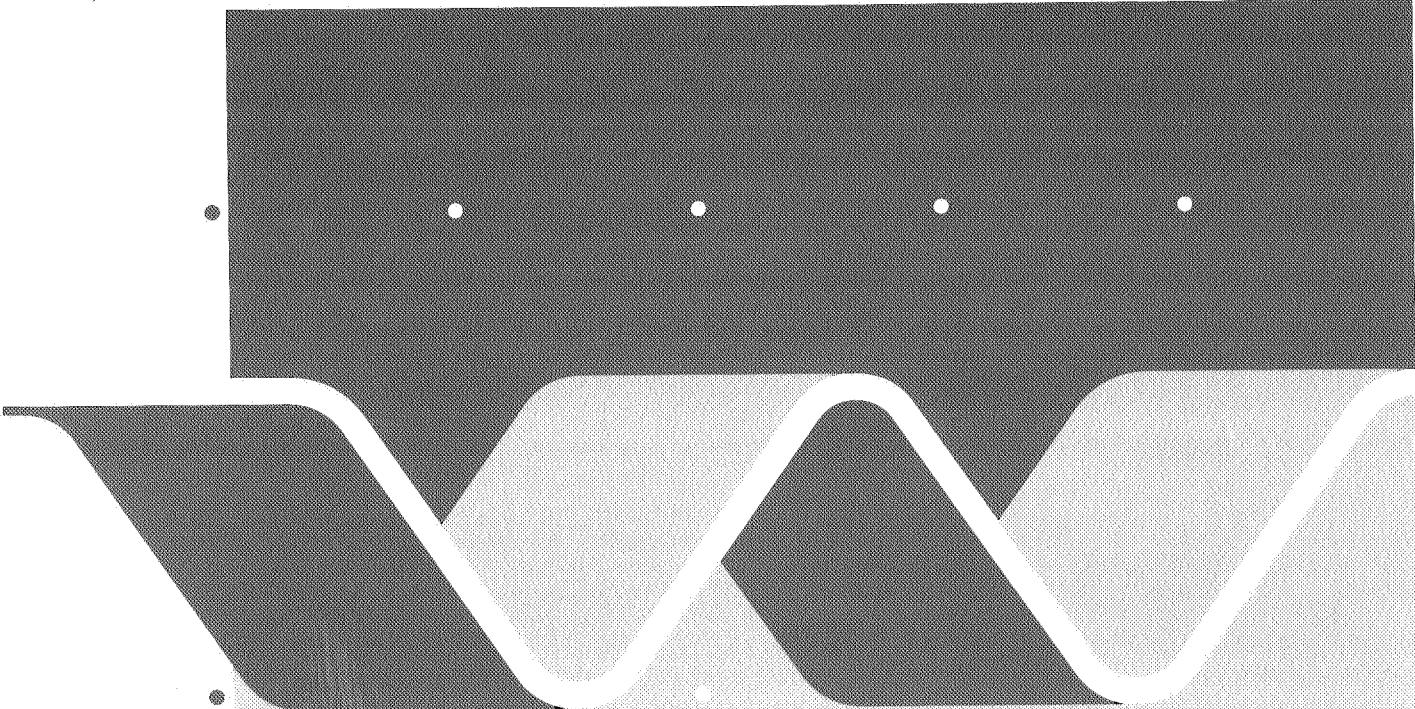




Opdrachtgever:

RIKZ

Veerkrachtbepalende processen van estuaria en kustwatersystemen

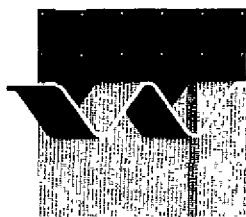
Referentierapport voor een veerkrachtiger beheer van de Nederlandse
estuaria en kustwatersystemen

maart 1999

Veerkrachtbepalende processen van estuaria en kustwatersystemen

Referentierapport voor een veerkrachtiger beheer van de Nederlandse
estuaria en kustwatersystemen

drs. M. Marchand & drs. P. Baan



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: RIKZ

TITEL: Veerkrachtbepalende processen van estuaria en kustwateren

SAMENVATTING:

Het beleid ziet zich geconfronteerd met de vraag op welke wijze watersystemen duurzaam in stand gehouden kunnen worden om de gewenste functies en waarden te behouden. Dit kan bereikt worden door versterking van: (i) het (natuurlijke) weerstandsvermogen, (ii) het herstelvermogen en/of (iii) het aanpassingsvermogen. De weerstand van een systeem wordt voornamelijk bepaald door structuren en hun eigenschappen, het herstelvermogen en aanpassingsvermogen zijn vooral afhankelijk van de processen die deze structuren vormgeven. De veerkracht van een kustwatersysteem kan worden gedefinieerd als het herstelvermogen van het systeem om de druk van dynamische externe omstandigheden op te vangen zonder dat de karakteristieke structuur en eigenschappen (functies) van het systeem significant veranderen. Werd het waterbeheer vroeger vooral gekenmerkt door het verhogen van de weerstand, thans ligt de nadruk op het verhogen van de veerkracht.

Het ontwikkelen van een veerkrachtstrategie voor kustwatersysteem kan worden gebaseerd op drie gidsprincipes: (i) flexibiliteit in gebruik; (ii) meewerken met natuurlijke processen; en (iii) gebruik maken van natuurlijke feedback en buffering. Flexibiliteit in gebruik betekent dat minder strenge eisen worden gesteld aan het systeem. De ontwikkelingen worden meer op hun beloop gelaten en behoeven daardoor minder (bij)sturing. Meewerken met natuurlijke processen houdt in dat met het gebruik en beheer zoveel mogelijk wordt ingespeeld op de natuurlijke processen: geen tegenstand bieden maar meeveren. Gebruik maken van natuurlijke feedback en buffering is van belang bij het benutten van natuurlijke hulpbronnen in kustwatersystemen. Het gebruik moet vallen binnen de natuurlijke aanwas of de ruimte die er nog is binnen de natuurlijke buffercapaciteit.

Om de van nature aanwezige veerkracht van kustwatersystemen te behouden of te vergroten moet gezocht worden naar mogelijkheden om de natuurlijke 'regelmecanismen' en de daaraan ten grondslag liggende feedback-processen in stand te houden en waar mogelijk te versterken. Als de natuurlijke regelmechanismen afhankelijk zijn van specifieke abiotische (en biotische) condities moet het beheer deze condities scheppen en in stand houden. In het rapport wordt voor een groot aantal Nederlandse kustwatersystemen een eerste aanzet gegeven van een beschrijving van de veerkrachtbepalende processen.

Aan een veerkrachtstrategie zijn niet alleen voordelen verbonden. Meer veerkracht kan ook leiden tot meer onzekerheden en risico's. Ook kan een veerkrachtstrategie leiden tot maatschappelijk onaanvaardbaar hoge kosten vanwege functieverlies. Daarom zijn in het rapport aanbevelingen opgenomen voor nader onderzoek naar onder meer de voorspelbaarheid en maatschappelijke consequenties. Een nadere uitwerking van veerkrachtbepalende processen kan het beste worden uitgevoerd per watersysteem, waarbij de beheersdoelen richtinggevend zijn voor het onderzoek.

REFERENTIES:

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING
1.0	Marchand & Baan	13-11-98		F. Klijn	T. Schilperoort
2.0	Marchand & Baan	03-03-99		F. Hoozemans	T. Schilperoort
TREFWOORDEN			INHOUD		STATUS
veerkracht, kustbeheer, estuaria beheer, morfologie, ecologie			TEKST: TABELLEN: FIGUREN: APPENDICES	iv + 58 pp	☐ VOORLOPIG ☐ CONCEPT ☒ DEFINITIEF
PROJECTNUMMER: Z2568					

Inhoud

1 Inleiding	1-1
1.1 Opdracht.....	1-1
1.2 Doelstelling.....	1-1
1.3 Fasering.....	1-3
2 Wat is veerkracht?	2-4
2.1 Voorgeschiedenis.....	2-4
2.2 Veerkracht van wat?	2-4
2.3 De systeemtheorie.....	2-5
2.3.1 Stabiliteit, homeostase en veerkracht	2-5
2.3.2 Gewenste toestand of doel van systeem	2-6
2.4 Evenwichten.....	2-7
2.4.1 Verandering of evenwicht bij systemen	2-7
2.4.2 Stabiel evenwicht.....	2-8
2.4.3 Labiel evenwicht.....	2-9
2.4.4 Geen evenwicht.....	2-9
2.5 Gezonde watersystemen en veerkracht.....	2-10
2.6 Dynamiek en veerkracht	2-11
3 Veerkracht en beleid.....	3-1
3.1 Betekenis van begrip veerkracht voor beleid	3-1
3.1.1 Behoeftte aan veerkracht	3-1
3.1.2 Gewenste doelen en functies	3-1
3.2 Veerkracht als eigenschap en als strategie	3-2
3.2.1 In de wetenschap: veerkracht als eigenschap	3-2
3.2.2 In het beleid: veerkracht als strategie	3-2
3.2.3 Naar een definitie voor veerkracht van watersystemen.....	3-3
4 Verstoringen, ruimte- en tijdschalen	4-1
4.1 Verstoring en stress.....	4-1
4.1.1 Tijdelijke verstoring en stress.....	4-1
4.1.2 Permanente verstoring	4-2

4.2 Ruimte- en tijdschalen	4-2
4.2.1 Tijdschalen.....	4-2
4.2.2 Ruimteschaal.....	4-3
5 Naar een veerkrachtstrategie.....	5-1
5.1 Ontwikkelen van een veerkrachtstrategie.....	5-1
5.2 Gidsprincipes bij veerkracht.....	5-2
5.2.1 Flexibiliteit in gebruik	5-2
5.2.2 Meewerken met natuurlijke processen	5-3
5.2.3 Natuurlijke feedback en buffering.....	5-4
5.3 Behouden en vergroten van veerkracht	5-5
6 Morfologische en ecologische processen	6-1
6.1 Een hiërarchie van schaalniveaus bij de processen	6-1
6.2 Dominante processen.....	6-3
6.2.1 Externe forceringen van systemen.....	6-3
6.2.2 Interactie tussen deelsystemen.....	6-4
6.3 Biotische processen	6-4
6.3.1 Verschil tussen abiotische en biotische processen	6-4
6.3.2 Overlevingsstrategie op soortsniveau	6-5
6.3.3 Overlevingsstrategie op landschapschaal	6-6
7 Processen in kustwatergebieden	7-1
7.1.1 Indeling kustwatergebieden	7-1
7.2 Interactie tussen kustwatergebieden	7-1
7.2.1 Abiotische en biotische interacties	7-1
7.2.2 Overgangsgebieden.....	7-2
7.3 Waddenzee.....	7-3
7.3.1 Kenmerken.....	7-3
7.3.2 Morfologische veerkracht.....	7-3
7.3.3 Ecologische veerkracht.....	7-4
7.4 Zandige kust van Noord- en Zuid Holland	7-6
7.4.1 Kenmerken.....	7-6
7.4.2 Morfologische veerkracht.....	7-7
7.4.3 Ecologische veerkracht.....	7-8
7.5 Voordelta	7-10
7.5.1 Morfologische veerkracht.....	7-10
7.5.2 Ecologische veerkracht.....	7-12

7.6 Haringvliet	7-12
7.7 Grevelingenmeer.....	7-13
7.8 Veerse meer	7-15
7.9 Oosterschelde	7-15
7.10 Westerschelde	7-16
7.10.1 Kenmerken.....	7-16
7.10.2 Morfologische veerkracht.....	7-16
7.10.3 Ecologische veerkracht.....	7-18
8 Conclusies en aanbevelingen.....	8-1
8.1 Veerkracht en beleid	8-1
8.2 Veerkrachtbepalende processen.....	8-3
8.3 Aanbevelingen	8-4
9 Literatuur	9-1

Voorwoord

Dit rapport is tot stand gekomen na uitvoerige discussies met de opdrachtgever RIKZ, met WL-medewerkers en met externe deskundigen. Van de zijde van de opdrachtgever hebben drs. H. Verbeek en mevr. drs. S. Stolwijk belangrijke bijdragen geleverd. Interviews zijn gehouden met:

- dr. P. Herman van het NIOO-CEMO te Yerseke;
- dr. P. Augustinus van de Rijksuniversiteit Utrecht; en
- prof.dr.ir. M. Stive van de Technische Universiteit Delft/WL|Delft Hydraulics.

Op 14 januari 1999 is ten behoeve van het onderzoek 'Veerkrachtbepalende processen van estuaria en kusten' bij RIKZ een workshop gehouden. Als voorbereiding op de workshop hebben de externe deskundigen een schriftelijke bijdrage geleverd. Aan de workshop hebben de volgende personen deelgenomen:

- *als externe deskundigen:*
dr. F. van der Meulen van RIKZ;
dr. J. Beukema van NIOZ;
dr. N. Dankers van IBN-DLO;
dr. A. Smaal van RIVO-DLO;
prof. dr. W. Wolff van de Rijksuniversiteit Groningen;
dr. P. Augustinus van de Rijksuniversiteit Utrecht;
prof. dr. ir. M. Stive van WL | DELFT HYDRAULICS;
ir. H. Winterwerp van WL | DELFT HYDRAULICS;
dr. F. Klijn van WL | DELFT HYDRAULICS; en
- *namens de opdrachtgever RIKZ:*
drs. H. Verbeek;
drs. J. de Ruig;
drs. S. Stolwijk;
drs. E. Jagtman; en
- *als onderzoekers van WL | DELFT HYDRAULICS:*
drs. M. Marchand; en
drs. P. Baan.

Het rapport is gereviewd door drs. F. M.J. Hoozemans van WL | DELFT HYDRAULICS.

