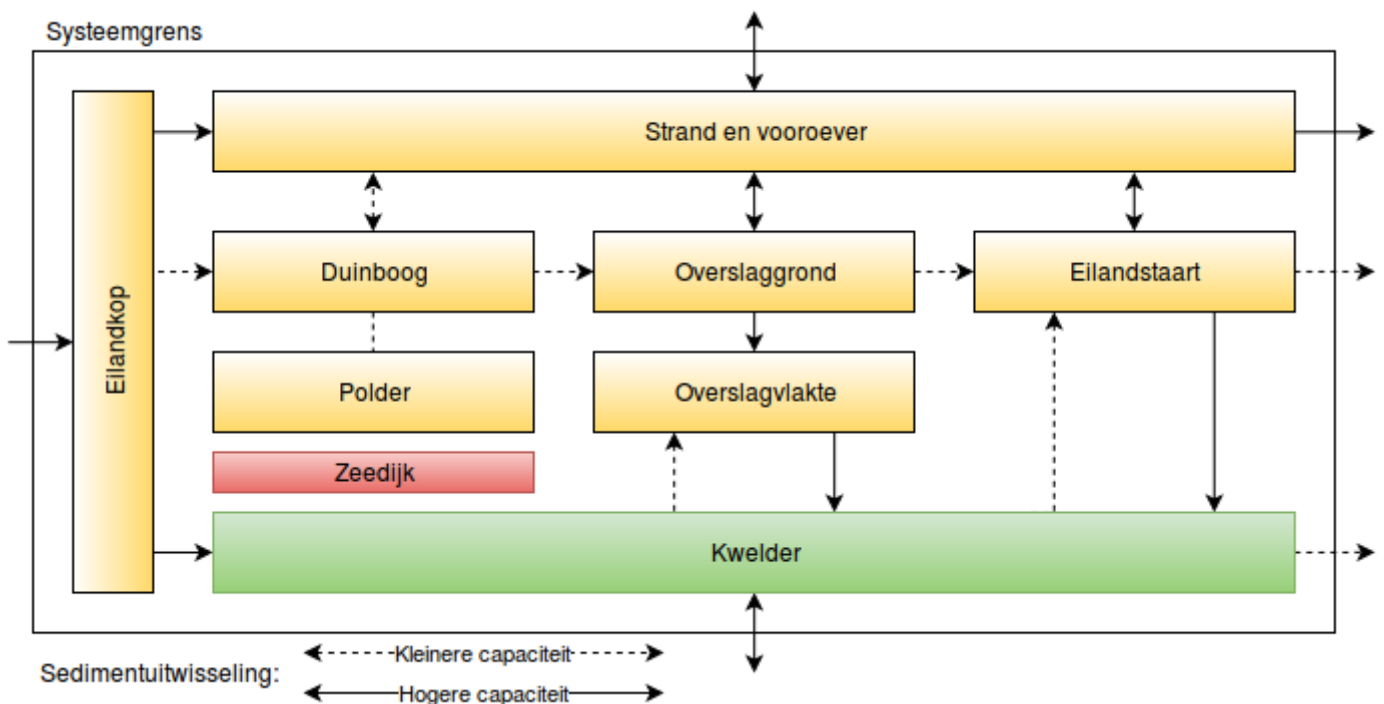
Omdat de amplitude van het getij ter hoogte van de de Oost-Friese Waddeneilanden hoger is dan ter plaatse van de Nederlandse zijn alle Oost-Friese Waddeneilanden, waaronder Spiekeroog, korter dan Schiermonnikoog. Desondanks zijn op een luchtfoto, zoals die op figuur 44, alle elementen zichtbaar die volgens het modelwaddeneiland op een echt waddeneiland verwacht worden mogen. Spiekeroog kent één duinboog, in het westen is die enigszins afgekalfd. In het oosten krult de duinboog naar binnen waardoor er daadwerkelijk sprake is van een duidelijke boogvorm. Naast de duinboog bevindt zich een overslagcomplex, de kale zandvlaktes van het strand reiken ver het eiland op.

Het enige dorp van het eiland ligt in de beschutting van de duinboog op de locatie van de

vroegere ingesloten strandvlakte. Aan de zuidkant wordt dit dorp beschermt door een korte dijk die tot aan de veerhaven reikt, maar verder de kwelders grotendeels onaangetast laat. Een klein gedeelte van de westelijke kop wordt beschermd met harde kunstwerken, dat lijkt in tegenspraak met het beleid om zo min mogelijk in te grijpen. Er lijkt vanuit de ebdelta een zandplaat naar de eilandkop onderweg die in de toekomst de kunstwerken wellicht overbodig zal maken.

De overgang tussen het strand en de duinboog is aardig abrupt, in hoeverre er sprake is van een versterkte zeereep is op basis van een luchtfoto moeilijk te beoordelen. Van een aparte structuur die tegen de duinboog aanligt (zoals op Schiermonnikoog) lijkt geen sprake te zijn. Wat wel duidelijk verschilt is dat er op de luchtfoto van Spiekeroog geen spoor van een stuifdijk is. Achter het duinboogcomplex is de zee vrij ver het eiland op te stromen en aan de de vorm van het strand te zien gebeurt dat ook. Hierdoor ziet de eilandstaart er vanuit een Nederlands perspectief vreemd uit. Er lijken geen barrières te zijn die de overslagfunctionaliteit onmogelijk maken.

### 4.8.3 Het Duitse waddeneilandsysteem



Figuur 45: Het Duitse waddeneilandsysteem

Het Duitse waddeneilandsysteem houdt het midden tussen het modelwaddeneilandsysteem en het moderne waddeneilandsysteem en wordt weergegeven in figuur 45. Ten opzichte van het modelwaddeneilandsysteem is de grootste afwijking de aanwezigheid van een zeedijk die de voormalige ingesloten strandvlakte scheidt van de kwelder. De kwelder zelf is grotendeels onaangetast en staat nog volledig open voor de Waddenzee. De duinboog is iets minder goed verbonden. Overige onderdelen staan er hetzelfde voor als in het modelwaddeneiland: het overslagcomplex wordt niet gehinderd en kan een rol blijven spelen in het uitwisselen van grote hoeveelheden sediment.

#### 4.8.4 Systemeigenschappen

Op het gebied van openheid, diversiteit, woeligheid en connectiviteit wijkt het Duitse waddeneilandsysteem maar op een paar punten af van die van het modelwaddeneilandsysteem. De ingesloten strandvlakte ligt door de aanwezigheid van een zeedijk geïsoleerder en is daardoor minder open, verbonden, woelig en divers. Net als de polder uit het moderne waddeneilandsysteem, maar dan op een kleinere schaal. Hetzelfde geldt in mindere mate voor de duinbogen, van een keiharde grens is geen sprake maar de aanwezigheid van bebouwing nabij het strand maakt dat er zeker woelighedsverminderde maatregelen gepleegd worden.

Net als voor de andere systemen zijn de eigenschappen van het Duitse waddeneilandsysteem beoordeeld volgens het beoordelingskader, de resultaten daarvan worden in tabel 16 weergegeven.

Eigenschap	Openheid	Connectiviteit	Woeligheid	Diversiteit
Eilandkop	++	+	+	0
Strand	++	++	++	+
Duinboog	0	-	0	+
Polder	--	--	--	--
Overslaggrond	+	+	+	+
Overslagvlakte	+	+	0	0
Eilandstaart	++	+	++	0
Kwelder	+	++	+	0
<b>Totaal</b>	+	+	+	0

Tabel 16: Systemeigenschappen van het Duitse waddeneilandsysteem

## 5 Synthese

### 5.1 Introductie

In het vorige hoofdstuk zijn de ingrediënten verzameld die volgens de methode nodig zijn om een weerbaarheidstrap op te zetten. Met die weerbaarheidstrap is het volgens het theoretisch kader en het conceptueel model in het bijzonder, mogelijk de weerbaarheid van de Waddeneilanden te ontleden. Er zijn met behulp van systeemdenken drie waddeneilandsystemen opgezet. Van die systemen zijn vervolgens vier eigenschappen beoordeeld: openheid, connectiviteit, woeligheid en diversiteit. Tevens is een functionaliteitsdefinitie bepaald en is bekend hoe de omgeving van de waddeneilandsystemen zullen veranderen. In dit hoofdstuk worden al die elementen samengebracht met de theorieën uit het theoretisch kader: de synthese