Wij zijn de bovenstaande personen zeer erkentelijk voor hun welwillende medewerking aan het onderzoek en de vaak levendige en inspirerende discussies die hebben plaatsgevonden. Uiteraard blijft de eindverantwoordelijkheid voor de wijze waarop alle inbreng is verwerkt berusten bij de auteurs.

I Inleiding

I.1 Opdracht

RIKZ heeft per brief dd. 22 oktober 1998 (kenmerk RIKZ/OS 986898) opdracht gegeven aan WL | DELFT HYDRAULICS voor het opstellen van een referentierapport voor morfologische en ecologische processen in relatie tot de veerkracht van (kust)watersystemen. Dit rapport bevat een overzicht van de voor veerkracht relevante ecologische en morfologische processen. Dit overzicht is ingekleurd met voorbeelden vanuit de huidige Nederlandse praktijk. Voor het verkrijgen van een goed overzicht zijn senior-onderzoekers en wetenschappers geconsulteerd.

I.2 Doelstelling

Het onderzoek heeft als doel een overzicht te presenteren van voor veerkracht relevante ecologische en morfologische processen aan de kust. Dit overzicht bestaat uit voorbeelden uit de Nederlandse praktijk van kustbeheer, zo mogelijk aangevuld met voorbeelden van elders.

Toelichting

Het begrip veerkracht is geïntroduceerd in de 4e nota Waterhuishouding als nieuwe beleidsdoelstelling, naast de bestaande beleidsdoelstellingen zoals veiligheid en duurzaamheid. Binnen de Waterverkenningen (WVK) is een verkenning gestart om aan dit begrip meer inhoud te geven. Naast interne discussies en case-studies voor verschillende watersystemen is het onderhavige referentierapport over veerkrachtbepalende processen een belangrijk onderdeel.

In verschillende watersystemen wordt gekeken naar de ingreep-effect relaties tussen groot-schalige inrichtings- en beheersmaatregelen en de morfologische en ecologische reactie hierop. Vaak wordt in deze studies alleen gekeken naar het effect van maatregelen op het systeem. Minstens zo belangrijk echter is de vraag hoe ervoor gezorgd kan worden dat een bepaalde maatregel niet nodig is of minder ingrijpend hoeft te zijn. Hierbij zal vanuit de kennis van morfologische en ecologische processen vastgesteld moeten worden welke doelen gehaald kunnen worden, die passen in een veerkrachtstrategie.

Daarnaast moet veerkracht ook in verband gebracht (kunnen) worden met 2 typen verandings- of ontwikkelingstrajecten:

1. het opvangen van extreme verstoringen, tijdelijke lozingen of incidenteel gebruik (bijvoorbeeld tijdens bouwactiviteiten), oftewel tijdelijke stressoren op het watersysteem;
2. het meegroeien met geleidelijke veranderingen buiten het bereik van het eerste punt, zoals klimaatverandering en de daaraan gerelateerde zeespiegelstijging, oftewel permanent toenemende stress of belasting op het watersysteem.

Een eerste visie op veerkrachtiger kustwatersystemen is neergelegd in het rapport *Mee-groeien met de Zee* (WNF, 1996). Hierin wordt een uitdagend beeld neergezet, gebaseerd op een heel ander perspectief op onze kust. Kenmerkend in dit rapport is de actieve rol van de natuur bij het herstel en onderhoud van de kustzone en de estuaria. Als vervolg hierop zijn andere studies uitgevoerd en discussies gehouden. Zo is onder meer in opdracht van de Vereniging Natuurmonumenten het rapport *Zand, Zee en Later* verschenen en is door de Stichting Werkgroep Noordzee een congres georganiseerd over bouwen in de Noordzee. In het rapport *Zand, Zee en Later* wordt expliciet gezocht naar veerkrachtbepalende processen, want *'De kustvormende processen van water- en zandbeweging kunnen worden beschouwd als een zelforganiserend systeem dat met zand en slib als bouwstof, gedreven door zon, wind, golven en getij vorm geeft aan de kustzone'* (Vereniging Natuurmonumenten, 1998). In het congresverslag van de Stichting Werkgroep Noordzee wordt ook expliciet verwezen naar veerkracht: *'Alleen als de Noordzee weer sterk, gezond en veerkrachtig is geworden, kan ze functioneren als een rijke bron van mogelijkheden'* (Stichting Werkgroep Noordzee, 1998).

Om dergelijke visies beter te onderbouwen is een goed overzicht van de relevante processen voor het hele Nederlandse kustsysteem noodzakelijk. Tot nu toe worden er weinig tot geen verbanden gelegd tussen morfologie en ecologie, noch tussen de Waddenzee en de Zeeuwse Delta of tussen de Oosterschelde en de Westerschelde als het gaat om veerkracht en de rol van natuurlijke processen hierin.

Het beleid is op zoek naar een totaalbeeld, dat aansluit op de vraag:

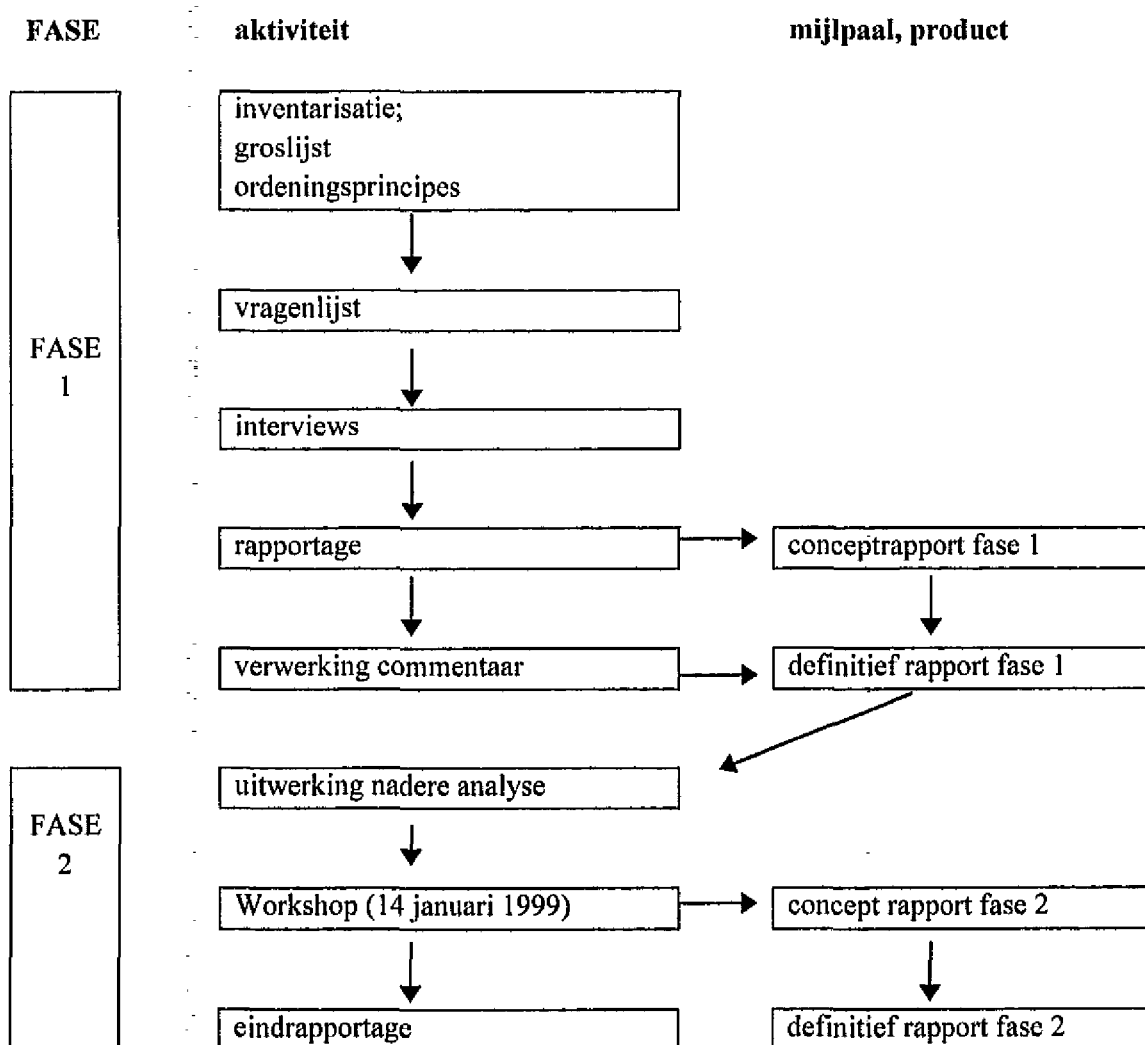
1. hoe ver kunnen we gaan met onze inrichtings- en beheersmaatregelen? en
2. op welke wijze kunnen we inspelen op de natuurlijke dynamiek van het (kust)-watersysteem?

Zeker ten aanzien van de grote inrichtingsprojecten (Maasvlakte 2, gewijzigd spuibeheer Haringvliet, Vliegveld in Zee), maar ook bij kleinere projecten is een beter inzicht in de wederzijdse relatie "menselijk handelen - natuurlijke dynamiek" van groot belang.

1.3 Fasering

Het onderzoek is uitgevoerd in twee fasen. In fase 1 stond het inwinnen van informatie door interviews aan de hand van een vragenlijst centraal. In fase 2 werd deze informatie geanalyseerd op basis van ondermeer de aanbevelingen van de externe deskundigen en werd een workshop gehouden. De informatieverwerking is uitgevoerd van grof naar fijn: eerst de grote lijnen en groslijsten van aandachtspunten en processen, daarna accenten leggen (bepaling van relevante en dominante processen) en uitwerken van enkele voorbeelden.

Het onderhavige rapport vormt het eindprodukt van het gehele onderzoek. Hierin zijn de opmerkingen en bijdragen aan de workshop verwerkt. Het schema geeft de fasering en aanpak van het onderzoek weer:



2 Wat is veerkracht?

2.1 Voorgeschiedenis

De term veerkracht roept vaak verschillende associaties op. Deze verschillen zijn meestal terug te voeren tot de context waarin het begrip gebruikt wordt. Zoals reeds in een eerder rapport is behandeld (Baan et al., 1997a), worden er derhalve verschillende betekenissen toegekend aan het begrip veerkracht. Het woord kan worden aangetroffen zowel in de volksmond (bijvoorbeeld *'Ajax vertoonde in de tweede helft een opmerkelijke veerkracht'*) als in een meer strikte, wetenschappelijke context (bijvoorbeeld *'deze stalen veer heeft een bijzonder hoge veerkracht'*). Het wordt ook in de ecologie gebruikt om aan te geven in welke mate ecosystemen in staat zijn om onder veranderende omstandigheden (stressfactoren) te blijven voortbestaan. In deze laatste betekenis, het vermogen van systemen om zichzelf en van het systeem afhankelijke functies onder veranderende omstandigheden in stand te houden, is het begrip ook voor het beleid interessant. Bij de functies gaat het niet alleen om natuurfuncties maar ook om maatschappelijke functies en dus behoud van én natuurwaarden én (culturele en) sociaal-economische waarden. In deze betekenis wordt het begrip veerkracht tegenwoordig gebezigd in beleidsnota's (vergelijk Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1997).

2.2 Veerkracht van wat?

Wanneer de context bekend is hoeft er niet veel discussie te ontstaan over wat we precies bedoelen. Immers, niemand zal zich afvragen hoe de veerkracht van Ajax nu gemeten zou moeten worden. En bij de stalen veer is die veerkracht juist een belangrijke eigenschap ervan en voelt men sneller de behoefte om die uit te drukken in een bepaalde maat. De discussie (en vaak verwarring) ontstaat wanneer de context niet geheel duidelijk is. Met andere woorden, het object of systeem waar veerkracht betrekking op heeft, is niet altijd goed gedefinieerd of verschillende personen geven hieraan ieder een verschillende invulling. Bijvoorbeeld: wanneer wij het hebben over de veerkracht van de kust, wat bedoelen we dan precies met *'kust'*? Gaat het over de kust als morfologisch systeem, of als een geïntegreerd systeem van fysische, chemische, biologische en socio-economische processen? Betrekken we bij het systeem nu wel of niet de invloed van de mens? Hoort onderhoud van de kust nu wel of niet bij *'het systeem'*?

Het begrip veerkracht krijgt pas betekenis bij systemen met een zekere interne organisatie en doelgerichtheid. Binnen het systeem moet een zeker vermogen bestaan om een situatie of toestand onder invloed van externe factoren in stand te houden. Dit vermogen kan zijn gebaseerd op weerstand of veerkracht. Beide mechanismen kunnen leiden tot een duurzaam voortbestaan (persistence) van het systeem.

In het algemeen veranderen systemen in een rustig, weinig veranderlijk milieu nauwelijks, maar storten in als de externe druk te groot wordt. Systemen in een dynamisch milieu veranderen zelf veelvuldig en sterk, maar herstellen zich bijzonder snel als de externe druk

weer is weggevallen. Voor ecosystemen is gebleken dat veerkrachtige systemen het best zijn aangepast aan dynamische omstandigheden.

In dit rapport gaat het vooral om de zelfregulerende processen (zowel ecologisch als morfologisch) die de veerkracht van watersystemen bepalen. We hebben het dus over grote, complexe systemen, en niet over individuele onderdelen, zoals een rietstengel of een boom (waarvoor de meer mechanische betekenis van veerkracht geldt). Vóórdat we het begrip watersysteem nader definiëren, maken we eerst een uitstapje naar de systeemtheorie, om te kijken of daarin aanwijzingen gevonden kunnen worden die het begrip veerkracht van een systeem en de daarbij relevante processen kunnen verhelderen.

2.3 De systeemtheorie

2.3.1 Stabiliteit, homeostase en veerkracht

De systeemtheorie stelt dat *stabiliteit* een belangrijke eigenschap van een systeem is. Kramer & De Smit (1982) zeggen hierover:

'Stabiliteit is:

de eigenschap van een systeem dat de responsie op een externe of een interne verstoring verdwijnt, nadat de oorzaak van de verstoring is weggenomen.