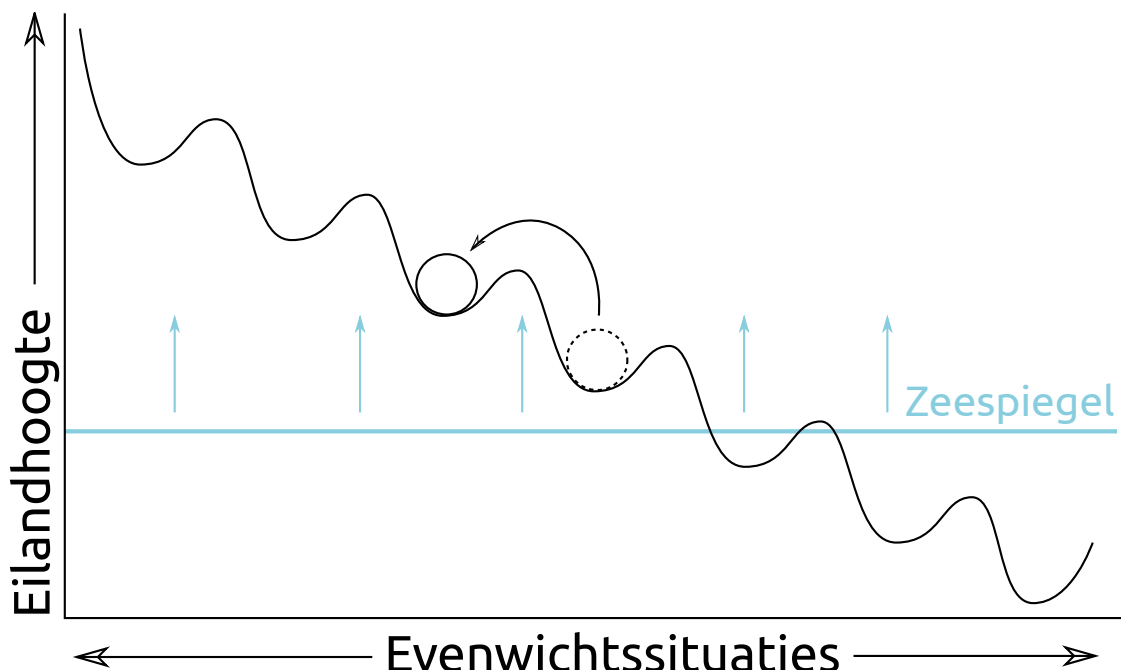
Er wordt in dit hoofdstuk een weerbaarheidstrap opgezet die specifiek toegespitst is op de Waddeneilanden. Met behulp van de systeemeigenschappen zal voor elk van de drie systemen een onbehulpzaam obstakel “berekend” worden. Het zal niet mogelijk worden op basis van die obstakels absolute uitspraken te doen maar de drie systemen kunnen wel met elkaar vergeleken worden. Het doel is ruimtelijke verschillen te koppelen aan de hoogte van de verschillende onbehulpzame obstakels. Via die obstakels zijn de ruimtelijke verschillen aan verschillen in weerbaarheid te linken. Dat maakt het mogelijk om te bepalen of ruimtelijke maatregelen door kunnen werken in weerbaarheid en welke maatregelen dat op een positieve manier doen.

## 5.2 Weerbaarheidstrap

### 5.2.1 Omgeving en functionaliteit

De eerste onderdelen van de weerbaarheidstrap zijn de functionaliteitsdefinitie en systeemomgeving. De functionaliteit is in eerder vastgesteld op “de gemiddelde hoogte van het eiland ten opzichte van de zeespiegel”. De omgeving van een waddeneilandsysteem bestaat uit het Waddengebied en de daarbovenliggende systemen. De omgeving van het waddeneiland is dynamisch: de zeespiegel stijgt namelijk. De stijging van de zeespiegel zal naar verwachting in de toekomst versnellen waardoor de mate van dynamiek alleen maar toe zal nemen. Voor het gemak gaat dit onderzoek er vanuit dat die omgeving op de zeespiegelstijging na compleet statisch is.

De combinatie van de functionaliteitsdefinitie en zeespiegelstijging maakt dat alle evenwichtssituaties continu functionaliteit verliezen. Als de zeespiegel met 20cm stijgt, daalt de gemiddelde hoogte van het waddeneilandsysteem met 20cm. Het waddeneilandsysteem is dan “20cm minder functioneel”. Alleen als een waddeneilandsysteem evenveel aangroeit als de zeespiegel stijgt blijft de functionaliteit van dat waddeneilandsysteem gelijk. Zo’n wetmatigheid werd in figuur 18 van het theoretisch kader al gevisualiseerd.



Figuur 46: De weerbaarheidstrap voor een waddeneilandsysteem

Een op het waddeneilandsysteem gerichte weerbaarheidstrap wordt weergegeven in figuur 46. Die weerbaarheidstrap laat zien dat de omgeving verandert door een stijgende zeespiegel lijn te gebruiken, in figuren 17 en 18 werd dat gedaan door de omgevingslijn zelf naar beneden te laten rollen. Beide technieken komen op hetzelfde neer, maar een stijgende zeespiegel lijn past thematisch nog beter bij dit onderzoek. Voor het systeem blijft de boodschap hetzelfde: beweeg of verlies functionaliteit. Binnen een dynamische omgeving is weerbaarheid verkrijgen door verzet onmogelijk, moeite doen om een evenwichtssituatie te behouden die minder functioneel wordt

draagt niet bij aan het behoud van systeemfunctie. Dit is ook voor de Waddeneilanden van toepassing.

## 5.2.2 Behulpzaamheid ecologische weerbaarheid

Of ecologische weerbaarheid in zijn geheel behulpzaam of onbehelpzaam is hangt af van de relatieve functionaliteit van het systeem in kwestie. Bevindt een systeem zich hoog op de weerbaarheidstrap, in evenwichtssituatie met een goed functioneren, dan is weerbaarheid in alle gevallen behulpzaam. Staat het systeem echter op het punt kopje onder te gaan, dan is weerbaarheid onbehelpzaam. Weerbaarheid ontnemt in zo'n geval het systeem de kans uit die slechte evenwichtssituatie te komen.

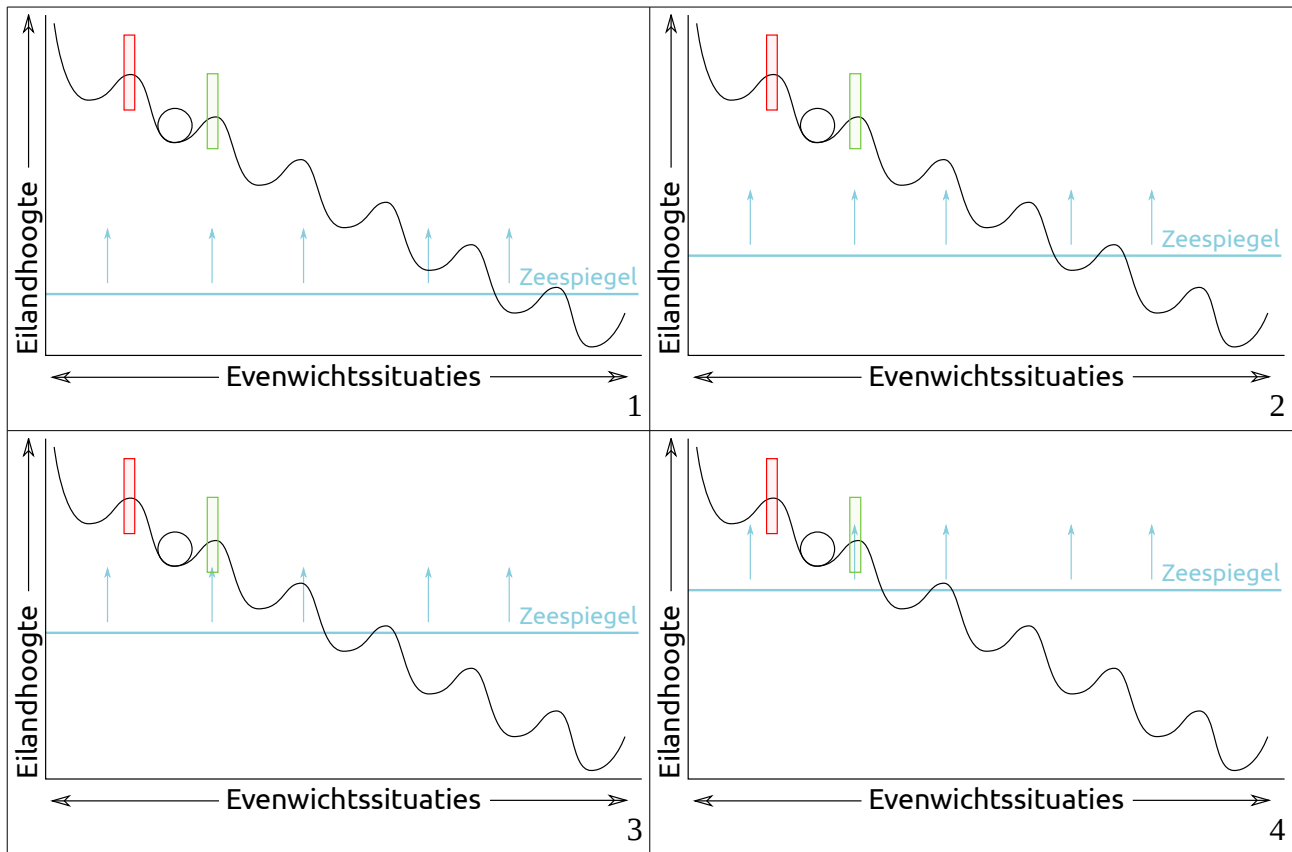
Omdat de functionaliteitsdefinitie in dit onderzoek geen ultiem functionerende evenwichtssituatie mogelijk maakt kan er niet in absolute zin een uitspraak over de behulpzaamheid van weerbaarheid in het algemeen gemaakt worden. Aangezien het waddeneilandsysteem zich binnen een dynamische omgeving bevindt is behulpzame weerbaarheid hoe dan ook beperkt houdbaar. Als een systeem zich in een goed functionerende positie bevindt, is het aantrekkelijk om in te zetten op het behoud van die evenwichtssituatie. De functionaliteit van die evenwichtspositie is door de dynamische omgeving echter aan slijtage onderhevig. Langzaam wordt de afstand tussen het systeem en de meest functionele positie groter en neemt de behulpzaamheid van weerbaarheid af.

De geschiedenis van het moderne waddeneilandsysteem vertelt een verhaal dat goed aansluit bij de vorige paragraaf. Toen de mens de Waddeneilanden 'aantrof' waren die in 'evenwicht' met hun omgeving. De eilanden hadden er al toen eeuwen aan zeespiegelstijging op zitten. Om die toenmalige goede functionaliteit te behouden werd er vanuit een abstracte visie (top-down) ingegrepen op het waddeneilandsysteem. Om de kwelders voor erosie te behouden en een betrouwbare omgeving voor landbouw te creëren werden ze ingepolderd, om zogenaamd te voorkomen dat het eiland doormidden breken zou worden er stuifdijken aangelegd en om de kustlijn op zijn plek te houden werd de complete zeereep versterkt. Die ingrepen lijken bedoelt om het eiland te 'helpen' maar ontnemen door hun effecten op de systeemeigenschappen het systeem de mogelijkheid om te veranderen.