Men kan ook zeggen dat een systeem stabiel is als een door een storing uit zijn begin-toestand gebracht systeem zich na het wegnemen van deze storing weer naar de begin-toestand begeeft. [...] Bij de definiëring van stabiliteit is dus steeds sprake van terugkeer naar een bepaalde toestand. Verschillende systemen demonstreren deze eigenschap zo sterk en hebben een zo sterke voorkeur voor een bepaalde toestand, dat daaraan de term gewenste toestand kan worden toegekend. Deze stabiele (dynamische) systemen bezitten dan de eigenschap van finaliteit of teleologie: het streven naar een doel (de gewenste toestand) vanuit een willekeurige toestand. Binnen het stabiliteitsbereik streven deze systemen naar deze toestand.'

Een ander, veel gebruikt begrip in de systeemtheorie is *homeostase*. Over homeostase zeggen zij:

'Het stabiliteitsbegrip omvat meer dan alleen terugkeer naar de begintoestand na verstoring. Vaak is het voor het systeem onmogelijk terug te keren naar de begintoestand door veranderde omstandigheden in de omgeving of in het systeem. Toch kan het systeem dan nog stabiel gedrag vertonen door een andere toestand dan de begintoestand te vinden, die ook stabiel is. Systemen die zulk een gedrag vertonen, noemen wij ultrastabiel of homeostatisch. [...] Uitgangspunt is een systeem dat in interactie staat met zijn omgeving en daarin stabiel gedrag ten toon spreidt t.a.v. voor het systeem essentiële grootheden. Dit gedrag komt tot stand in een continue interactie van systeem en omgeving. Indien de verstoring in de omgeving aanleiding geeft tot een dusdanige interactie dat het niet langer mogelijk is voor het systeem stabiel gedrag ten toon te spreiden, beschikt het systeem over alternatieve gedragsmogelijkheden.'

Opvallend is dat Kramer & De Smit nergens in hun boek het begrip veerkracht gebruiken. Ons inziens vertoont het begrip stabiliteit en ook homeostase, zoals door Kramer & Smit gebezigd, overeenkomst met veerkracht. Binnen het 'stabiliteitsbereik' is een systeem veerkrachtig. Voorts neemt de veerkracht toe naarmate het stabiliteitsbereik groter is.

Resumerend kan gesteld worden dat:

- het begrip *systeem* goed moet worden gedefinieerd en helder omschreven (inclusief de voor het betreffende systeem essentiële grootheden);
- een systeem binnen het stabiliteitsbereik veerkrachtig is; en
- voor systemen waarvoor de gewenste toestand, het doel of evenwicht niet is te definiëren, veerkracht geen betekenis heeft.

2.3.2 Gewenste toestand of doel van systeem

Het is interessant om na te gaan hoe de gewenste toestand of het doel kan worden geformuleerd, bijvoorbeeld:

- Het bereiken van een zo laag mogelijk energetisch niveau: vooral bij eenvoudige, (mechanische) systemen treffen we dit aan. Denk aan een *slinger*, die na verloop van tijd zal terugkeren in een laag-energetische toestand, namelijk stil hangend. Door de wrijving met het ophangpunt en de lucht is de hoeveelheid initiële kinetische energie omgezet in warmte.
- Het zichzelf in stand willen houden: levende organismen en soorten kennen allerlei mechanismen om te overleven.
- Het vervullen van functies voor de mens: het beheerde watersysteem staat ten dienste van de mens. De gewenste toestand is vastgelegd in de beheersdoelen.
- Het instandhouden van intrinsieke natuurwaarden: het systeem staat niet alleen ten dienste van de mens, maar er wordt ook een eigen waarde toegekend.

Overigens kan hierbij opgemerkt worden dat het teleologische karakter van deze systemen (de doelgerichtheid) uiteindelijk voort komt uit de causaliteit. De slinger *wil* niet naar een laag energetisch niveau, maar wordt hiertoe *gedwongen* (zo is te verklaren uit de wetten van de natuurkunde). Levende organismen *willen* niet zozeer blijven leven, maar worden hiertoe *gedwongen* door hun genen, etc. Bij het beheer van watersystemen is deze causaliteit overigens minder vanzelfsprekend. We laten deze min of meer filosofische beschouwing hier verder rusten. Wel blijkt dat hoe meer duidelijkheid er is over het doel of de gewenste toestand, hoe eenvoudiger het is om het begrip veerkracht nader in te vullen.

Wanneer we naar (kust)watersystemen kijken vallen ons een aantal dingen op:

1. In de eerste plaats kunnen we niet altijd uitgaan van systemen die streven naar een doel of gewenste toestand. Zoals reeds eerder (Baan et al., 1997a) is aangegeven is er bijvoorbeeld voor het morfologische systeem van de (Hollandse) kust geen enkele aanwijzing dat er (van nature) een gewenste toestand of doel is. Er is alleen maar verandering. Wel kan een bepaalde toestand langdurig stabiel zijn (of lijken).

2. In veel gevallen zal er bij watersystemen (zeker wanneer men naar een wat langere tijdsperiode kijkt) eerder sprake zijn van homeostatische systemen dan stabiele systemen. Immers, de begintoestand zal vrijwel nooit opnieuw bereikt kunnen worden vanwege veranderingen in de omgevingsfactoren (bijvoorbeeld klimaat, socio-economische randvoorwaarden etc.). Met andere woorden: het systeem verandert voortdurend maar de essentiële grootheden (of eigenschappen, functies etc.) blijven wel behouden.
3. Het verdient aanbeveling om het begrip 'watersysteem' zodanig te definiëren dat (een zekere mate van) menselijk beheer er onder valt. Het voordeel is dat de gewenste toestand in dat geval goed te definiëren is, want die wordt afgeleid van de beleids- en beheersdoelen voor dat watersysteem.

Om het laatste te illustreren kunnen we de zoete meren als voorbeeld nemen. Veel meren in Nederland zijn ten gevolge van eutrofiëring '*verbrasemd*'. Door vertroebeling zijn de waterplanten en de Snoek verdwenen en krijgt de Brasem de overhand. Brasem woelt de bodem om en houdt de troebelheid daarmee in stand. Bezien vanuit fysisch en ecologisch oogpunt is een dergelijk verbrasemd meer zeer stabiel. Zo hebben emissiesaneringsprogramma's niet geleid tot het gewenste resultaat, namelijk een helder meer. Kennelijk vertoont het verbrasemde meer een grote veerkracht ten aanzien van externe veranderingen, i.c. verlaging van de trofietoestand. De vraag is nu of we geïnteresseerd zijn in de op deze manier gebruikte term veerkracht. Vanuit de wetenschap mogelijk wel maar vanuit het beleid geredeneerd waarschijnlijk niet.

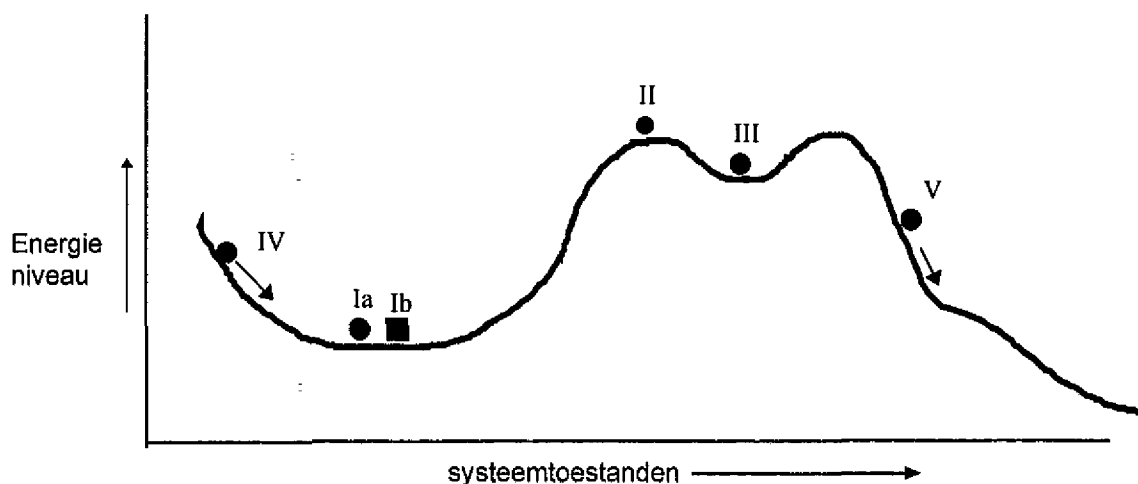
2.4 Evenwichten

2.4.1 Verandering of evenwicht bij systemen

Systemen kunnen in de tijd veranderen of in een (dynamisch) evenwicht verkeren. In het eerste geval spreken we van een 'transient state'. Het is een toestand die in de tijd verandert. Een voorbeeld van een transient state is de toestand van een wekker die door middel van een veer wordt opgewonden. Tijdens het lopen van de wekker ontspant de veer zich en verandert dus de toestand. Onder een dynamisch evenwicht of steady state verstaan wij een toestand van een open systeem, die niet verandert. Dit systeem heeft een input en een output, maar de waarde van de corresponderende toestand verandert niet. Als voorbeeld kan de lichaamstemperatuur van de mens dienen. Deze verkeert in een steady state, want hoewel een continu verbrandingsproces plaatsvindt en continu warmte aan de omgeving wordt afgestaan, blijft de temperatuur 37 ° C (Kramer & de Smit, 1982).

Bij systemen kunnen we verschillende situaties onderscheiden met betrekking tot de evenwichtssituatie (zie figuur 2.1):

- een stabiel evenwicht (I,III);
- een labiel evenwicht (II); en
- geen evenwicht (IV, V).



Figuur 2.1: mogelijke vormen van evenwicht. Verklaring zie tekst.

Bij systemen in evenwicht (situatie I, III) is sprake van stabiliteit. Immers, er zal veel moeite (lees: energie, of beheersinspanning) moeten worden gedaan om het systeem te veranderen. In situatie I is het evenwicht zeer stabiel. Situatie III is minder stabiel dan situatie I; het stabiliteitsbereik is kleiner en er is een kleinere impuls of verstoring nodig om het systeem uit evenwicht te brengen. We kunnen dit ook een lokaal evenwicht noemen. Bij systemen in een lokaal evenwicht (II) is er weinig voor nodig om in een andere toestand te geraken. Bovendien is er zeer veel inspanning nodig om de uitgangssituatie weer te herstellen, zo dit niet onmogelijk is. Bij systemen die uit evenwicht zijn, kan het systeem op weg zijn naar een evenwichtstoestand (IV) of naar een situatie die onbekend is (geen evenwicht in zicht, V).

2.4.2 Stabiel evenwicht

Bij een stabiel evenwicht is sprake van een toestand die grote externe druk kan weerstaan en weinig tot geen beheersinspanningen behoeft. Een stabiele evenwichtssituatie kan zijn gebaseerd op een hoge veerkracht of hoge weerstand tegen verandering. Dit laatste zou kunnen worden geadstrueerd door middel van een kubus (Ib): hoe meer de knikker gaat lijken op een kubus, hoe hoger de weerstand tegen verandering.

Als een systeem veerkrachtig is betekent dat nog niet dat dat systeem maatschappelijk ook gewenst is. Zo zijn de eerder genoemde verbrasmde troebele wateren in de huidige situatie (met veel nutriënten in het systeem) zeer stabiel en veerkrachtig. Maar gewenst zijn deze systemen allerminst. Heldere wateren kunnen ook stabiel zijn, maar de overgang van een situatie met troebel water naar de gewenste situatie met helder water is alleen met grote beheersinspanningen te bereiken (vergelijk de overgang van situatie I naar III in figuur 2.1) en daarna blijft het systeem kwetsbaar. Het valt gemakkelijk terug naar de oude troebele toestand en vraagt veel bijsturing. Bij op dergelijke wijze verkregen heldere wateren kan dan niet van veerkracht worden gesproken.

2.4.3 Labiel evenwicht

Een evenwichtstoestand die labiel is (situatie II, in figuur 2.1) kan enige externe druk weerstaan, maar niet teveel. Dan gaat het systeem al snel over naar een andere evenwichtstoestand. Een dergelijk systeem is stabiel binnen betrekkelijk nauwe randvoorwaarden. Ook weerstand (als de knikker meer de vorm krijgt van een kubus) kan bijdragen aan de stabiliteit.

Een voorbeeld van een labiel evenwicht is een kunstmatig in stand gehouden brakwaterzone, die slechts kan bestaan bij de gratie van een evenwicht tussen de aanvoer van zoet rivier- en regenwater enerzijds en zout zeewater anderzijds. Indien de brakwaterzone niet vrij kan bewegen (omdat er bijvoorbeeld door compartimentering een beperkte ruimte is), kan het systeem in korte tijd door hevige regenval of hoge rivierafvoeren volledig verstoord raken.

Ook bij deze evenwichtssituaties kan sprake zijn van gewenst en ongewenst. Maar als de situatie ongewenst is, is de overgang naar een andere toestand gemakkelijker te realiseren dan bij een stabiel systeem.

2.4.4 Geen evenwicht

Een systeem dat uit evenwicht is kan op weg zijn naar een nieuwe minder wenselijke of zelfs ongewenste toestand. Beheersinspanningen zijn dan nodig om de huidige toestand te handhaven en te voorkomen dat het systeem 'afglijdt' naar de minder gewenste toestand. Zodra de beheersinspanningen worden beëindigd vindt dit afglijden plaats. Een dergelijk systeem is niet veerkrachtig, maar kan wel weerstand hebben.