Het moderne waddeneilandsysteem is ontstaan om een goed functionerend natuurlijk waddeneiland te behouden, maar door de zeespiegelstijging nemen de abstracte ingrepen het moderne waddeneilandsysteem uiteindelijk mee ten onder. Zo heeft ruimtelijke beleid uit het verleden uiteindelijk een averechts effect. In de polders is het effect van dit proces al zichtbaar, die hebben een maaiveldhoogte die in de tijd dat de zeedijken aangelegd werden een goed functionerend evenwicht vertegenwoordigde. Nu, vele decennia later, is zichtbaar dat dat de polders ten opzichte van de kwelders achterblijven. Sedimentuitwisseling die de maaiveldhoogte kan verhogen, vindt niet plaats. Hoe een door ecologische weerbaarheid ingekaderd systeem in de problemen komt is zichtbaar in figuur 47. In situatie 1 is de zeespiegel ver weg en is lijkt behulpzaam het waddeneilandsysteem daar te houden. Zodra de zeespiegel stijgt wordt weerbaarheid steeds minder behulpzaam. In situatie 4 is weerbaarheid compleet onbehelpzaam geworden: als het waddeneilandsysteem niet maakt dat hij weg komt zal het onder water



verdwijnen. Het moderne waddeneilandsysteem is momenteel met zo'n gang omlaag bezig. Bovenaan de trap is op verzet ingezet en heeft de mens verzekerd dat het waddeneilandsysteem geen enkele stap omlaag zou zetten. Waar men geen rekening mee hield is dat er sprake van een roltrap was en het hele systeem nu langzaam naar beneden meegevoerd wordt. Als er geen stappen gezet worden: tot onder de zeespiegel.



*Figuur 47: Binnen een dynamische omgeving is de behulpzaamheid van weerbaarheid maar relatief. Het onbehulpzame en behulpzame obstakel worden in het rood en groen weergegeven.*

### 5.2.3 Gevallen van behulpzame en onbehulpzame obstakels

Wat nu nog overblijft zijn de behulpzame en onbehulpzame obstakels. Volgens het theoretisch kader is een systeem binnen een dynamische omgeving weerbaar als het onbehulpzame obstakel laag is. Alleen dan kan een systeem omhoog springen op de wijze van figuur 18. Hoe groot het onbehulpzame obstakel is hangt af van de systeemeigenschappen van het systeem in kwestie. Eigenschappen die het obstakel af doen nemen zijn volgens het conceptuele model openheid, woeligheid, connectiviteit en potentieel diversiteit. Een gebrek aan die eigenschappen zorgt juist voor een groter onbehulpzaam obstakel.

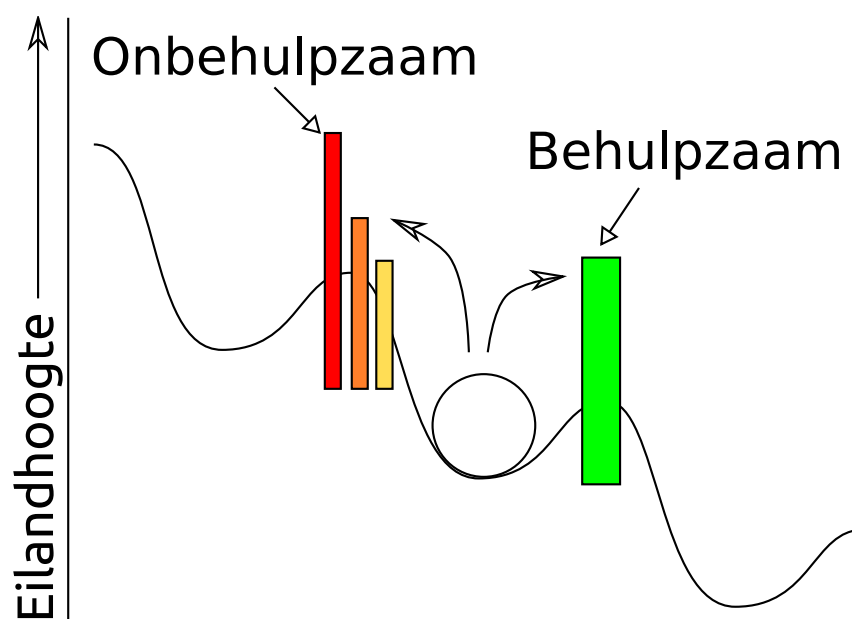
Van de drie systemen die in de afgelopen hoofdstukken bekeken zijn, zijn de systeemeigenschappen bepaald en tevens gescoord op basis van het beoordelingskader. Omdat de obstakels, met behulp van het theoretisch kader van dit onderzoek, niet berekend kunnen worden, is het niet mogelijk de systemen in absolute zin te vergelijken. Van een onbehulpzaam obstakel kan niet afgeleid worden hoeveel bij hoeveel centimeter zeespiegelstijging die het systeem in de problemen brengen zal.

Van één van de waddeneilandsystemen is wel bekend dat die de capaciteit heeft om met zeespiegelstijging om te gaan: het modelwaddeneilandsysteem. Sinds het ontstaan van de Waddeneilanden is er bijna altijd sprake geweest van zeespiegelstijging. Keer op keer is het modelwaddeneilandsysteem naar een nieuwe evenwichtssituatie gesprongen. De systeemeigenschappen van het modelwaddeneilandsysteem kunnen daarom als drempelwaarde meegenomen worden. Hoe lager het onbehulpzame obstakel hoe beter, maar als het niveau van het modelwaddeneilandsysteem bereikt wordt is dat al heel mooi. Het is namelijk bekend dat systemen met die set eigenschappen met zeespiegelstijging om kunnen gaan. Of dat in absolute zin genoeg is om ook met de voorspelde snellere zeespiegelstijging om te gaan doet dit onderzoek geen uitspraken over. Als dat niet zo mocht zijn is de kans dat de Waddeneilanden op eigen houtje de versnelde zeespiegelstijging overleven kunnen klein.

	Modelwaddeneiland		Modern Waddeneiland		Duits Waddeneiland	
Openheid	+	4,25	o	3,38	+	3,88
Connectiviteit	+	4,00	o	2,88	+	3,63
Woeligheid	+	3,88	o	2,88	+	3,63
Diversiteit	o	3,38	o	2,86	o	3,13
Totaal	+	15,51	o	12,00	+	14,27

Tabel 17: Beoordeling systeemeigenschappen van de drie systemen

In tabel 17 worden de scores van de drie waddeneilandsystemen op de vier systeemonderdelen samengevat. Omdat de scores dicht bij elkaar liggen is ook de getalswaarde van de scores in de tabel opgenomen. Over de vier eigenschappen wijkt het moderne waddeneilandsysteem getalsmatig 3,51 punten af van het modelwaddeneilandsysteem en het Duitse waddeneilandsysteem 1,24 punten.



Figuur 48: De drie onbehulpzame obstakels op de weerbaarheidstrap. Van links naar rechts die van het moderne, Duitse en modelwaddeneilandsysteem.

Het onbehelpzaam obstakel van een systeem is omgekeerd evenredig met de aanwezigheid van de vier eigenschappen. Hoe groter de totale aanwezigheid van de eigenschappen in tabel 17 hoe kleiner het onbehelpzame obstakel. Dat betekent dat het onbehelpzame obstakel van het modelwaddeneiland het laagst is. Dan volgt die van het Duitse waddeneilandsysteem. Nog eens drie keer hoger komt uiteindelijk het obstakel dat bij het moderne waddeneilandsysteem hoort. Hoe ze zich onderling tot elkaar verhouden wordt visueel weergegeven in figuur 48. Daaruit volgt dat de capaciteit van het modelwaddeneilandsysteem om binnen een dynamische functionaliteit te behouden, het hoogst is en dat het Duitse en moderne waddeneilandsysteem op gepaste afstand volgen.

### **5.3 Potentie voor ruimtelijke maatregelen**

Met behulp van alle kennis die is opgedaan over verschillende vormen van het waddeneilandsysteem, systeemeigenschappen en onbehelpzame obstakels kan nu de laatste deelvraag van dit onderzoek beantwoord worden: kunnen ruimtelijke maatregelen bijdragen aan de weerbaarheid van de Waddeneilanden? Ter verduidelijking: het onderwerp van deze onderzoeksvraag zijn de huidige Nederlandse Waddeneilanden, het moderne waddeneilandsysteem.

De ruimtelijke maatregelen moeten dan het fysieke systeem (de realiteit) zo wijzigen dat de vier systeemeigenschappen van het conceptuele model toenemen. Die toename zal vervolgens het onbehelpzame obstakel doen afnemen. Een laag onbehelpzaam obstakel biedt een systeem de capaciteit functioneren te behouden door te veranderen. In het geval van dit onderzoek: het behoud van de gemiddelde hoogte van een waddeneiland ten opzichte van de (stijgende) zeespiegel.

Om ruimtelijke maatregelen te vinden die de gezochte verandering van systeemeigenschappen mogelijk kunnen maken kan gebruik worden gemaakt van de twee andere systemen die in dit onderzoek besproken zijn. Zowel het model- als het Duitse waddeneilandsysteem scoren namelijk beter op de vier systeemeigenschappen. Het is dus niet noodzakelijk van de grond af aan nieuwe ruimtelijke maatregelen te bedenken. Ruimtelijke ingrepen die het moderne waddeneilandsysteem dichterbij het modelwaddeneilandsysteem brengen, zullen de systeemeigenschappen de goede kant op duwen en staan dicht bij de praktijk. Ze brengen het systeem in een staat die bestaat of nu nog over de grens bestaat.