Ook is het mogelijk dat een systeem uit evenwicht is en zich beweegt in de richting van een wenselijke - en mogelijk veerkrachtige - evenwichtssituatie. Dergelijke overgangen kunnen soms zeer traag (op menselijke tijdschaal) verlopen, bijvoorbeeld bij morfologische processen langs de kust. Dan kan het zinvol zijn het systeem op weg te helpen met eenmalige of tijdelijke maatregelen, bijvoorbeeld zandsuppletie in de Oosterschelde om de zandhonger (circa 400 miljoen m³) te verminderen.

Een systeem dat niet in evenwicht is en niet op weg is naar een evenwichtssituatie, is voortdurend aan het veranderen. Eventueel kan worden gepoogd met beheersinspanningen een bepaalde toestand te bestendigen. Lukt dit niet, dan is aanpassing aan de (steeds veranderende) toestand van het systeem de enige optie.

Opgemerkt wordt dat een systeem dat niet in evenwicht verkeert nog wel een meer of minder grote weerstand kan hebben, waardoor verandering wordt vertraagd of tegengegaan. De weerstand neemt toe naarmate de vorm van de knikker in figuur 2.1 in situaties IV en V meer gaat lijken op die van een kubus.

2.5 Gezonde watersystemen en veerkracht

Een sterk in de belangstelling staand begrip is dat van de *gezondheid* van het watersysteem. Zo luidt de eerste zin van de vierde Nota Waterhuishouding:

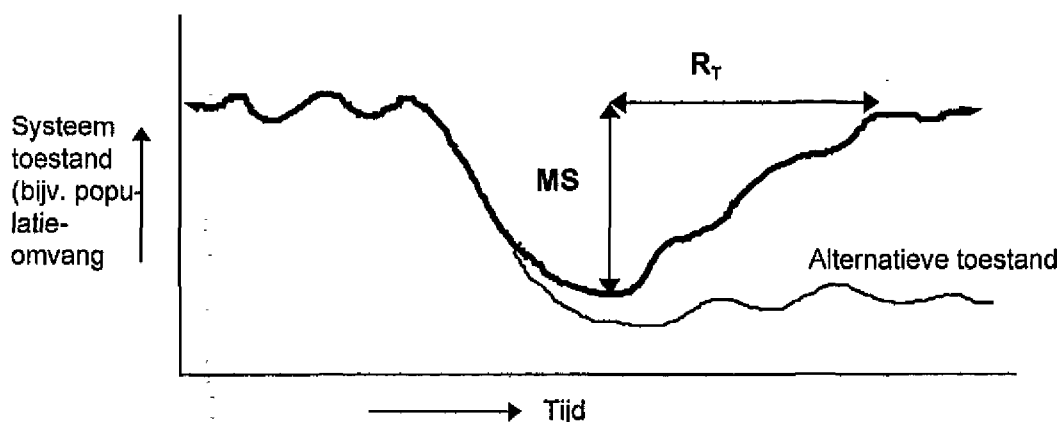
'Een veilig en goed bewoonbaar land met gezonde en duurzame watersystemen is het streefbeeld waarmee het Nederlandse waterbeheer anno 1998 de geschiedenis zal ingaan.'

Het is daarom relevant om de relatie tussen gezondheid en veerkracht van watersystemen, en in het bijzonder van ecosystemen, verder uit te werken.

In een recent artikel van Costanza en Mageau (in druk) wordt het begrip gezond ecosysteem gedefinieerd als:

'a healthy ecosystem is one that is sustainable -- that is it has the ability to maintain its structure (organization) and function (vigor) over time in the face of external stress (resilience).'

Vervolgens onderscheiden ze twee aspecten waarmee veerkracht kan worden gedefinieerd en gekwantificeerd, namelijk: 1) de tijdsduur van het herstel na de stressimpuls; en 2) de maximale grootte van de stressimpuls waarbinnen herstel van het systeem plaats kan vinden. In figuur 2.2 is dit schematisch weergegeven, waarbij voor de systeemtoestand bijvoorbeeld de populatie-omvang van een soort kan worden gelezen, die onder invloed van een stressimpuls afneemt en daarna langzaam weer herstelt.



Figuur 2.2: Weergave van de twee componenten waaruit veerkracht bestaat. MS is maximum stressimpuls, R_T staat voor de hersteltijd (recovery) nadat de impuls is gestopt. (Bron: Costanza & Mageau, in druk).

Volgens Costanza & Mageau kan een gecombineerde maat voor veerkracht worden uitgedrukt als MS/R_T . Immers, hoe sneller een systeem herstelt na een grote stress, hoe veerkrachtiger het systeem volgens hen is. Betekent dit nu dat een ecosysteem gezonder is naarmate het meer veerkracht heeft? Het antwoord is NEE! Er is een zekere trade-off tussen veerkracht en organisatiegraad. Costanza en Mageau formuleren de volgende hypothese:

'As a general hypothesis, we believe that systems with a balance between organization and resilience within a given range of system vigor can be characterized as 'healthy'. In other words, an ecosystem must be free to develop in the absence of serious pertur-

bation to realize its full potential while maintaining adequate resilience to insure against stress, and vigor to quickly recover from small-scale perturbations.'

Van nature zijn er ecosystemen met een hoge veerkracht en een lage veerkracht. Beide systemen kunnen gezond (en vanuit maatschappelijk oogpunt gewenst) zijn. Voorbeelden van ecosystemen met een hoge veerkracht zijn pioniersvegetaties en eutrofische meren: deze systemen worden gekenmerkt door een relatief lage organisatiegraad, relatief weinig soorten die bovendien veelal een 'r' strategie van overleving hebben (zie voor uitleg paragraaf 6.3.2). In deze systemen is er vaak sprake van een lage energie-efficiëntie en grote reserves (bijvoorbeeld een grote zaadbank of een overmaat aan eieren en/of juvenielen). Naarmate er ecologische successie optreedt zal het ecosysteem langzaam veranderen in een systeem met een hogere organisatiegraad en een navenant lagere veerkracht. Er treedt een toename op van de diversiteit aan soorten en de voedselwebstructuur wordt complexer. Er is veel interspecifieke concurrentie waardoor het gehele systeem een hogere mate van energie-efficiëntie bereikt. We zien dan ook dat in de meeste climax-ecosystemen (zoals koraalriffen, tropische bossen, maar ook mosselbanken en zeegrasvelden) er een hoge turnover is, maar dat de netto productie gering is. Met andere woorden: alle energie en materie wordt maximaal benut en hergebruikt. Tevens zien we dat de mate van beïnvloeding van de abiotische omgeving door biotische componenten toeneemt: er ontstaat een micro-klimaat dat optimaal geschikt is voor het voortbestaan van de soorten. Deze soorten hoeven daarom (onder normale omstandigheden) niet aangepast te zijn aan een sterk wisselende fysische omgeving en overleven middels een 'K' strategie (zie voor uitleg paragraaf 6.3.2). Wanneer dit micro-klimaat ernstig wordt aangetast door een externe stress, dan is er een gerede kans dat het gehele ecosysteem in elkaar klappt.

Een voorbeeld van dit laatste is het voorkomen van de mossel in de Waddenzee. De mossel bleek zich in het intergetijdegebied slecht te herstellen na het wegvissen van de mosselbanken in 1990. Een aannemelijke verklaring voor het uitblijven van herstel is, dat mossels een vaste ondergrond nodig hebben om zich ergens te kunnen handhaven en deze ondergrond bestaat in de Waddenzee vrijwel uitsluitend uit oude mosselen (Beukema, schriftelijke bijdrage workshop¹).

2.6 Dynamiek en veerkracht

Een specifiek probleem bij het bepalen van de veerkracht van systemen is de definitie van de toestand waarnaar het systeem terugkeert na een verstoring. Zeker wanneer we het hebben over hoogdynamische systemen is deze toestand niet altijd goed te beschrijven. Het Waddenzeesysteem bijvoorbeeld is elk jaar weer anders en ook van dag tot dag treden er verschillen op. Wel lijkt er een toestandsgebied te bestaan waarbinnen het systeem zich het grootste deel van de tijd beweegt. Dat gebied wordt aangeduid met het begrip 'Normal Operating Range' (NOR), dat onder meer gebruikt is voor mikrokosmosen. Met statistische technieken is deze NOR ook te beschrijven (Wolff, schriftelijke bijdrage workshop).

¹ Deelnemers aan de workshop op 14 januari 1999 hebben ter voorbereiding hiervan een schriftelijke bijdrage geleverd. Waar deze bijdragen in dit rapport zijn gebruikt is hiervan expliciet gerefereerd naar de auteur van de betreffende bijdrage.

Een belangrijk kenmerk van veel hoogdynamische systemen is het inherent chaotische gedrag ervan. Een natuurlijk zeegat bijvoorbeeld, gedraagt zich chaotisch: geulen migreren, verdwijnen en worden geboren, platen groeien aan en nemen weer in omvang af, enz. Toch blijft overall gesproken het plaatareaal constant en blijken de doorsneden van de geulen aan empirische wetten te voldoen (doorsnede evenredig met achterliggende komberging, enz.) (Winterwerp, schriftelijke bijdrage workshop). Hoewel het gedrag van een dergelijk chaotisch systeem niet exact is te voorspellen, kan toch een Normal Operating Range worden bepaald. De veranderingen zullen zich immers binnen een bepaald domein (in tijd en ruimte) afspelen. Dit fenomeen kan worden geïllustreerd aan de hand van het volgende voorbeeld:

Een slinger (een puntmassa aan een touwtje) opgehangen boven twee zich op enige afstand van elkaar geplaatste magneten zal een volkomen regelmatige slingerbeweging uitvoeren, welke goed te berekenen is uit de bekende fysische wetten (wet van Newton). Deze toestand is te classificeren als een stabiel, maar lokaal evenwicht: na een kleine verstoring zal zich een nieuw evenwicht instellen. De uitslag van de slinger, en dus zijn slingertijd zal enigszins veranderen, maar dit is nog steeds geheel voorspelbaar. Als dezelfde slinger wordt opgehangen boven drie magneten, wordt de beweging onvoorspelbaar; in het jargon: chaotisch. De slinger komt nooit meer, of een keer toevallig, in zijn uitgangspunt terug. Dit gedrag is kenmerkend voor niet-lineaire systemen. Toch heerst er binnen deze wanorde nog een zekere orde: de slinger, zal bijvoorbeeld nooit buiten een bepaald gebied slingeren. Dergelijke systemen bevinden zich in een dynamisch evenwicht. Deze orde kan worden beschreven met zogenaamde "vreemde attractoren".

Het is bekend dat chaotische systemen zich heel flexibel gedragen en een grote tolerantie voor externe verstoringen hebben, met andere woorden dat zij grote veerkracht hebben. Een bekend voorbeeld is de bloedsomloop en de pompwerking van het hart. Dit is een zeer chaotisch systeem (wiskundig althans), doch reageert uitermate adequaat op veranderende omstandigheden (de trap oprennen, bijvoorbeeld) - er zijn aanwijzingen dat een deterministisch gestuurd hart bij lange na niet zo adequaat kan reageren (Winterwerp, schriftelijke bijdrage workshop).

3 Veerkracht en beleid

3.1 Betekenis van begrip veerkracht voor beleid

3.1.1 Behoeftte aan veerkracht

Het beleid heeft behoefte aan een begrip als veerkracht (vergelijk Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1997). Met dit begrip kan een verzameling aan eigenschappen van water- en kustsystemen worden aangeduid, die maatschappelijk gezien een zekere waarde vertegenwoordigt en die een totaalbeeld geeft van die waarde. Zo kan het begrip veerkracht iets toevoegen aan het bestaande arsenaal aan begrippen dat door het beleid wordt gehanteerd. Het feit dat de maatschappelijke functies en waarden bij de invulling van het begrip veerkracht door het beleid ook in beeld komen geeft het begrip de gewenste *maatschappelijke betekenis die uitstijgt boven die van de natuurwetenschap*.

In een maatschappelijke context gaat het bij water- en kust(water)systemen om de interactie tussen maatschappelijke en natuurlijke functies. Een belangrijke vraag die hierbij speelt is of de processen die in deze systemen plaatsvinden en die bijdragen aan het in stand houden van het betreffende systeem voldoende gelegenheid krijgen om het systeem met zijn functies 'op orde te houden' en de externe 'druk' op te vangen en/of zich te ontwikkelen om zich te kunnen aanpassen aan veranderende omstandigheden.

3.1.2 Gewenste doelen en functies

Volledig ongestoorde natuurlijke systemen, die voldoende ruimte hebben en die de tijd krijgen om zich aan te passen aan veranderende omstandigheden zouden als veerkrachtig kunnen worden aangemerkt. Maar dergelijke systemen, waarin voor de mens geen plaats is en die niet worden beïnvloed door menselijke activiteiten, zijn voor het beleid niet interessant. Pas als maatschappelijke functies en activiteiten en interacties met het natuurlijk systeem in het geding zijn worden beschouwingen over veerkracht voor praktische beleidstoepassing interessant.

In een dichtbevolkt land als Nederland komt ongestoorde natuur niet voor. De mate van verstoring of interactie van gebruiksfuncties met natuurlijke (land- en water-)systemen varieert weliswaar, maar volledig ongestoord is het nergens. Veeleer is sprake van halfnatuurlijke of begeleid-natuurlijke landschappen, natuur die door menselijk ingrijpen is afgestemd op het gebruik of natuur die zich heeft ontwikkeld door aanpassing aan het menselijk gebruik.

In beleidsnota's als de Vierde Nota waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1997) wordt veerkracht gebruikt in een positieve betekenis, dat wil zeggen het gaat bij veerkracht om een verzameling eigenschappen van water- en kust(water)systemen, die

gewenst zijn. Hierin zit een impliciet uitgangspunt verscholen, namelijk dat veerkracht alleen van belang is voor gewenste systemen (met al hun functies). In de (grote) veerkracht van een verbrasmid meer is het beleid niet geïnteresseerd, integendeel men doet de grootste moeite om dergelijke meren om te vormen naar (als minder veerkrachtig aan te merken) heldere wateren. Vanuit het beleid bekeken moet veerkracht dus altijd gezien worden in relatie tot de gewenste doelen en functies van de water- en kust(water)systemen.

3.2 Veerkracht als eigenschap en als strategie

3.2.1 In de wetenschap: veerkracht als eigenschap

In de mechanica en ook in de ecologie wordt veerkracht gebruikt in een strikte betekenis, die aangeeft dat een toestand zich kan herstellen na een verstoring. Het gaat in dit verband primair om herstelvermogen van systemen (of voorwerpen) die veranderen onder externe druk. Als tegenhanger wordt het begrip weerstand gebruikt. Dat geeft aan dat een systeem (of voorwerp) bestand is tegen externe druk en juist niet verandert. Voor beide eigenschappen geldt dat er een zekere maximale druk is waartegen een systeem bestand is of waarvan het zich kan herstellen. Als de druk groter wordt stort het systeem in.

Voor het voortbestaan van (eco)systemen zijn beide eigenschappen van belang. De persistentie van een systeem is altijd gebaseerd op een combinatie van een zekere mate van weerstand en van veerkracht. De weerstand is een eigenschap die gekoppeld kan worden aan structuren of patronen. De veerkracht is gebaseerd op de processen of interacties die in het systeem plaats vinden. Hieruit volgt dat het één niet zonder het ander kan: de op processen gebaseerde veerkracht kan niet zonder een zekere mate van weerstand van de structuren. Maar ook hebben we geconstateerd (zie paragraaf 2.5) dat sommige systemen voor hun overleven vooral afhankelijk zijn van een hoge veerkracht, waarbij structuren weinig weerstand vertonen maar wel snel weer kunnen terugkeren, en andere juist afhankelijk zijn van een hoge weerstand van de structuren.

Als in de wetenschap over veerkracht wordt gesproken gaat het vooral om de eigenschappen c.q. de kenmerken van het systeem. Aan de hand van deze kenmerken wordt inzicht verkregen in het gedrag van het systeem en kan dit worden beschreven.

3.2.2 In het beleid: veerkracht als strategie

In het beleid krijgt het begrip veerkracht veelal een bredere betekenis en gaat het erom aan te geven of en in hoeverre een systeem met al zijn functies in staat is zich te handhaven onder externe druk. Bij de externe druk die moet worden opgevangen gaat het enerzijds om gebeurtenissen (stress) met een tijdelijk karakter en anderzijds om geleidelijk verloopende maar wel permanente veranderingen in water en kust(water)systemen als zeespiegelstijging. Systemen zijn in staat deze druk op te vangen door:

1. een (natuurlijk) weerstandsvermogen;
2. herstelvermogen; en
3. aanpassingsvermogen.

Zoals we hierboven reeds zagen, zal het uiteindelijke vermogen tot handhaving afhankelijk zijn van een combinatie van deze drie vermogens. *Wanneer in het beleid gesproken wordt over een veerkrachtstrategie, dan wordt hiermee bedoeld dat met name het herstelvermogen en aanpassingsvermogen wordt versterkt.* In feite gaat het meestal om een accentverschuiving. Werd het waterbeheer vroeger vooral gekenmerkt door het verhogen van de weerstand, thans ligt de nadruk op het verhogen van de veerkracht.

Een *weerstandstrategie* biedt zoveel mogelijk weerstand aan externe druk. Op *kunstmatige manier* wordt (werd) gepoogd de natuurlijke processen onder controle te houden en in te dammen. Voorbeelden van een weerstandstrategie zijn het aanleggen van (steeds hogere) dijken en het beheersen van de waterstromen d.m.v. kanalen, gemalen en sluizen.

Een strategie gebaseerd op veerkracht (*veerkrachtstrategie*) maakt daarentegen gebruik van de natuurlijke processen die ten grondslag liggen aan deze vermogens (meebuigen met de natuur). Het gaat er om in te spelen op natuurlijke processen in de systemen, zodanig dat bij het gebruik van het systeem wordt meégewerkt met deze processen en deze processen niet worden tégengewerkt. Door de natuurlijke processen optimaal te benutten kan worden bereikt dat de bijsturing van het systeem en de beheersinspanningen om het systeem 'op orde' te houden beperkt kunnen blijven. In die zin kan dus worden gesteld dat er een duidelijke samenhang is tussen veerkracht en benodigde bijsturing en beheersinspanning: het laatste is minimaal als de veerkracht maximaal is. Een veerkrachtstrategie richt zich op het behouden en waar mogelijk vergroten van de veerkracht van een systeem. In hoofdstuk 5 worden een aantal gidsprincipes besproken die de basis vormen voor het ontwikkelen van een veerkrachtstrategie.

In de volgende hoofdstukken wordt het begrip veerkracht zowel gebezigd als eigenschap als in de context van het beleid.

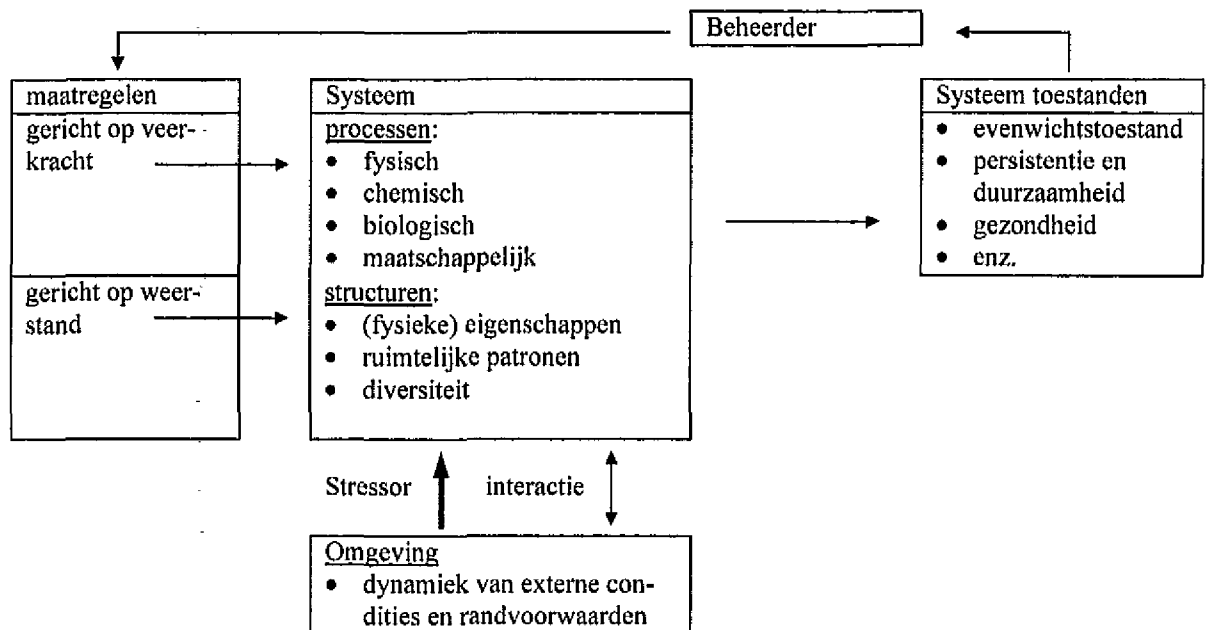
3.2.3 Naar een definitie voor veerkracht van watersystemen

In dit hoofdstuk en hoofdstuk 2 zijn een groot aantal begrippen en relaties de revue gepasseerd, die alle op de één of andere manier met het begrip veerkracht te maken hebben. Ten einde door de bomen nog het bos te zien is vervolgens gepoogd op een heldere wijze de voorgaande kennis te structureren. Hiervoor is het onderstaande conceptuele schema opgesteld, aan de hand waarvan de volgende conclusie kan worden getrokken:

in de context van het watersysteem wordt onder de veerkracht verstaan het herstelvermogen om de druk van dynamische externe omstandigheden op te vangen zonder dat de karakteristieke structuur en eigenschappen (functies) van het systeem significant veranderen. Dit herstelvermogen is in hoge mate gebaseerd op de processen en interacties die in het systeem plaats vinden. Hieruit volgt dat een op veerkracht gebaseerde beheerstrategie gebruik maakt van deze (natuurlijke) processen die ten grondslag liggen aan het herstelvermogen.

Deze definitie maakt het mogelijk het herstelvermogen te beschouwen als een eigenschap van het watersysteem, gebaseerd op de interactie tussen systeemprocessen en de (dynamische) omgeving, en een veerkrachtstrategie als een set van maatregelen om dit her-

stelvermogen te versterken. Het systeem is daardoor beter in staat de dynamiek van de omgeving te doorstaan door mee te geven en terug te veren (vergelijk Havinga et al. (1992); Klijn (1993); Marchand et al. (1998); en Baan & Klijn (1998).



Figuur 3.1: Conceptueel schema van een systeem onder invloed van externe beïnvloedingen.

Door interactie tussen interne systeemprocessen, structuren en de systeemomgeving zal het systeem in een bepaalde toestand zijn, bijvoorbeeld in een dynamisch evenwicht. Door een externe stressor uit de omgeving kan deze toestand zich wijzigen, waardoor het systeem in een (voor de beheerder) minder gewenste toestand kan geraken. De beheerder kan (anticiperend op een te verwachten stressor) ervoor zorgen dat dit niet plaatsvindt. Hiertoe kan deze maatregelen voorstellen die gericht zijn op het vergroten van de veerkracht, i.e. die de herstelbepalende processen versterken. Andere opties (die in dit rapport verder niet worden besproken) kunnen zich richten op het vergroten van de weerstand dan wel op het voorkómen van de stressor.

Het herstelvermogen van een systeem kent zijn grenzen. Het is daarom van groot belang nader te specificeren over welke druk c.q. stressor we het hebben. Ook de tijd- en ruimteschalen binnen welke context we het systeem en de veranderingen beschouwen is hierbij essentieel. Hierop zal in het volgende hoofdstuk nader worden ingegaan. In hoofdstuk 5 zal vervolgens een nadere uitwerking gegeven worden van verschillende maatregelen die passen in een veerkrachtstrategie.

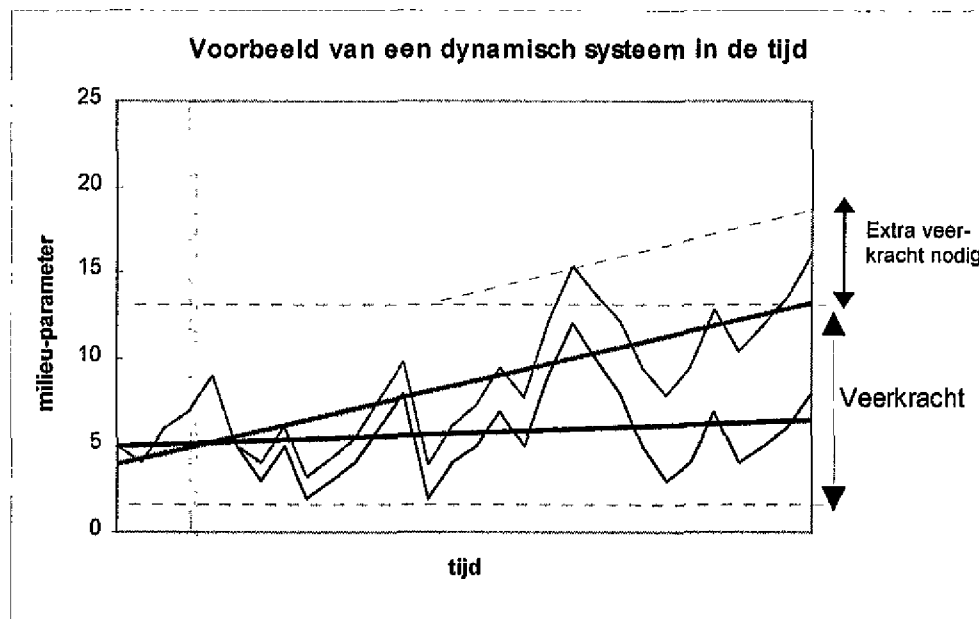
4 Verstoringen, ruimte- en tijdschalen

4.1 Verstoring en stress

Bij verstoringen en stress kan een onderscheid worden gemaakt in:

1. van tijdelijke aard en veelal spelend op de korte termijn; en
2. permanent met een ontwikkeling op de lange termijn.

Om het verschil aan te geven tussen beide typen verstoring is in figuur 4.1 een grafische weergave gegeven van de dynamiek van een milieuparameter in de tijd (bijvoorbeeld, de waterstand). Een veerkrachtig systeem kan de veranderingen in deze parameter opvangen zolang deze binnen de gestippelde horizontale lijnen valt. Indien er een trendmatige ontwikkeling in de milieuparameter te onderscheiden valt, zal op een gegeven moment de actuele waarde een grens overschrijden, waarbuiten het systeem niet meer veerkrachtig kan reageren. Om deze situatie te vermijden zal de veerkracht van het systeem moeten toenemen. Dit is geïllustreerd aan de hand van de opgaande gestippelde lijn.



Figuur 4.1. Grafische weergave van verstoring en stress. Voor verklaring zie tekst.

4.1.1 Tijdelijke verstoring en stress

Tijdelijke verstoringen en stress kunnen van natuurlijke aard zijn (bijvoorbeeld extreme gebeurtenissen als stormen) en ze kunnen het gevolg zijn van maatschappelijke activiteiten (milieuverontreiniging, geluidshinder, etc.). Zolang de verstoring of stress een zekere kritische grens niet overschrijdt kan het systeem zich herstellen na afloop van de gebeurtenis of

na het verdwijnen van de stressfactoren. Wordt deze grens wel overschreden dan gaat het systeem over naar een andere toestand. Vaak is er sprake van een min of meer cyclisch herstelproces. Zo vindt tijdens stormen kustafslag plaats en groeit de kust weer aan in perioden met rustig weer (vgl. de bliksemgrafieken van de duinvoetpositie).