De belangrijkste fysieke verschillen tussen het moderne en het modelwaddeneilandsysteem zijn de systeemonderdelen die het gevolg zijn van de abstracte ingrepen. Het zijn de onderdelen die in de recente geschiedenis van het de Nederlandse Waddeneilanden zijn ontstaan: de zeedijk, de versterkte zeereep en de stuifdijk. De afname van de vier systeemeigenschappen was namelijk aan de aanwezigheid van die systeemonderdelen toe te schrijven. Ter plaatse van de drie systeemonderdelen kunnen ruimtelijke maatregelen de weerbaarheid van de Waddeneilanden versterken, ironisch genoeg door ruimtelijke maatregelen uit het verleden ongedaan te maken. Het slechten van de stuifdijk, de versterkte zeereep en het ontpolderen van de kwelders. Door die maatregelen zal het moderne waddeneilandsysteem weer meer op het modelwaddeneiland lijken en zal het onbehelpzame obstakel dalen.

Het antwoord op de deelvraag is dan ook dat ruimtelijke maatregelen bij kunnen dragen aan de weerbaarheid van de Waddeneilanden tegen de versnelde zeespiegelstijging. Weerbaarheid kan verkregen worden via verzet en verandering. Binnen een dynamische omgeving, waar bij de omgeving van de Waddeneilanden sprake van is door de versnelde zeespiegelstijging, is weerbaarheid vooral door verandering – en dus niet door verzet (alleen) – te verkrijgen. Veranderen kan alleen als de Waddeneilanden daar niet in gehinderd worden. Er zijn drie systeemonderdelen die dat wel doen, daar kunnen ruimtelijke maatregelen een eind aan brengen: weerbaarheidsverhogende ruimtelijke maatregelen.

## 6 Conclusie

### 6.1 Introductie

In het vorige hoofdstuk werd de laatste deelvraag positief beantwoord: er zijn ruimtelijke maatregelen die de weerbaarheid van de Waddeneilanden tegen de versnelde zeespiegelstijging verhogen. Er is dus een relatie tussen de ruimtelijke inrichting van de Waddeneilanden en weerbaarheid. Met behulp van die informatie wordt het mogelijk de hoofdvraag te beantwoorden: *Hoe beïnvloedt de ruimtelijke inrichting van de Waddeneilanden hun weerbaarheid tegen de versnelde zeespiegelstijging?* Om dat te doen zal in dit hoofdstuk de keten van theorieën die ruimte en weerbaarheid aan elkaar koppelt er nogmaals bij worden gehaald. Tevens zullen de resultaten van dit onderzoek in een breder (planologisch) perspectief worden geplaatst.

### 6.2 Systeemdenken

De keten van ruimte naar weerbaarheid begint met het systeemdenken, een benadering waarin complexe objecten worden beschreven als systemen die uit samenhangende onderdelen bestaan. Tijdens het onderzoek bleek dat planningsobjecten met behulp van het systeemdenken, zoals onder andere door Skyttner (2005) gedefinieerd, als systeem te beschrijven zijn. Zo'n systeem vormt een model van de echte wereld en helpt bij het begrijpen van en het ingrijpen op die echte wereld.

Volgens Olsson & Sjöstedt (2004) is systeemdenken een goede manier om complexe onderwerpen behapbaar te maken. Er zijn meerdere manieren om systemen te beschouwen: Skyttner (2005) onderscheidde abstracte en fysieke systemen. Bij het onderzoeken van de relatie tussen ruimte en weerbaarheid is vooral de fysieke beschouwing van toepassing. Die is vooral gericht op het vergaren van kennis en minder op het uitvoeren van doelen. Al is het onderscheid tussen beide typen systemen niet zwart-wit (Ison, 2008).

Systemen zijn onderdeel van een hiërarchie (Ison, 2008); een systeem in zijn geheel kan weer een onderdeel van een bovenliggende laag zijn. De bovenliggende lagen vormen de systeemomgeving. De mate waarin systemen in een hiërarchie elkaar beïnvloeden zegt iets over de openheid van die systemen. De positie van een systeem in een hiërarchie kan volgens Odum & Odum (2000) zowel top-down als bottom-up worden bepaald.

De Waddeneilanden waren met behulp van systeemdenken om te zetten in een systeem van zo'n tien onderdelen. De versnelde zeespiegelstijging is een verandering van de systeemomgeving. Het waddeneilandsysteem vormt een model op basis waarvan de volgende stappen in de keten van ruimte naar weerbaarheid kunnen worden gezet.

### 6.3 Weerbaarheid

Volgens McDaniels et al. (2008) is weerbaarheid in de kern het vermogen van een systeem om functioneren te behouden. Functiebehoud kan worden bereikt door middel van verzet en door

middel van verandering. Er zijn meerdere manieren om naar weerbaarheid te kijken. In de theorie kwamen technische weerbaarheid van McDaniels et al. (2008) en ecologische weerbaarheid van Holling (1996) naar voren. Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag bleek uiteindelijk ecologische weerbaarheid het relevantst.

Binnen technische weerbaarheid is er slecht één optimaal functionerende systeemstaat, veranderingen zijn tijdelijk en worden altijd weer ongedaan gemaakt. Ecologische weerbaarheid kent echter meerdere stabiele systeemstaten (evenwichtssituaties) die elk een eigen niveau van functioneren hebben. Verandering kan dan blijvend zijn. Volgens Holling (1996) is een systeem ecologisch weerbaar als hij niet gemakkelijk zo'n blijvende verandering ondergaat.

Verandering van evenwichtssituatie hoeft volgens de theorie van Standish et al. (2014) echter niet altijd negatief uit te pakken. Elke evenwichtssituatie heeft een eigen functionaliteitsniveau, als een systeem verandert naar een staat met een hogere functionaliteit is dat juist winst. In tegenstelling tot Holling (1996) maken Standish et al. (2014) een onderscheid tussen behulpzame en onbehulpzame weerbaarheid. Van behulpzame weerbaarheid is sprake als een systeem in een goed functionerende systeemstaat wordt gehouden. Van onbehulpzame als een systeem in een slecht functionerende systeemstaat wordt gehouden.

Dit onderzoek zoomt nog een extra stapje in en stelt dat er ook een onderscheid kan worden gemaakt tussen individuele veranderingen. Veranderingen die een netto functionaliteitstoename opleveren zijn nuttig, veranderingen die een functionaliteitsverlies veroorzaken zijn dat niet. Redenen waarom een bepaalde verandering niet kan plaatsvinden zijn obstakels. Obstakels die bewegingen naar een minder functionele systeemstaat tegenhouden zijn behulpzaam, obstakels die bewegingen naar een functionelere systeemstaat tegenhouden zijn onbehulpzaam. Dit werd in dit onderzoek met de 'weerbaarheidstrap' visueel zichtbaar gemaakt.

Hoe groot beide (typen) obstakels zijn valt uit de eigenschappen van het systeem in kwestie af te leiden. Volgens onder andere Holling (1996) en Standish et al. (2014) gaat het om de eigenschappen diversiteit, woeligheid, connectiviteit en openheid. Door die eigenschappen uit te lezen, wat in dit onderzoek met behulp van een beoordelingskader werd gedaan, kan een beeld van de hoogte van beide obstakels worden gevormd.

Systeemeigenschappen koppelen een systeem aan weerbaarheid. Als een systeem verandert, veranderen de systeemeigenschappen en uiteindelijk zowel het behulpzame als het onbehulpzame obstakel. Het behulpzame obstakel vergroot de capaciteit voor functionaliteitsbehoud door verzet en vergroot daarmee ook de totale weerbaarheid. Het onbehulpzame obstakel verkleint de capaciteit voor functionaliteitsbehoud door verandering en vermindert daarmee de totale weerbaarheid.

## **6.4 Dynamische omgevingen**

Waar het onderscheid tussen de twee typen obstakels pas echt relevant wordt, is als er sprake is van een dynamische omgeving. Bijvoorbeeld een omgeving waarin zich versnelde zeespiegelstijging afspeelt. Omgevingsveranderingen kunnen de functionaliteit van een systeemstaat aantasten. Zeker als de functionaliteitsdefinitie afhankelijk is van een eigenschap van

de omgeving, zoals in dit onderzoek het geval was. De functionaliteit van het waddeneilandsysteem was namelijk afhankelijk van de hoogte van de zeespiegel. Bij een stijgende zeespiegel neemt de functionaliteit van de huidige systeemstaat af. In het hypothetische geval dat zeespiegel dalen zou, zou hij toenemen. Voor de waddeneilandsystemen wordt in dit onderzoek altijd van functionaliteitsverlies uitgegaan.

Weerbaarheid kon worden verkregen door verzet en verandering. Verzet, zorgen dat het systeem in de huidige evenwichtssituatie blijft, voldoet niet. De functionaliteit van een stilstaand systeem neemt door de veranderende omgeving namelijk af. Weerbaarheid door verzet werkt dan niet, hierdoor blijft alleen weerbaarheid verkrijgen door verandering als optie over. De capaciteit van een systeem om te veranderen (en daarbij functionaliteit te winnen) is omgekeerd evenredig met de grootte van het onbehulpzame obstakel. Binnen een dynamische omgeving is een systeem weerbaar als het onbehulpzame obstakel klein is.

Binnen een statische omgeving was het een ander verhaal geweest. Een systeem zou dan maar éénmalig naar de meest functionele systeemstaat te hoeven worden gebracht. Eenmaal in die staat is verzet een hele goede manier om functionaliteit te behouden. Er zijn geen veranderingen mogelijk die een hogere functionaliteit opleveren. Systemen binnen een statische omgeving zouden dan in zekere zin uitgepland kunnen raken.

## **6.5 Beantwoorden onderzoeksvraag**

Hoe de ruimtelijke inrichting de weerbaarheid van Waddeneilanden tegen de versnelde zeespiegelstijging beïnvloedt is als volgt: de ruimtelijke inrichting een Waddeneiland bepaalt de vorm van het bijbehorende waddeneilandsysteem, de eigenschappen van dat systeem beïnvloeden het onbehulpzame obstakel en het onbehulpzame obstakel bepaalt de capaciteit van het waddeneilandsysteem om functionaliteit te behouden door middel van verandering. Die capaciteit bepaalt de (totale) weerbaarheid van een systeem binnen een dynamische omgeving.

Een ruimtelijke verandering verandert de vorm van het waddeneilandsysteem. Die verandering leidt potentieel tot andere systeemeigenschappen, tot andere obstakels en daarmee tot een andere capaciteit van functionaliteitsbehoud. Ruimtelijke veranderingen die het onbehulpzame obstakel groter maken hebben een negatieve invloed op de weerbaarheid. Veranderingen die dat obstakel verlagen een positieve.

## **6.6 Implicaties voor ruimtelijk beleid**

Ruimtelijk beleid kan niet alleen op fysisch geografische overwegingen worden gebaseerd maar de conclusies van dit onderzoek zouden er zeker wel een rol in spelen kunnen. Daarbij is het wel van belang dat de resultaten van dit onderzoek voortkomen uit bepaalde keuzes: die voor een specifieke functionaliteitsdefinitie en voor sedimentatie als manier om het eiland te laten groeien. Dat zijn keuzes die in zo'n proces onderschreven zouden moeten worden, er zullen ook andere uitgangspunten mogelijk zijn. De functionaliteit van een waddeneiland in zijn geheel zal waarschijnlijk breder en genuanceerder zijn dan alleen de gemiddelde hoogte van het eiland ten opzichte van de zeespiegel.

Al eerder bleek dat ruimtelijk beleid uit het verleden averechts heeft gewerkt. Maatregelen die ooit zijn uitgevoerd om de ‘weerbaarheid’ van de eilanden te verhogen blijken vooral op verzet te hebben ingezet. Binnen een dynamische omgeving kan alleen verandering voor weerbaarheid op de lange termijn zorgen. In het ruimtelijk beleid zou aandacht moeten zijn voor de invloed van ruimtelijke veranderingen op de capaciteit van de eilanden om te veranderen. Ingrepen die het onbehelpzame obstakel verhogen zijn onwenselijk. Ruimtelijke keuzes zouden daarop getoetst moeten worden.

In dit onderzoek kwamen drie ruimtelijke maatregelen naar voren die zeker weten het onbehelpzame obstakel verlagen: het slechten van de stuifdijk, het slechte van de versterkte zeereep en ontpoldering. Het daadwerkelijk implementeren van die maatregelen zal de weerbaarheid van de Waddeneilanden verhogen. Het ruimtelijk beleid zou de uitvoering van die maatregelen na kunnen streven. Dan zou op zijn minst voorkomen moeten worden dat er nu keuzes worden gemaakt die een toekomstige implementatie van die maatregelen zou hinderen. Het bungalowpark dat tegen de Slufter op Texel aanligt is volgens Grootjans (2014) een voorbeeld van zo’n keuze (in negatieve zin). Door de aanwezigheid van die bebouwing kan de Slufter zich niet tot een overslagcomplex doorontwikkelen. Dat ontnemt het eiland een krachtige manier om extra weerbaarheid te verkrijgen.

Op de lange termijn zou kunnen worden onderzocht hoe de drie ruimtelijke maatregelen daadwerkelijk kunnen worden toegepast; hoe in het ruimtelijk beleid daar naar toe kan worden gewerkt. Daarbij kunnen conflicten optreden met belangen uit andere thema’s. Sowieso moet er bij een doelgericht proces uitgekeken worden voor onbedoelde nevenschade, net zoals dat al optrad ten gevolge van inpoldering en de aanleg van stuifdijken. De lagenbenadering zou misschien kunnen helpen bij het implementatieproces.

Leiden zulke beleidswijzigingen tot een paradigmaverschuiving à la ‘ruimte voor de rivier’? Niet één van dezelfde orde, ideeën over dynamisch kustbeheer en het werken met, in plaats van tegen de natuur bestaan namelijk voor de Waddeneilanden al veel langer en zijn al op verschillende manieren in het beleid geïntegreerd.

Al sinds de jaren 90 zijn er projecten om delen van de Waddeneilanden meer hun eigen gang te laten gaan. Door zandsuppletie is de rol van de verdedigingswerken op de eilanden zelf kleiner geworden. Waar mogelijk wordt al toegestaan dat de zeereep doorstuift en zand over verdere delen van het eiland wordt verplaatst (Arens et al, 2007; De Jong et al., 2014). In het Nationaal Waterplan staat dat het op sterkte houden van de kustverdediging plaats dient te vinden volgens het principe ‘zacht waar het kan, hard waar het moet’ (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische zaken 2015, p.53).

Een pleidooi voor het terugbrengen van delen van de Waddeneilanden naar een meer natuurlijke staat is ook al door bijvoorbeeld het Tij Geleerd (2008) gemaakt, waar onder andere een plan voor het slechten van de stuifdijken bijhoort. Dynamisch kustbeheer, waaronder het laten overstromen van delen van de eilanden om slib af te zetten, is onderdeel van de 'Natuurambitie Grote Wateren 2050' van de overheid (Havermans, 2015).



De resultaten van dit onderzoek zijn dan ook niet de vonk van een nieuwe paradigmaverschuiving, maar ondersteunen een al bestaande verschuiving vanuit een nieuwe invalshoek en vormen een pleidooi om daar veel verder in te gaan. Een verschuiving die tot een ruimtelijke inrichting kan leiden die de Waddeneilanden de kracht geven ook de komende eeuwen zeespiegelstijging te overleven.

Wat meehelpt is de grote schaal van de processen, in het theoretisch kader kwam al naar voren dat processen op een grote schaal langzamer plaatsvinden. Wilschut (2014) schat dat er voor het Waddengebied in zijn geheel nog tot 2050 de tijd is om maatregelen te nemen. Er is nog tijd voor onderzoek en discussie, tijd voor een gedegen planningsproces.

## 6.7 Bredere toepasbaarheid

Dit onderzoek was specifiek naar de relatie tussen en ruimte en weerbaarheid van de Waddeneilanden op zoek. Delen van dit onderzoek en de keten van ruimte naar weerbaarheid die er in opgezet is zouden ook zeker op andere planningsobjecten kunnen worden toegepast. Zeker als het ook open systemen binnen een dynamische omgeving zijn, al is dat geen vereiste.

Het systeemdenken is binnen de planologie in het algemeen breed toepasbaar. Planologie is een discipline die vaak te maken heeft met complexe onderwerpen die vele variabelen kennen. Systeemdenken kan zowel worden gebruikt om meer te weten te komen over de realiteit alsmede een techniek zijn om bepaalde doelen te realiseren. Dat laatste is zoals dit onderzoek bewezen heeft wel riskant. Top-down ingrijpen kan leiden tot onbedoelde neveneffecten. De abstracte ingrepen op de Waddeneilanden uit het verleden blijken op de lange termijn funest te zijn.

De planologie staat bol van onderwerpen die aan een dynamische omgeving onderhevig zijn, en dan in de breedste zin van het woord. Veranderende omgevingen zijn overal zichtbaar. Niet alleen in de fysieke omgeving, in de vorm van bijvoorbeeld zeespiegelstijging, maar ook vanuit onder andere demografie, milieu, verkeer, en economie. Denk bijvoorbeeld aan vergrijzing, ontgroening, migratie, mobiliteitsveranderingen en economische cycli. Zij veranderen allemaal de de optimale inrichting van de ruimte; de meest functionele evenwichtssituatie.

Beperkingen van systeemveranderingen die functionaliteit winnen en veranderingen die functionaliteitsverlies opleveren werden in dit onderzoek weergegeven met twee typen obstakels: een onbehulpzame en behulpzame. Die twee obstakels zouden theoretisch gezien in alle systemen aanwezig kunnen zijn. Afhankelijk van de functionaliteitsdefinitie zijn bepaalde systeemeigenschappen verantwoordelijke voor de hoogte van beide typen obstakels. Het denken in obstakels zal ook zeker ook bij andere planningsobjecten mogelijk zijn.

Wegen, steden, vastgoed, gemeenschappen en waddeneilanden zijn allemaal als systeem te beschrijven, systemen met een omgeving die eventueel dynamisch is. Het denken in de een weerbaarheidstrap met behulpzame en onbehulpzame obstakels kan dan nuttig zijn. Door bij het ingrijpen in die systemen rekening te houden met het onbehulpzame obstakel kan de capaciteit van die systemen om op de lange termijn functioneren te behouden, versterkt worden.

Een actueel probleem is de leegstand van kantoren enerzijds en het tekort aan woningen

anderzijds (Rijksoverheid, 2016). Er is een systeem mogelijk waarin de voorraad kantoorruimte en de voorraad woningruimte terugkomen. Van dat systeem kan gesteld worden dat er geen sprake is van een optimaal functioneren: er is leegstand terwijl er wel vraag naar bepaalde vormen van ruimte is. Redenen waarom het evenwicht tussen kantoren en woningen maar niet verbetert, zijn onderdeel van het onbehelpzame obstakel van dit systeem. Door op zoek te gaan naar de opbouw van het onbehelpzame obstakel kan begrepen worden waarom het huidige systeem vastzit en kunnen ook aanbevelingen worden gedaan voor de toekomst. Misschien moeten kantoren zo gebouwd worden dat ze makkelijker van functie veranderen kunnen.

## 6.8 Sterke en zwakke kanten van dit onderzoek

Het denken in systemen, systeemeigenschappen, ecologische weerbaarheid en de weerbaarheidstrap kan leiden tot ruimtelijke keuzes. Het is een manier om gestructureerd naar een onderzoeksonderwerp te kijken en om bewustzijn te creëren voor het effect van verschillende perspectieven op de inrichting van de ruimte. Een top-downbenadering kan tot andere keuzes leiden dan een bottom-upbenadering, net als verschillen tussen technische en ecologische weerbaarheid dat kunnen.