Een aantal jaren durende verstoringen, zoals milieuverontreiniging, vormen een extra stressfactor voor het systeem. Elke stressfactor doet een aanslag op het herstelvermogen en dus op de veerkracht. Dat betekent dat de veerkracht van een systeem in een situatie met veel stress of multistress kleiner kan zijn dan in een niet gestoorde situatie.

4.1.2 Permanente verstoring

Op een permanente verstoring - zeker als sprake is van een geleidelijke maar continue verandering in de tijd - zal een systeem anders reageren dan op een tijdelijke verstoring. Zolang de verandering niet te groot is kan het systeem blijven bestaan, maar de veerkracht neemt wel af. Er blijft immers minder ruimte over voor andere stressfactoren. Bij grotere veranderingen of een continu veranderingsproces (zoals versnelde zeespiegelstijging) zal het systeem zich aanpassen. Dit vraagt om een ander soort veerkracht dan die nodig is voor het opvangen van tijdelijke verstoringen en stress. Tijd en ruimte om deze aanpassing mogelijk te maken zijn belangrijke parameters voor dit type veerkracht. Opgemerkt moet worden, dat dit type veerkracht wel kan berusten op dezelfde natuurlijke herstelprocessen als bij (cyclische) stress.

4.2 Ruimte- en tijdschalen

In paragraaf 3.1.1 is aangegeven dat het begrip veerkracht voor het beleid slechts betekenis heeft in een maatschappelijke context. Dat heeft ook gevolgen voor de tijd- en ruimteschalen waarop wordt gekeken.

4.2.1 Tijdschalen

Ten aanzien van de systemen en de natuurlijke processen die bij veerkracht een rol spelen kunnen een viertal tijdschalen worden onderscheiden:

- a) *eeuwen-millennia*. Het gaat om vanuit menselijk perspectief zeer langzaam lopende processen, die door ons als mensen nauwelijks te overzien en/of te evalueren zijn. Op een dergelijke tijdschaal zijn alle systemen aan verandering onderhevig. Een beleidsmatige uitwerking van het begrip veerkracht voor deze tijdschaal is niet zinvol.
- b) *decennia-eeuwen*. Het gaat om langzaam verlopende processen als bijvoorbeeld klimaatverandering en zeespiegelstijging. Natuurlijke systemen moeten tijd en ruimte krijgen om zich te kunnen ontwikkelen en aan te passen aan deze veranderende omstandigheden. Is de tijd en ruimte onvoldoende dan zijn de beschouwde systemen in dit opzicht niet veerkrachtig. Voor de beleidsmatige uitwerking van het begrip veerkracht is vooral het onderste deel van deze schaal (decennia) interessant.

- c) *jaren-decennia*. Het betreft de veerkracht om enkele jaren durende verstoringen en stressfactoren als stormen en milieuverontreiniging op te vangen. De (resterende) herstellcapaciteit is hier het kenmerk van veerkracht. Daarnaast komen eigenschappen van systemen als ontwikkelings- en aanpassingsvermogen ook van pas en zijn de tijd en ruimte die de systemen krijgen voor herstel e.d. mede bepalend of de systemen als veerkrachtig kunnen worden beoordeeld.
- d) *dagen-jaren*. Hierbij gaat het om de veerkracht om kortdurende verstoringen en stressfactoren als bijvoorbeeld weers- en seizoensinvloeden op te vangen. Op deze tijdschaal speelt bij veerkracht feitelijk alleen het herstellvermogen een rol.

Voor het beleid is een tijdschaal tot enkele decennia interessant, ofwel bovenstaande tijdschalen b (deels), c en d.

4.2.2 Ruimteschaal

Bij de ruimteschalen is sprake van een zekere analogie met de tijdschalen. Beide schalen zijn ook aan elkaar gekoppeld. In ruimtelijke zin kunnen we onderscheid maken in:

- a) het *zuidelijke Noordzee kustwatersysteem*. Dit kustwatersysteem (kuststrook + estuaria en wadden) bestaat uit verschillende deelsystemen, die elk een zekere veerkracht kunnen hebben, die kan afwijken van de andere deelsystemen. De maatschappelijke relevantie van uitspraken over de veerkracht van het gehele kustsysteem zijn vermoedelijk beperkt. Ruimteschaal in orde van honderden km.
- b) *delen van het kustwatersysteem* (bijvoorbeeld de Waddenzee, de gesloten Hollandse kust, de Zeeuwse delta). Dit is een werkbaar en relevant niveau om de veerkracht uit te werken. Op dit niveau gaat het bij veerkracht vooral om ontwikkelings- en aanpassingsvermogen. Binnen deze delen is sprake van deelsystemen die met elkaar interacteren. Ruimte en tijd om de natuurlijke processen te laten plaatsvinden en voor interacties dragen bij aan het vergroten van de veerkracht. Ruimteschaal in orde van vele tientallen km.
- c) *deelsystemen* (bijvoorbeeld Eems-Dollard, westelijke Waddenzee, Oosterschelde, etc.). Binnen de deelsystemen is weer sprake van subsystemen, die in tijd en plaats kunnen veranderen. Ruimteschaal in orde van hooguit enkele tientallen km.
- d) *subsystemen* binnen een deelsysteem (bijvoorbeeld ecoseries/ecotopen (Klijn, 1997) als een slufte en schorren). Een kenmerk van veel subsystemen binnen een dynamisch deelsysteem is dat deze aan grote veranderingen onderhevig zijn en op termijn zelfs verloren kunnen gaan. De veerkracht van dergelijke subsystemen is dus betrekkelijk gering. Maar als elders binnen het grotere deelsysteem weer een soortgelijk subsysteem ontstaat is dit grotere systeem wel degelijk veerkrachtig te noemen. Wij zouden de veerkracht van subsystemen dus kunnen opvatten als het vermogen om zich binnen een groter (dynamisch) systeem te handhaven, maar niet noodzakelijkerwijs op een vaste plaats. Ruimteschaal in orde van enkele km.

Voor het beleid is een ruimteschaal van enkele tientallen kilometers interessant, waarbij de uitwerking plaatsvindt op het niveau van deelsystemen en voor subsystemen wordt gekeken naar het vermogen om zich dynamisch binnen het grotere geheel te kunnen handhaven. Bij het uitwerken van de veerkracht voor deelsystemen moet er rekening mee worden gehouden dat er sprake is van interactie tussen de deelsystemen, en dat die interactie deel uit-

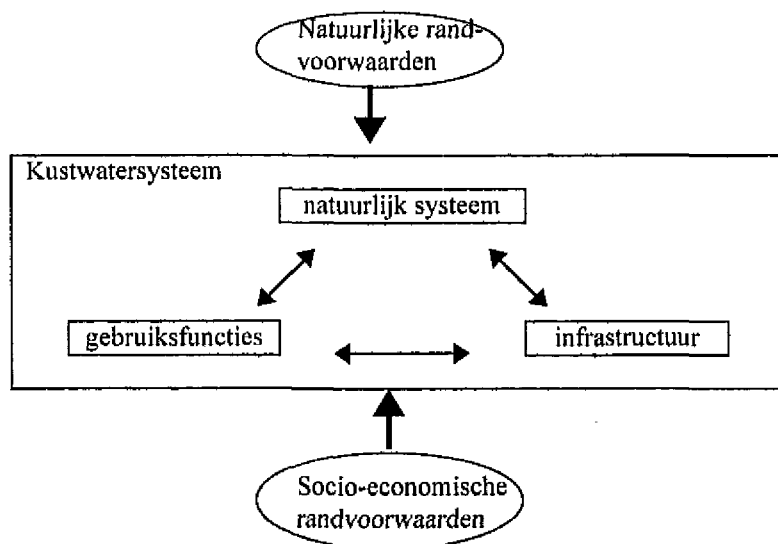
maakt van de processen die bijdragen aan het in stand houden van een deelsysteem. Zo is de morfologische ontwikkeling van de Waddenzee afhankelijk van de uitwisseling van zand met de Noordzee. Dit zand is weer afkomstig van de kust van Noord-Holland.

5 Naar een veerkrachtstrategie

5.1 Ontwikkelen van een veerkrachtstrategie

Kennis van de morfologische en ecologische processen is nodig om een veerkrachtstrategie te kunnen ontwikkelen. Een eerste vraag die daarbij speelt is welke morfologische en ecologische processen zich lenen om op in te spelen of bij te sturen bij het opstellen van een beheersstrategie die gericht is op behouden en vergroten van de veerkracht van het betreffende kustwatersysteem.

Om een beter inzicht te krijgen in de processen moeten we eerst onze perceptie van het kustwatersysteem een stap verder detailleren. Dan komen de relaties in beeld die voor een veerkrachtstrategie van belang (kunnen) zijn. Hiervoor hanteren we het volgende model:



Figuur 5.1: schematische weergave van het kustwatersysteem.

Een kustwatersysteem in Nederland kan beschouwd worden als een systeem dat bestaat uit een natuurlijk systeem dat is aangepast en beïnvloed door infrastructuurle werken (zoals dijken en andere waterhuishoudkundige werken). De gebruiksfuncties maken integraal onderdeel uit van het kustwatersysteem. Deze drie componenten kennen onderlinge relaties, die door de pijlen worden aangegeven. De relaties kunnen verschillende betekenissen hebben. Zo omvat de relatie natuurlijk systeem ~ gebruiksfuncties allerlei beïnvloedingen, zoals het door de natuur leveren van goederen en diensten en het door gebruiksfuncties genereren van effecten op de natuur.

Een kustwatersysteem kan niet los gezien worden van zijn omgeving. Zo is er een natuurlijke (fysieke) context en een maatschappelijke context te onderscheiden, die invloed uitoe-

fenen op het gehele kustwatersysteem of op onderdelen daarvan. Deze context is te beschrijven in termen van randvoorwaarden (zie figuur 5.1). Waar het in de veerkrachtdiscussie om gaat is hoe het kustwatersysteem omgaat met veranderingen in die randvoorwaarden. Voorbeelden hiervan zijn: zeespiegelstijging, extreme stormen, macro-economische ontwikkeling en dergelijke.

Om dit systeem duurzaam in stand te houden dient er in de eerste plaats een evenwichtige balans te zijn tussen de deelsystemen. In de praktijk betekent dit dat er meestal naar een dynamisch evenwicht gestreefd zal worden. Immers, de deelsystemen zijn niet statisch, constant in de tijd, maar aan verandering onderhevig. Daarnaast gaat het erom op welke wijze het gehele systeem omgaat met (nieuwe) stressfactoren van buiten (dus via wijzigingen in de natuurlijke en socio-economische randvoorwaarden). Met andere woorden, in hoeverre is het systeem veerkrachtig c.q. veerkrachtig(er) te maken? Hierover gaan de volgende paragrafen.

5.2 Gidsprincipes bij veerkracht

In de volgende paragrafen wordt een drietal gidsprincipes besproken, die gehanteerd kunnen worden bij het ontwikkelen van een veerkrachtstrategie:

- flexibiliteit in gebruik;
- meewerken met natuurlijke processen; en
- natuurlijke feedback en buffering.

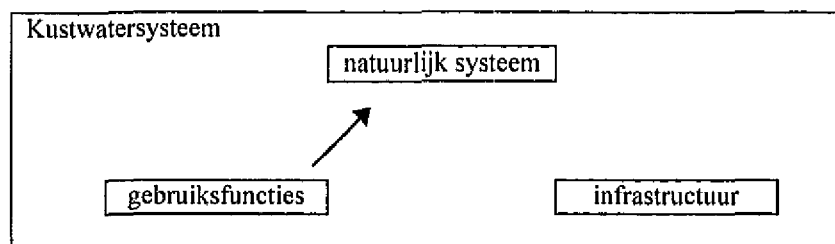
5.2.1 Flexibiliteit in gebruik

Het beheer van watersystemen is erop gericht het zelforganiserend vermogen van het systeem in stand te houden c.q. te vergroten. Eerder hebben we aangegeven dat wat wij onder 'het systeem' verstaan erg belangrijk is: het geeft de context aan waarin het begrip veerkracht moet worden beschouwd. In de definitie van veerkracht is aangegeven dat het gaat om het vermogen om dynamische externe omstandigheden op te kunnen vangen zonder dat de karakteristieke structuur en eigenschappen van het systeem significant veranderen. De mate waarin het systeem dit vermogen bezit hangt deels af van wat wij onder de karakteristieke structuur en eigenschappen verstaan. Met andere woorden: als we het systeem ruim interpreteren en niet tot in detail (wat betreft gebruik, tijd en ruimte) vastleggen, dan zal het vermogen tot in stand houden ook groter zijn. Dit levert ons het eerste gidsprincipe voor een veerkrachtstrategie: vanuit het gebruik minder (rigide) eisen stellen aan het systeem. Dit krijgt z'n beslag in de vorm van flexibiliteit in het gebruik. Een voorbeeld: ruimer interpreteren van het begrip basiskustlijn maakt een minder rigide en meer op veerkracht van de kust gebaseerd beheer mogelijk. Ook een meer gedifferentieerde risicobenadering past in een veerkrachtstrategie.

In termen van relaties in ons watersysteem gaat het hierbij dus vooral om de eisen die de gebruiksfuncties stellen aan het natuurlijk systeem (zowel rechtstreeks als indirect via de infrastructuur). In figuur 5.2 is dit aangegeven.

Als uiterste consequentie van dit gidsprincipe kunnen we zover gaan dat we helemaal geen eisen meer aan het systeem stellen. Als het systeem niet in een zeer stabiel evenwicht ver-

keert, ontstaat dan een systeem met als kenmerken spontaniteit en onvoorspelbaarheid, verandering en ontwikkeling (evolutie). Het zal duidelijk zijn dat een dergelijke situatie voor veel watersystemen in Nederland maatschappelijk niet gewenst is. De ruimte in Nederland is beperkt en de meeste gebruiksfuncties stellen wel degelijk eisen aan het systeem.