Het gebruik van de weerbaarheidstrap is een krachtige manier om de werking van ecologische weerbaarheid en de twee typen obstakels visueel inzichtelijk te maken. Een systeem dat de trap op vlucht voor de versneld stijgende zeespiegelstijging is een sterk beeld. Het hele concept van dit onderzoek kan er in weergegeven worden.

Een nadeel van hoe de theorieën in dit onderzoek toegepast zijn is dat ze vooral tot abstracte inzichten leiden. Het wordt wel duidelijk welke elementen het gedrag van een systeem bepalen maar dat gedrag is alleen in relatieve zin te beoordelen. Het is mogelijk de Waddeneilanden weerbaarder te maken maar niet bekend is hoe weerbaar en ook niet welke weerbaarheid nodig is om met bepaalde omstandigheden om te gaan. Of de voorgestelde ruimtelijke maatregelen genoeg zijn om met 85cm zeespiegelstijging om te gaan is niet bekend, alleen dat ze een stap in de goede richting zijn.

Een model mag niet te ver van de realiteit afstaan. Dat een systeem een goed model van de werkelijkheid vormt, was een vereiste van het systeemdenken. In dit onderzoek zijn correlaties gevonden tussen verwachtingen uit het met het systeemdenken opgezette waddeneilandsysteem en de werkelijkheid. De polder heeft een groter onbehelpzaam obstakel dan de kwelder, daaruit zou moeten volgen dat de polder minder in staat is naar nieuwe evenwichtssituaties te bewegen dan de kwelder. Dat werd met behulp van een hoogtekaart bevestigd: die liet een kwelder zien die gemiddeld hoger lag dan de polder.

Zoals eerder aangestipt zullen de theorieën uit dit onderzoek vooral nuttig zijn als er sprake is van een dynamische omgeving. Het Waddengebied was daar natuurlijk een uitgesproken voorbeeld van. Binnen (grotendeels) statische omgevingen zijn grote delen van de theorie minder interessant. Als die een, vanuit de onderzoeker beschouwd, goede functionaliteit hebben kunnen die compleet in beton gegoten worden. Dat er dan ook een groot onbehelpzaam obstakel veroorzaakt wordt maakt niet uit, weerbaarheid kan dan verkregen worden door verzet.

## 6.9 Validiteit verzamelde data

De data in dit onderzoek bestaat vooral uit een aggregatie van kennis uit verschillende bronnen uit de literatuur. Het zelf doen van observaties was door de schaal in zowel ruimtelijke als tijdszin maar beperkt mogelijk. Het model van de Waddeneilanden, de drie waddeneilandsystemen, moest daarom op een ander wijze opgesteld worden. De schaalproblemen hadden theoretisch met bijvoorbeeld computersimulaties overkomen kunnen worden, daar is in een onderzoek als deze echter geen ruimte voor. De literatuurstudie had tevens verreikt kunnen worden met meer interviews met experts, dat is echter maar in beperkte mate gebeurd. Hierdoor worden in het hoofdstuk waarin de onderzoeksdata gepresenteerd wordt vooral bronnen aangehaald en geen zelf verzamelde data. Het creëren van nieuwe kennis over de morfologie van de Waddeneilanden was natuurlijk ook geen primair doel van dit onderzoek. Voor het opstellen van waddeneilandsysteem is het effectiever om voort te bouwen op decennia aan bestaand onderzoek dan om het wiel opnieuw uit te vinden.

Om de validiteit van de verzamelde data zo hoog mogelijk te houden is de opbouw van de waddeneilandsystemen zo transparant mogelijk aangepakt en zijn de scoringswaardes van op de vier systeemeigenschappen met behulp van een beoordelingskader reproduceerbaar gemaakt. Daardoor zijn de stappen in de dataverzameling in ieder geval wel goed controleerbaar. Daar komt bij dat de data maar een gedeelte van dit onderzoek is. Het theoretisch kader staat los van de data en kan ook met een nieuwe set data gevoed worden. Als de waddeneilandsystemen toch niet goed bij de werkelijkheid aansluiten kunnen ze aangepast worden en opnieuw aan de onderzoeksmethode onderworpen worden.

## 6.10 Verder onderzoek

Dit onderzoek is nog maar een vrij simpele verkenning van wat bepaalde theorieën rondom systeemdenken en weerbaarheid bij kunnen dragen aan de inrichting van de ruimte. Er zijn nog veel punten die uitgediept dan wel versterkt kunnen worden.

Zo zijn de effecten van de versnelde zeespiegelstijging in dit onderzoek versimpeld. Op de schaal van het Waddengebied zullen veranderingen plaatsvinden die van invloed zullen zijn op de Waddeneilanden. Water is een belangrijk medium voor sedimenttransport. Hoeveel sediment door het water vervoert wordt is het resultaat van een samenspel tussen de eigenschappen water en de morfologie van de de landschapsvorm waar het water doorheen stroomt. Door meer water aan het Waddengebied toe te voegen zullen bestaande evenwichten verstoord worden en is het helemaal niet zeker dat de levering van sediment aan de Waddeneilanden gelijk blijft, dat werd in dit onderzoek wel verondersteld. Onder invloed van zeespiegelstijging kan de Waddenzee ‘zandhonger’ krijgen en hebben Waddeneilanden de neiging naar binnen de te wandelen (Louters & Gerritsen, 1994; Oost 1995). Processen die hun weerslag zullen hebben op de Waddeneilanden.

De belangrijkste stap in dit onderzoek is de stap van systeem naar obstakels. Daar werden de vier systeemeigenschappen voor gebruikt. Zij komen uit de literatuur maar worden in dit onderzoek wel op een nieuwe manier ingezet. Het zou waardevol zijn om de koppeling tussen de systeemeigenschappen en de obstakels te versterken. Dat zou bijvoorbeeld kunnen door het doen van extra observaties of experimenten. Aan de polders was te zien dat systeemeigenschappen een

voorspellende waarde hadden, meer van dat soort correlaties zouden zeer waardevol zijn.

Het beoordelingskader was vrij simpel van opzet. Er vindt geen weging plaats voor zaken als de grootte van onderdelen en hun relatieve invloed op de obstakels. De polder van het Duitse waddeneilandsysteem viel op omdat die veel kleiner was dan die van de Nederlandse Waddeneilanden, dat komt na toepassing van het beoordelingskader niet meer naar voren. Abstracte waarnemingen kunnen natuurlijk nooit absoluut genoteerd worden. Fysieke systemen kunnen nooit een perfecte weergave van de werkelijkheid vormen, maar er valt wel altijd meer te leren.

De praktische invulling van de ruimtelijke maatregelen die volgens dit onderzoek bij kunnen dragen aan de weerbaarheid van de Waddeneilanden heeft natuurlijk nog veel voeten in de aarde. Zomaar ontpolderen gaat natuurlijk niet, dat een heel lastig en beladen proces. Dit onderzoek geeft een onderbouwing waarom het vanuit een bepaalde invalshoek logisch is naar de zeedijk, zeereep en stuifdijk te kijken. Tussen zo'n observatie en het daadwerkelijk spaden in de grond zetten zit natuurlijk nog een hele wereld.

## 7 Bijlagen

### 7.1 Literatuurlijst

Arens, S.M., Löffler, E.M. & Nuijen, E.M. (2007). *Evaluatie Dynamisch Kustbeheer Friese Waddeneilanden*. Amsterdam: Bureau voor – Strand- en Duinonderzoek

Assche, K. van, Verschreagen, G. (2008). The limits of planning: Niklas Luhmann's systems theory and the analysis of planning and planning ambitions. *Planning theory*, 7(3), 263-283.

BügelHajema (2016). *Bestemmingsplan Buitengebied*. Rapport 550.13.00.01.00. Assen: BügelHajema Adviseurs bv

Bureau Stroming BV (2006). *Natuurlijke klimaatbuffers*. Nijmegen: Bureau Stroming

CPSL (2005). *Solutions for Sustainable Coastal Protection in the Wadden Sea Region*. Rapport 21. Wilhelmshaven: Commen Wadden Sea Secretariat (CWSS)

Davoudi, S. (2012). Resilience: A Briding Concept or a Dead End? *Planning Theory & Practice*, 13(2), 299-307.

Elias, E. (2006). *Morphodynamics of Texel Inlet*. Amsterdam: IOS Press

Flemming, B.W. & Davis, R.A. Jr. (1994). Holocene Evolution, Morphodynamics and Sedimentology of the Spiekeroog Barrier Island System. *Sneckenbergiana maritima*, 24(1), 117-155.

Gemeente Terschelling (2009). *Woonplan Terschelling 2008-2016*. West-Terschelling: Gemeente Terschelling

Giddings, J.C. (1991). Equilibrium the driving force for separative displacement. In *Unified Separation Science*. (pp. 101-106). New York: Wiley

Havermans, O. (2015). 'Een eilander zet geen land onder water', zeggen ze op Ameland. *Trouw*, 04-02-2015

Het Tij Geleerd (2008). *Eilanden Natuurlijk*. Groningen: Het Grafische Huis

Hibma, A., Stive, M.J.F., Wang, Z.B. (2004). Estuarine morphodynamics. *Coastal Engineering*. 51(2004), 765-778.

Holling, C.S. (1996). Engineering Resilience versus Ecological Resilience. In P.C. Schulze (Red.), *Engineering within Ecological Constraints* (pp. 31 – 44). Washington D.C: National Academy Press

Intergovernmental panel on climate change (2013). *IPPC Fifth Assesement Rapport* Bern: IPCC

Ison, R.L. (2008). Systems thinking and practice for action research. In Reason, P.W., Bradbury, H. (Red.), *The Sage Handbook of Action Research Participative Inquiry and Practise (2nd editon)* (pp. 139-158). London: Sage Publications

Jong, B. de, Keijsers, J.G.S., Riksen, M.J.P.M., Krol, J., Slim, P.A. (2014). Soft Engineering vs. A Dynamic Approach in Coastal Dune Management: A Case Studie on the North Sea Barrier Island of Ameland, The Netherlands. *Journal of Coastal Research* 30(2014), 670-684.

Kenniscentrum Landschap (2015). *Waddeneilanden*. Geraadpleegd op 26-01-2015 via <http://landschapsgeschiedenis.nl/deelgebieden/1-Waddeneilanden.html>. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen, Faculteit Letteren

KNMI (2016a). *Waarnemingen klimaatveranderingen*. Geraadpleegd op 24-01-2016 via <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/waarnemingen-klimaatveranderingen>. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

KNMI (2016b). *Zeespiegelveranderingen in de toekomst*. Geraadpleegd op 24-01-2016 via <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/zeespiegelveranderingen-in-de-toekomst>. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Liu, Z., (2001). *Sediment Transport*. Aalborg: Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning Institutet for Vand, Jord og Miljøteknik Aalborg Universitet

Loorbach, D., Rotmans, J. (2006). Managing transitions for sustainable development. In Olshoorn, X., Wieczorek, A.J., Dordrecht, A.J. (Red.), *Understanding Industrial Transformation. Views from different disciplines*. (pp. 187-206). Springer Netherlands

Louters, T., Gerritsen, F. (1994). *Het mysterie van de wadden: Hoe een getijdesysteem inspeelt op de zeespiegelstijging*. Rijkswaterstaat

McDaniels, T., Chang, S., Cole, D., Mikawoz, J. & Longstaff, H. (2008). Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: Characterizing decision contexts for mitigation and adaptation. *Global Environmental Change* 18(2008), 310-318.

Nijs, A.C.M. de, Kuiper, R. (2006). *De Locatiezoeker; Lagenbenadering voor zoekruimte verstedelijking*. Rapport 500074001/2006. Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau (NPM).

Molen, J. van der, Dijck, B. van (2000). The evolution of the Dutch and Belgian coasts and the role of sand supply from the North Sea. *Global and Planetary Change*, 27(1-4), 223-244.

Odum, H.T., Odum, E.C. (2000). *Modeling for All Scales: An Introduction to Systems Simulation*. San Diego: Academic Press

Oertel, G.F. (1985). The barrier island system. In Oertel, G.F., Leatherman, S.P. (Red.), *Marine Geology*, 63(1985), (pp. 1 – 18). Elsevier Science Publishers B.V.: Amsterdam

Olsson, M., Sjöstedt, G. (Red.) (2004). *Systems Approaches and Their Application*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers

Oost, A.P. (1995) *Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian inlet*. Utrecht: Faculteit Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht

Pickering, M.D., Wells, N.C., Horsburgh, K.J., Green, J.A.M. (2012) The impact of future sea-level

rise on the European Shelf tides. *Continental Shelf Research*, 35, 1-15

Rensing, R. (2013). *Klimaatverandering en waterveiligheid in het rivierengebied*. Lelystad: Rijkswaterstaat Waterdienst

Riggs, S.R. (Red.) (2011). *The Battle for North Carolina's Coast: Evolutionary History, Present Crisis, & Vision for the Future*. Chapel Hill: University of North Carolina Press

Rijksoverheid (2016). *Transformatie van kantoren*. Geraadpleegd op 15-08-2016 via <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/leegstand-kantoren/inhoud/transformatie-van-kantoren>. Den Haag: Rijksoverheid.nl

Rijkswaterstaat (2012). *Bebouwing Vlieland en Terschelling beter beschermd tegen water*. Geraadpleegd op 01-06-2015 via [http://rijkswaterstaat.nl/actueel/nieuws\\_en\\_persberichten/2012/september2012/bebouwing\\_vlieland\\_en\\_terschelling\\_beter\\_beschermd\\_tegen\\_water.aspx](http://rijkswaterstaat.nl/actueel/nieuws_en_persberichten/2012/september2012/bebouwing_vlieland_en_terschelling_beter_beschermd_tegen_water.aspx). Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en milieu, Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat (2014). *Programma Kustlijnzorg 2012 – 2015*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en milieu, Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat (2015). *Kustonderhoud*. Geraadpleegd op 20-02-2014 via [http://www.rijkswaterstaat.nl/water/veiligheid/bescherming\\_tegen\\_het\\_water/veiligheidsmaatregelen/kustlijnzorg/](http://www.rijkswaterstaat.nl/water/veiligheid/bescherming_tegen_het_water/veiligheidsmaatregelen/kustlijnzorg/). Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en milieu, Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat (2016). *Eindrapport Veiligheid in Kaart*. Rapport HB 2540621. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en milieu, Rijkswaterstaat Projectbureau VNK

Schaick, J. van, Klaasen, I.T. (2013) *De lagenbenadering voor ruimtelijke planning en ontwerp: Een nuttig planningsinstrument of tijdelijk fenomeen?* Vertaald uit het Engels door A. van Lent. (Origineel gepubliceerd in *European Planning Studies*. 19(10), 1775-1796)

Shaw, K. (2012). "Reframing" Resilience: Challenges for Planning Theory and Practice. *Planning Theory & Practice*, 13(2), 308-312.

Skyttner, L. (2005). *General Systems Theory: Problems, perspectives, Practice*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Standish, R.J., Hobbs, R.J., Mayfield, M.M., Bestelmeyer, B.T., Suding, K.N., Batteglia, L.L., Eviner, V., Hawkes, C.V., Temperton, V.M, Cramer, V.A., Harris, J.A., Funk, J.K, Thomans. P.A. (2014). Resilience in ecology: Abstraction, distraction or where the action is? *Biological Conservation*, 177(2014), 43-51.

Swart, H.E. de, Zimmerman, J.T.F. (2009). Morphodynamics of Tidal Inlet Systems. *Annual Review of Fluid Mechanics*. 41, 203-229

Marijnissen, H, (2012). *Wie steekt de dijk op Terschelling door?* Geraadpleegd op 01-03-2014 via <http://www.trouw.nl/tr/nl/4492/Nederland/article/detail/3332427/2012/10/16/Wie-steekt-de-dijk-op-Terschelling-door.dhtml>. Amsterdam: De Persgroep Nederland

Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische zaken (2015). *Nationaal Waterplan*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu en het Ministerie van Economische zaken

Wilschut, M. (2014). Help, de Wadden verdrinken! *Trouw*, 09-07-2014.

Van Dale (2014). *Gratis Woordenboek*. Geraadpleegd op 01-02-2016 via <http://vandale.nl/opzoeken>. Utrecht: Van Dale Uitgevers

Vroege Vogels (2014). *Waddenserie – Stuifdijken*. Televisieprogramma. Hilversum: Omroepvereniging VARA, 16 december

Waddenvereniging (2016). *Bressen in Stevin's droom*. Geraadpleegd op 19-07-2016 via [http://www.waddenvereniging.nl/wadweten/?item\\_id=7470](http://www.waddenvereniging.nl/wadweten/?item_id=7470). Harlingen: Waddenvereniging

Wang, Z.B., Hoekstra, P., Burchard, H., Ridderinkhof, H., Swart, H.E. de, Stive, M.J.F. (2012) Morphodynamics of the Wadden Sea and it's barrier island system. *Ocean & Coastal Management*, 68, 39-57



## **7.2 Samenvatting interview met prof. dr. A.P. Grootjans op 20-05-2014**

### **7.2.1 Zeespiegelstijging**

In de wetenschap is men het er over eens dat de zeespiegelstijging de komende eeuw wel 50cm zal zijn. Al eeuwenlang hebben we te maken met een stijging van 20cm per eeuw. Vanaf de ijstijd is een curve te tekenen voor de zeespiegelstijging waarbij de stijging steeds meer afzwakt, dit betekent niet dat er nu dus geen stijging meer is. Op dit moment staat de curve op 23cm per eeuw.

Daar komt bij dat de bodem daalt. Onder andere omdat Nederland een beetje kantelt. Deze daling is bijna net zo groot als de stijging van de zeespiegel en daarmee zit je al makkelijk op de 45cm, het precieze getal moet ik in de literatuur opzoeken.

De discussie is nu of dit versneld wordt van 50cm per eeuw naar 1 meter per eeuw ten gevolge van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen. Als alles tegenzit zouden we zelfs rekening moeten houden met 1,5 meter. Als je daar rekening mee houdt zou je wellicht altijd goed zitten, al heeft dat wel grote gevolgen voor de inrichting van ons land.

Als we verdergaan op de lijn tussen de 50 en 100cm stijging heb je als eerste een groot probleem met de kwelders. Kwelders kunnen een stijging van max. 50cm bijhouden. Bij een hardere stijging zal het areaal snel kleiner worden. Dit is echter wel voor de toekomst, op dit moment is de versnelde zeespiegelstijging er nog niet, de laatste 50 jaar is er geen zeespiegelstijging vastgesteld in de Waddenzee. Dit komt wellicht omdat de zee ook op andere manieren de energietoename opvangen kan.

### **7.2.2 Stuifdijken**

De meest kwetsbare kwelders betreffen degenen die niet veel vegetatie hebben, deze kwelders vind je vooral achter de stuifdijken. Deze kwelders ontvangen heel weinig slib omdat die tegen de tijd dat het zeewater deze kwelders bereikt er nog weinig sediment over is, dat is onderweg al uitgezakt. Achter de stuifdijken krijg je hierdoor dus plekken die geheel onder water komen te staan en waar zich ook geen (nieuwe) kwelders vestigen kunnen. De stuifdijken zijn een sta in de weg, zij verhinderen dat de kwelders zich aan kunnen passen. Daarnaast hebben stuifdijken geleid tot het verdwijnen van verzoetende ecosystemen die zo nu en dan door de zee overspoeld werden en vlak achter het stand lagen. Het is niet de zeespiegelstijging die deze problemen veroorzaakt maar het gebrek aan nieuwe geomorfologische processen. Dat is de invalshoek van Ab Grootjans en andere geomorfologen.