Figuur 5.2. Schematische weergave van interacties bij flexibiliteit in gebruik.

Flexibel omgaan met kustwatersystemen is vooral belangrijk bij hoogdynamische systemen. Die systemen zijn immers voortdurend aan verandering onderhevig. Wanneer aan die systemen starre eisen gesteld worden zal een grote beheersinspanning nodig zijn. Al eerder is het voorbeeld van de basiskustlijn genoemd. Hoe meer de kustlijn mag fluctueren, hoe kleiner de beheersinspanning wordt. Ook estuaria zijn zeer dynamisch. Wanneer de scheepvaartfunctie bijvoorbeeld hoge eisen stelt aan de bevaarbaarheid van de vaargeul in een estuarium dan leidt dit meestal tot hoge kosten voor baggeronderhoud.

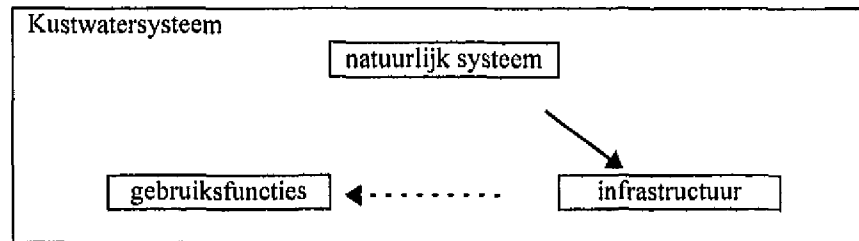
Naast het feit dat weinig flexibiliteit in het omgaan met kustwatersystemen leidt tot grote beheersinspanningen, kan het intensieve beheer ook leiden tot een verzwakking van de stabiliteit van deze watersystemen. Als de natuurlijke processen door het beheer aan banden gelegd worden, betekent dat vaak dat het systeem kwetsbaarder wordt en er weinig voor nodig is om het systeem geheel uit evenwicht te brengen. We kunnen dan in een vicieuze cirkel geraken, die leidt tot de noodzaak van steeds grotere beheersinspanningen. Een voorbeeld hiervan is de inrichting van ons rivierenstelsel. Door de hoge eisen die gesteld worden aan veiligheid en de beperkte ruimte die rivieren hebben gekregen zijn de rivieren in een keurslijf geperst. Dit keurslijf moet steeds verder worden versterkt (dijkversterking) om aan de eisen te blijven voldoen. Hierdoor wordt het totale systeem steeds kwetsbaarder (minder veerkrachtig) voor eventuele extreme gebeurtenissen.

Flexibel omgaan met kustwatersystemen impliceert het doorbreken van de vicieuze cirkel en meer ruimte geven aan de natuurlijke processen. Hierdoor ontstaan mogelijkheden om het tweede gidsprincipe, bouwen met de natuur, inhoud te geven.

5.2.2 Meewerken met natuurlijke processen

Het gidsprincipe meewerken met natuurlijke processen, ofwel 'bouwen met de natuur', is vooral van belang voor de relatie tussen het natuurlijk systeem en de infrastructuur zoals in figuur 5.3 is aangegeven. Bouwen met de natuur kan worden begrepen als: gebruik maken van natuurlijke materialen; maar het kan ook de betekenis hebben van: met gebruikmaking van natuurlijke processen. Bouwen met de natuur houdt in dat zoveel mogelijk wordt ingespeeld op de natuurlijke gang van zaken zoals die kan worden verwacht als er geen sprake

zou zijn van menselijk ingrijpen. Om dat optimaal in praktijk te kunnen brengen is inzicht nodig in het natuurlijk gedrag van kustwatersystemen.



Figuur 5.3. Schematische weergave van relaties bij bouwen met de natuur.

De centrale gedachte achter dit concept is dat het beter is zoveel mogelijk met natuurlijke processen mee te werken dan ertegen in te gaan. Voor de Nederlandse kust betekent het concept het bouwen met zand als natuurlijk en 'zacht' kustwaterbouwkundig materiaal, in plaats van 'hard' bouwen met beton en steen. Aan de van nature beweeglijke kust leidt het bouwen van harde constructies altijd tot verstoring van de natuurlijke morfologische ontwikkeling, want er ontstaan scherpe gradiënten bij de water- en zandtransportprocessen. Op de lange duur ontstaan hierdoor doorgaans veel ongewenste neveneffecten.

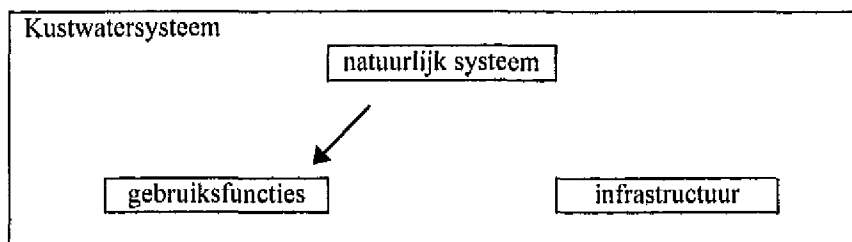
Na een lange periode van strijd tegen het water met wapens als dijken, dammen en golfbrekers volgde vanaf de jaren zestig een periode waarin zand als constructiemateriaal sterk naar voren kwam bij zandsluitingen en vooral bij zandsuppleties als verdediging tegen achteruitgang van de kustlijn. Deze zandbouwmethode kon zich krachtig ontwikkelen dankzij twee gelijk opgaande en elkaar versterkende vernieuwingen in de waterbouwkunde: kennis van morfologische processen en de beschikbaarheid van groot baggermaterieel. In de jaren zestig stond 'Bouwen met de natuur' dus vooral in het teken van de verdediging van Nederland tegen de zee.

In de jaren zeventig werd hieraan een nieuw element toegevoegd, namelijk het principe van de vormgeving van landaanwinningsplannen naar analogie met historische kustmorfologische ontwikkelingen. Zo werd de lijn doorgetrokken naar een meer offensieve kustuitbreiding. Ook het veroveren van land op zee moet bij voorkeur zo worden aangepakt dat maximaal wordt geprofiteerd van de aanwijzingen die de zee geeft in de vorm van natuurlijk ontstane kustvormen. Zo werd ook in de kustwaterbouwkunde een invalshoek geïntroduceerd die al lang daarvoor op allerlei gebieden van de techniek tot spectaculaire resultaten heeft geleid: de zienswijze dat de natuur de leermeester is van de technische kunst.

5.2.3 Natuurlijke feedback en buffering

Er is ook een directe relatie te onderkennen tussen het natuurlijk systeem en de gebruiksfuncties. We spreken dan meestal niet over bouwen met de natuur, maar over het maatschappelijk benutten van natuurlijke processen. Hierbij kan gedacht worden aan het gebruik maken van natuurlijke productie- en regulatiemechanismen (bijvoorbeeld visserij of natuurlijke zuivering). De uitdaging is om gebruiksfuncties zodanig af te stemmen op het natuurlijk systeem dat de natuurlijke feedbackmechanismen en buffering niet worden aange-

tast. Dit is het derde gidsprincipe: gebruik maken c.q. in standhouden van natuurlijke feedback en buffermechanismen. In figuur 5.4 is dat als volgt weer te geven:



Figuur 5.4. Schematische weergave van relaties bij feedback en buffermechanismen.

De natuur kent vele regulatiemechanismen die van groot belang zijn bij het ontstaan en evolueren van het leven op aarde. De bekendste vormen zijn de kringlopen van water en stoffen. Het belang van deze mechanismen en de kwantificering ervan staan tegenwoordig sterk in de belangstelling en dit vormt een voortdurende bron van wetenschappelijke discussie (vergelijk de klimaatmodellen, de Gaia-hypothese, etc.).

Ook in voedselketens is er sprake van natuurlijke feedback en buffering. Er is een natuurlijke aanwas, die bijvoorbeeld bij vis kan worden weggevangen zonder dat het systeem in essentie wordt aangetast. Van aantasting is pas sprake als de hoeveelheid weggevangen vis de natuurlijke aanwas overtreft. Hetzelfde geldt voor het natuurlijke zuiveringsvermogen van watersystemen. Daar kan de mens gebruik van maken door afvalwater te lozen. Zolang de aanvoer van afvalstoffen het zuiveringsvermogen niet overtreft wordt het systeem niet aangetast.

Wel neemt de kwetsbaarheid van het systeem toe naarmate de natuurlijke processen verdergaand worden benut, omdat het vermogen van het systeem om extreme gebeurtenissen (natuurlijke fluctuaties) op te vangen afneemt. Om voldoende veerkracht te behouden moeten zekere veiligheidsmarges worden aangehouden en mogen de natuurlijke processen niet tot hun grenzen worden benut.

5.3 Behouden en vergroten van veerkracht

Om de van nature aanwezige veerkracht te behouden of te vergroten moet gezocht worden naar mogelijkheden om de natuurlijke 'regelmechanismen' en de daaraan ten grondslag liggende processen in stand te houden of waar mogelijk te versterken. Als de natuurlijke regelmechanismen afhankelijk zijn van specifieke abiotische en biotische condities moet het beheer deze condities scheppen en in stand houden.

De gidsprincipes kunnen worden gebruikt voor het ontwikkelen van strategieën gericht op het vergroten van de veerkracht van kustwatersystemen. Op de achtergrond speelt daarbij steeds de vraag welk systeem men wil. Zoals al eerder aangegeven is een verbrasmid meer stabiel en veerkrachtig, maar het beleid vindt die toestand ongewenst. Zou die toestand wel geaccepteerd worden - wat kan worden aangemerkt als een extreme vorm van het gids-

principe flexibiliteit in gebruik - dan zijn er geen problemen meer en behoeven nog maar weinig beheersinspanningen te worden geleverd.

Afhankelijk van de gebruiksdoelen (functies) van het kustwatersysteem kunnen op basis van de drie gidsprincipes aanwijzingen worden geformuleerd voor het samenstellen van strategieën om de veerkracht van het systeem te behouden en te vergroten. Tabel 5.1 geeft daarvan een overzicht.

Tabel 5.1 Overzicht van elementen voor een veerkrachtstrategie uitgaande van beheersdoelen.

Beheersdoel	veerkrachtstrategie	ingreep	relevante processen
veiligheid	flexibiliteit (ruimte geven aan watersysteem)	verleggen van waterkering	hydro-dynamica, extreme waterstanden
	bouwen met de natuur	aanleggen zandige waterkering	sedimentatie en erosie, vastleggen zand door vegetatie
kustverdediging	flexibiliteit	soepeler omgaan met basis-kustlijn	afslag/aanzanding na stormen, inzicht in periodiciteit van processen (b.v. zandgolven)
	bouwen met de natuur	lokale grootschalige zandsuppleties	idem
scheepvaart	flexibiliteit	aanpassing vaarweg aan veranderingen in estuarium	morfologisch gedrag geulen en platen
	bouwen met de natuur	gebruik maken van getijstroommen om vaarweg op diepte te houden	relatie komberging ~ stromingen en gedrag geulen en platen
visserij	feedback en buffering	gebruik maken van natuurlijke recruitment; meer marge inbouwen voor natuurlijke fluctuaties in vispopulatie	populatiedynamiek visbestanden
recreatie (strand)	flexibiliteit	alleen semi-permanente bebouwing; bouwen op palen	afslag/aanzanding na stormen, inzicht in periodiciteit van processen (b.v. zandgolven); golven tijdens storm-events; effect op stabiliteit bodem en constructies
waterkwaliteit	feedback en buffering	gebruik maken van natuurlijk zuivering	zuiveringsprocessen (m.n. denitrificatie in waterkolom en intergetijdegebieden, immobilisatie/remobilisatie fosfaten en zware metalen, biodegradatie organische microverontreinigingen)
natuurbehoud	flexibiliteit	natuurontwikkeling, natuurlijke processen meer vrijheid geven	dominante abiotische processen, ontwikkeling ecotopen, successie, lokaal uitsterven en (re-)kolonisatie
	feedback en buffering	herstel evenwichtige voedselketen; herintroductie structuurbepalende soorten (bijv. grote grazers)	rol dominante soorten in voedselketen en vegetatiestructuur

6 Morfologische en ecologische processen

6.1 Een hiërarchie van schaalniveaus bij de processen

Abiotische processen en de condities die daaruit voortkomen, zijn vaak sterk bepalend voor het systeem dat wordt gevormd. Basale processen in het Nederlandse kustwatersysteem zijn de uitwisselingen van watermassa's via stromingen en getij, het zout- en sedimenttransport en het transport van meegevoerde stoffen.

Afhankelijk van de condities krijgen *biotische* subsystemen daarna kansen om zich te manifesteren. Dat leidt tot (eco)systemen, die als gevolg van de biotische processen zich kunnen ontwikkelen tot evenwichtige systemen.

De abiotische condities vormen dus de randvoorwaarden voor het ontwikkelen van biotische processen en daaruit voorkomende systemen. In die zin kan worden gesteld dat abiotische processen dominant zijn over biotische processen. Terugkoppeling van biotisch naar abiotisch komt wel voor, maar het belang hiervan is zeer verschillend en veelal niet voldoende kwantitatief bekend. In tabel 6.1 is een overzicht van abiotische en biotische processen gegeven.