### **7.2.3 Dynamisch kustbeheer**

Dynamisch kustbeheer kan zorgen voor meer diversiteit, ook (of juist) binnen de context van zeespiegelstijging. 'Iedereen' is het eens over de rol van dynamisch kustbeheer en dat dat eigenlijk ook zou moeten. De ideeën die leidden tot de aanleg van de stuifdijken zijn nu compleet achterhaald en het idee om de hele Waddenzee in te polderen wordt nu gezien als krankzinnig. De blijvende

aanwezigheid van stuifdijken is achterhaald en als je stelt dat de dalen van het Waddengebied een slechte ontwikkeling is zou je logischerwijs ook moeten vinden dat de stuifdijken verwijderd dienen te worden. De enige waarde van de stuifdijken en dan eigenlijk ook alleen in de ogen van de eilanders zelf is de cultuurhistorische waarde.

#### **7.2.4 De natuur zijn gang laten gaan of menselijk ingrijpen**

Als je het onderhoud aan de stuifdijken zou stoppen zullen ze op termijn verdwijnen, dit duurt echter wel heel lang. De vraag is of je 50 of 100 jaar wilt wachten tot dit proces voltooid is terwijl de zeespiegel door blijft stijgen. Dat het moet gebeuren is iedereen het over eens maar de maatschappelijke invulling is nog een heet hangijzer. Belangrijk hiervoor is te weten of er haast is of niet en daar kan in het onderzoek aandacht aan worden besteed.

#### **7.2.5 Veiligheid – Zandsuppletie**

Veiligheid staat nog altijd bovenaan. Als je geen veiligheid kan garanderen kom je nergens. Dynamisch kustbeheer kan echter wel op een veilige manier ingevoerd worden: namelijk in combinatie met zandsuppletie. Dat idee is ontstaan in Utrecht door onder andere Piet Hoekstra. Het idee is dat er zand op het strand gebracht wordt zodat er geen erosie plaats vindt (Waarschijnlijk wordt hiermee bedoeld dat de effecten van erosie gemitigeerd worden). Vroeger werd het zand op het strand zelf neergezet maar later bedacht men dat dat niet nodig was en dat het zand ook voor de kust neergelegd worden kon waarna het vanzelf naar de kust wordt getransporteerd. Over waar mensen pipen dat er erosie is kan je zand suppleren.

Zandsuppletie is echter wel heel erg duur. Als je een hotel wilt beschermen tegen erosie dmv van zandsuppletie kan het zomaar zijn dat dat meer kost als de waarde van het hele hotel. Deze kosten zijn dan wel weer voor de overheid en dus voor ons allemaal. Dat een ondernemer verwacht dat zijn onroerend goed beschermd wordt is gezien de kosten die daar tegenover staan niet normaal.

Uit onderzoek blijkt dat de kwaliteit van het met zandsuppletie niet veel verschilt van de de al in het systeem aanwezige sediment. De grond wordt wel wat kalkrijker maar dit heeft geen grote invloed. OBN kan vertellen wat de ecologische gevolgen van zandsuppletie zijn.

#### **7.2.6 Basiskustlijn**

De basiskustlijn is een bij wet vastgelegde kustlijn die behouden moet worden. Om zoiets bij wet vast te leggen een absurd idee. Ons hele land is uit dynamiek ontstaan en de kust zou van nature ook nu nog zichzelf aanpassen onder invloed van bijvoorbeeld zeespiegelstijging. Dat de tweede kamer daar een eind aan wil maken is een vorm van arrogantie in dezelfde trant al stemmen dat we geen stormen meer willen. Aan de Hollandse kust zitten er wellicht wat haken en ogen aan het concept om de kust maar landinwaarts te laten lopen maar op de Waddeneilanden is er zat ruimte om de basiskustlijn los te laten en toe te staan dat de kust te laten wandelen. De duingebieden zijn zo breed dat de bewoningskernen nooit in gevaar zullen komen. Daarnaast zal de kustgerichte wandeling van die aard zijn dat de komende duizenden jaren de Waddeneilanden niet tegen de kust op zullen botsen. Oosterhuis heeft geen mening over of je dat wel of niet moet toestaan maar de tweede kamer heeft die duidelijk wel. Dat is een vrij unieke, je zou zeggen des Nederlandse,

pretentieuze instelling.

Hoe dan ook de wet is er en de methode om de basiskustlijn te behouden zijn zandsuppleties. Dat is op zichzelf ook wel een puik idee, veel beter als bijvoorbeeld de kust versterken met basalt. Je kan beslissen zoveel zand naar de kust te brengen als je wil, dat is alleen een kwestie van geld. Oosterhuis verwacht wel dat er problemen zouden kunnen ontstaan in de Noordzee als je zoveel zand verwijderen gaat.

### 7.2.7 Heeft het Waddenzeesysteem meer zand nodig?

De notie dat het Waddengebied meer sediment nodig heeft vanwege de versnelde zeespiegelstijging is onjuist. Er is altijd zeespiegelstijging geweest en daar hebben de eilanden zich altijd aan aangepast door bijvoorbeeld op een andere plek te gaan liggen. Alleen als je zegt dat de eilanden dezelfde kustlijn moet behouden zal je meer sediment nodig hebben. Dat is het gevolg van een politieke keuze. Het is maar de vraag welke belangen gediend worden door deze keuze.

### 7.2.8 Belangen

Voor toerisme is het volgens Oosterhuis niet van belang dat je eilanden statisch op dezelfde plek gelegen laat. Je hebt in Duitsland eilanden als Borkum en Nordery waarvan de westelijke koppen compleet vastgelegd en bebouwd zijn, als je de infrastructuur die het gevolg is van deze planologische keuzes wilt behouden moet je de eilanden op hun plek houden. Duitsland kent echter ook eilanden als Spiekeroog waar men hele andere keuzes heeft gemaakt, daar verdedigen zij hun eiland niet zolang de bevolkingskernen geen gevaar lopen, en dat lopen ze niet. Beide typen eilanden trekken hun eigen typen toeristen.

Ook belangen als landbouw, het behoud van vakantieparken in de duinen, scheepvaart etc zijn geen gevestigde belangen waar je altijd maar rekening mee moet houden. Op het gebied van landbouw zie je al dat er verschillende keuzes worden gemaakt. Op Schiermonnikoog hebben de boeren gekozen voor een intensieve vorm van landbouw waarbij men net doet alsof ze niet op een eiland boeren. Op Terschelling daarentegen hebben ze gekozen voor een extensieve vorm van landbouw waarbij toeristen de eerste inkomstenbron zijn. Het gevolg op Schiermonnikoog van deze keuze is dat er een enorme ammoniakdepositie is in het nationaal park waar de natuurbeschermers dan maar weer oplossingen voor moeten verzinnen. Er is hier sprake van het niet consequent doorzetten van keuzes. Als je als Schiermonnikoog zegt dat je je geld wilt verdienen met toerisme betekent dat ook dat je de boeren moet zeggen dat ze op moeten houden met de intensieve landbouw. Het opgeven van deze gevestigde belangen is lastig omdat de eilander gemeenschappen niet snel tegen de boeren in willen gaan. Voor eilanders zijn dat soort verandering op de korte termijn wellicht onbestaanbaar, dat moet je dan ook niet proberen. Op een langere termijn zou je de boeren kans kunnen geven hun activiteiten langzaam aan te passen. [In het interview meer info over de strijd op Schiermonnikoog]. De belangrijkste vraag is vooral hoeveel tijd we hebben voor dit soort veranderingen.

### 7.2.9 Visies op de toekomst – de lange vs de korte termijn

Het gaat niet om termen als 'behouden van wat er is' maar over visies op de toekomst: "Wat

laten we aan onze kinderen na”. Het is niet mijn taak als onderzoeker om mij te bemoeien met het de korte termijn, dat is voor de politiek. Het gaat juist om de langetermijnvisie, een oplossing voor de toekomst.

Je kan naar scenario's kijken als de mens versus de natuur maar je kan ook je scenario's indelen in korte en lange termijn. Wat is er op de korte termijn nodig en wat is er voor de lange termijn nodig. Als je veel tijd hebt kom je in een heel scenario terecht als wanneer je op korte termijn spijkers met koppen moet slaan. Voor de vraagstelling is het héél belangrijk over de termijnen na te denken. Op de lange termijn krijg je dingen als acceptatie, wat moet je met het land wat vrijkomt, bungalowparken etc. Je kan als je de tijd hebt denken aan een soort sterfhuisc constructie: boeren gaan met pensioen, bungalowparken verouderen etc.

Het is wel juist dat een langetermijnvisie moeilijk vast te houden is. Men kan zomaar denken nog één keer cashen met een hotel. Voor de visies van het onderzoek kan dit beter buiten beschouwing worden gelaten.

### **7.2.10 De Slufter en Polders**

De Slufter op Texel is een slufter (een duindoorkraak die doodloopt) omdat de mens hem zo gemaakt heeft. Als er geen dijk zou liggen was het een overslagcomplex geweest. Achter de dijk hebben ze een bungalowpark gebouwd. Hiermee is de aanpasbaarheid van dit systeem voor vele jaren verpest.

Door voorbeelden als het bungalowpark bij de slufter heb je geen andere keus dan de dijken van het hele gebied (polder) maar te blijven verhogen. Je kan niet selectief alleen de belangrijke bevolkingskernen beschermen. De landbouw is op lange termijn niet rendabel en als er geen bungalowpark (grote belangen) in de weg had gelegen had je makkelijk kunnen zeggen van breek de boel maar door als éénmalige investering waarmee je er verder geen kosten meer van hebt. Je kan met spelregels komen om dit soort situaties te voorkomen. Je bouwt ook geen nieuwe woningen in de Rijnvlakte met als gevolg dat je miljoenen kwijt bent om deze te beschermen.