Tabel 6.1: Overzicht van processen hiërarchisch gerangschikt naar tijdschaal

Tijdschaal (indicatief)	klimaat en weer (atmosfeer)	waterbeweging en hydrologie (hydrosfeer)	morfologie en reliëf (pedosfeer)	water- en bodem- kwaliteit	planten	dieren
1-30 dagen	stormen	golven getijde	flocculatie, sedimentatie en erosie kustafslag transport	turbiditeit transport van stoffen	groei, bloei en afsterven	groei, repro- ductie en mor- taliteit
1-12 maanden	seizoenen zoutspray	springvloeden	kustprofiel wijziging	algenbloei transport van stoffen	groei, bloei en afsterven	groei, repro- ductie en mor- taliteit
1-10 jaren		Noord- Atlantische oscillatie	zandgolven duinvorming en verstuiving	wijziging trofieniveau	successie en degeneratie begrazing	pop.dynamiek bioaccumulatie
10 - 100 jaren	droge en natte periodes (zonnevlek- cyclus)	wijziging rivier- afvoerregime	sluftervorming	bodemvor- ming en uitspoeling	successie en degeneratie kolonisatie (lokaal) uit- sterven	voedselweb- structuur kolonisatie (lokaal) uitster- ven
1- 10 eeuwen	broeikas-effect	zeespiegelstij- ging	deltavorming kustvorming		evolutie, uitsterven en bio- geografische verspreiding	neozoën evolutie, uit- sterven en biogeografische verspreiding

Belangrijke landschapsvormende (abiotische) processen zijn morfologisch van aard en hebben betrekking op sedimentverplaatsing (zand en slib). Bij de biotische processen gaat

het om de samenhang en relaties in nutriëntencycli, de voedselketen en successiereksen in de ecologische ontwikkeling.

Een voorbeeld van het verloop van (volledig) abiotisch naar (meer) biotisch is de duinvorming. Bij het ontstaan van duinen zijn abiotische processen het belangrijkste. De eerste duinvorming is het gevolg van een interactie tussen wind, water en pioniervegetatie. De vegetatie gaat vervolgens successie vertonen, die inspeelt op de fysische condities. Bij het in stand houden van de duinen en het duinreliëf worden biotische processen steeds belangrijker (zie figuur 6.1).

Natuurlijke veranderingen in het landschap	dominante beïnvloeding / terugkoppeling	landschapscomponenten	invloeden van de mens
klimaatveranderingen (bv. neerslag, temperatuur en wind)		KLIMAAT	vervuiling van de atmosfeer, broeikas-effect
wijzigingen in aan- en afvoerbalans van moedermateriaal: kustaanwas en -afslag		GESTEENTE (moedermateriaal) WATERBEWEGING en SEDIMENT-TRANSPORT	afvoer en toevoer van materiaal (afgravingen, ophogingen, zandsuppletie, kustverdediging)
erosie of accumulatie door wind en waterwerking (bv. duinafslag, uit- en overstuiving)		RELIEF	vergravingen, egalisatie en vastlegging
grondwaterstandsveranderingen frequentieverandering van zilte invloeden		GRONDWATER	(grond)waterwinning, kunstmatige infiltratie, oppervlakte-ontwatering, polderpeilverandering, verstoring van de natuurlijke fluctuatie, eutrofiëring
verschuiving in het evenwicht tussen ophoping van organische stof en mineralisatie. Verwerking, uitspoeling van voedingsstoffen (kalk e.d.)		BODEM	bodembewerking, afplassen, bemesten, betreden
successie- en degeneratieprocessen (veranderingen in voedingsstoffenkringloop, waterverbruik e.d.)		PLANTEN	kappen, maaien, branden, betreding. Aanplanten, uitzaaien. Indirect: beweiden
toe- of afname van de omzetting van organische stof. Toe- of afname van begrazings-, bemestings- en betredingsintensiteit		DIEREN	jacht visserij

Figuur 6.1: Hiërarchie van processen van het duinlandschap (Naar: Bakker et al. 1979). Dikke pijlen: dominante beïnvloeding, dunne pijlen: terugkoppeling.

6.2 Dominante processen

6.2.1 Externe forceringen van systemen

Over het algemeen zijn enkele processen bepalend voor de vorming, de vorm en het behoud van systemen. Deze processen kunnen van systeem tot systeem verschillen en kunnen worden aangemerkt als de voor dat systeem dominante processen (ook wel forceringen genoemd). Deze dominante processen kunnen leiden tot een min of meer voorspelbare eindtoestand. Bij een estuarium zijn bijvoorbeeld de zoetwateraanvoer van de ene kant en de getijbeweging van de andere kant bepalend voor het ontstaan en het voortbestaan van een estuarium. Aan een zandige kust zorgt de energie, die vanuit de zee via golven en stromingen naar de kust wordt toegevoerd voor sediment-transporten waardoor, door erosie hier en sedimentatie daar, profielveranderingen optreden. Hierdoor verandert de energie-distributie binnen het systeem en het profiel past zich weer aan: er treedt dus terugkoppeling op (Terwindt, 1998).

Vanwege de dominantie van abiotische processen zijn natuurlijke systemen als regel kwetsbaarder voor ingrepen die ook tot abiotisch veranderingen leiden dan voor ingrepen met alleen biotische gevolgen. Bij alleen biotische gevolgen (vergelijk het wegvangen van vis) herstelt het systeem zich meestal gemakkelijker (mits de basis voor herstel niet wordt aangetast).

Het gedrag van dominante processen voor een systeem wordt vooral bepaald door een hoger systeemniveau. Bijvoorbeeld: de relatieve zeespiegelstijging is een dominant proces in het erosie en sedimentatiegedrag van een estuarium, maar wordt veroorzaakt door veranderingen op een (veel) groter schaalniveau, namelijk daar waar van het klimaat, de oceanen en de ijskappen van de polen in interactie zijn.

Een complicerende factor hierbij is dat het bij de dominante processen meestal niet gaat om een constante, of geleidelijk veranderende factor die het onderliggende systeem stuurt. Veelal is de forcering variabel in de tijd, afhankelijk van de grootte van de golfwerking en de stromingen door getij. Ook de hydrodynamische en transportprocessen zijn variabel in grootte in de tijd en verschillen per plaats; de processen zijn vaak niet-lineair en de morfologische respons treedt pas met een zekere vertraging op. Meestal is het dan ook niet goed bekend welke processen dominant zijn op verschillende tijd- en ruimteschalen (Terwindt, 1998).

Ook eenmalige, zeer extreme gebeurtenissen met een lage kans van voorkomen ('events' of episodische gebeurtenissen) kunnen voor de morfologische en ecologische ontwikkeling zeer belangrijk zijn. Een voorbeeld voor het kustsysteem is het optreden van zware stormen. De sedimentbewegingen tijdens storm zijn vele malen hoger dan tijdens rustig weer. Slibconcentraties in de kustzone zijn bijvoorbeeld een factor 10 to 100 (!) hoger dan tijdens rustig weer (Winterwerp, schriftelijke bijdrage workshop). Frequenter voorkomende extreme gebeurtenissen die bij een systeem horen (cyclisch) worden door het systeem opvangen.

6.2.2 Interactie tussen deelsystemen

Deelsystemen (en daarbinnen weer subsystemen) kennen hun eigen systeemgedrag en forceringen. Als gevolg daarvan bestaan er vele, verschillende morfologische tijdschalen waaronder zij evolueren. Bovendien wordt dit gedrag beïnvloed door menselijke ingrepen. Dit maakt dat het gehele systeem en de deelsystemen bij voortduring evolueren, ieder op eigen tijdschalen. Data analyses lijken erop te wijzen dat sommige deelsystemen lijken te streven naar evenwicht onder constante forcering, maar zowel door natuurlijke als door menselijke oorzaken is er in het algemeen geen sprake van een stabiele evenwichtssituatie of constante forcering, zeker niet op grotere tijdschalen. Het kustbeheer is er weliswaar op gericht de status quo van bepaalde deelsystemen zoveel mogelijk constant te houden, maar dat geldt niet voor alle deelsystemen, en zeker niet voor de subsystemen (Stive, schriftelijke bijdrage workshop).

Met name twee aspecten uit het bovenstaande zijn van belang voor veerkracht. Het hele systeem en de deelsystemen evolueren voortdurend (natuurlijk en door mensen beïnvloed) én in hun evolutie beïnvloeden zij elkaar. Daar komt bij dat wij dit niet betrouwbaar kunnen voorspellen. Dit roept de volgende vragen op:

1. Kunnen we veerkracht voor het hele systeem en voor de deelsystemen onderscheiden en is dit zinvol?
2. Kunnen we veerkracht voor evoluerende (deel-)systemen goed definiëren, vooral als we die evolutie niet goed kunnen voorspellen?
3. Hoe brengen we veerkracht van een deelsysteem in rekening als de veerkracht van dat deelsysteem mede door de veerkracht van andere deelsystemen wordt bepaald?

6.3 Biotische processen

6.3.1 Verschil tussen abiotische en biotische processen

Bij abiotische processen is sprake van zuiver mechanistische, causale verbanden. Abiotische processen tenderen naar verhoging van het entropieniveau (toename van de wanorde, nivellering van het landschap). De meest waarschijnlijke toestand van een systeem is die van totale wanorde (zie Kramer & De Smit, 1982). Zo neemt het reliëf in het landschap op lange tijdschaal af.

Een biotisch systeem is echter een finaal systeem (op een doel gericht). Door vastlegging van energie via de fotosynthese wordt er constant energie aan het systeem toegevoegd, waardoor het mogelijk wordt een zekere ordening te bereiken. Ook informatie speelt daarbij waarschijnlijk een belangrijke rol. Het toevoeren van informatie zal de entropie doen afnemen, en daarmee leiden tot een minder wanordelijke toestand. Daarmee wordt ordening of organisatie bereikt (Kramer & De Smit, 1982). Het systeem zal streven naar een zekere optimale situatie (een evenwichtstoestand) en deze situatie vervolgens met behulp van het vermogen tot zelforganisatie in stand houden.

6.3.2 Overlevingsstrategie op soortsniveau

In tegenstelling tot volledig abiotische gestuurde systemen, waarbij het vaak moeilijk is vast te stellen in welke richting of evenwicht deze systemen zich bewegen, laat staan of deze systemen veerkrachtig zijn, is bij biotisch gestuurde systemen het herstelvermogen en daarmee samenhangend de veerkracht vrij goed te definiëren.

Het meest duidelijke voorbeeld is te vinden op het niveau van het organisme, dat er naar streeft zichzelf in stand te houden en voort te planten. Bij deze voortplanting kunnen we een onderscheid maken tussen r en K strategieën. Deze indeling is afkomstig van de wiskundige beschrijving van de logistische curve:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(\frac{K - N}{K} \right)$$

of

$$N_t = N_0 \cdot e^{-r N (K-N) / N}$$

waarin	N, N_t, N_0	=	populatie grootte, respectievelijk op tijdstip t en 0
	t	=	tijd
	r	=	aangeboren groeicapaciteit
	K	=	maximale waarde van N

r-Strategen doen het goed in dynamische milieus, waarbij sprake is van frequente verstoringen met vaak grote gevolgen voor de populatie-omvang. Als gevolg daarvan bereiken r-Strategen nooit de maximale waarde van N. Ze investeren in veel nakomelingen (grote waarde van r) en herstellen daardoor snel.

K-Strategen komen vooral voor in rustiger milieus met minder verstoringen. Daardoor krijgen ze de tijd om de maximale populatiedichtheid te bereiken, ook al is de waarde van r relatief laag. Tabel 6.2 geeft een overzicht van de belangrijkste verschillen tussen de twee strategieën.

Tabel 6.2: overzicht van eigenschappen van r- en K- strategen (Bron: Krebs, 1972).

	r- selectie	K-selectie
klimaat	variabel en vaak onvoorspelbaar, onzeker	vrij constant en/of voorspelbaar, zeker
mortaliteit	vaak catastrofaal, dichtheids-onafhankelijk	niet catastrofaal, dichtheidsafhankelijk
populatieomvang	variabel in de tijd, geen evenwicht, meestal ruim onder de draagkracht van het milieu, rekolonisatie	vrij constant in de tijd, in evenwicht, op of nabij de draagkracht van het milieu, verzadigde levensgemeenschappen, geen rekolonisatie nodig
intra- of interspecifieke concurrentie	variabel, zwak	vaak sterk
levensverwachting	kort, vaak minder dan een jaar	langer, vaak meer dan een jaar
leidt tot	productiviteit	efficiëntie
specifieke eigenschappen	snelle ontwikkeling veel nakomelingen vroeg reproductie kleine lichaamsomvang	langzame ontwikkeling weinig nakomelingen late reproductie grotere lichaamsomvang

6.3.3 Overlevingsstrategie op landschapsschaal

Wanneer we naar het niveau van ecosystemen op landschapsschaal kijken, dan kunnen we wederom een onderscheid maken in overlevingsstrategieën. Voor veel ecotootypen langs de kust geldt dat zij vooral worden gestuurd door abiotische, (geo-)morfologische processen. De hierin voorkomende soorten kenmerken zich veelal door een r-strategie. Deze ecosystemen hebben in het algemeen een relatief korte ontwikkelingstijd en levensduur. Zij worden ofwel steeds in hun ontwikkeling teruggeworpen, of evolueren via successie tot een meer stabiele (en uiteindelijk climax) situatie. Een voorbeeld van het eerste is de levengemeenschap op een intergetijdenplaat, die na iedere winter opnieuw tot ontwikkeling komt en weer af sterft door een nieuwe (koude) winter of een voorjaarsstorm. De verschillen in soortensamenstelling kunnen van jaar tot jaar zeer groot zijn.

Voor ieder ecotootype is een zekere ontwikkelingstijd en ruimtelijk areaal nodig. Binnen deze tijd- en ruimteschaal kunnen dominante processen worden geïdentificeerd die het ecotootype doen ontstaan c.q. in stand houden (zie tabel 6.3). Kleine variaties in deze processen zullen in het algemeen geen grote gevolgen hebben. Deze kunnen relatief eenvoudig worden opgevangen door het systeem. Men zou derhalve kunnen stellen dat een ecotootype veerkrachtig is ten aanzien van verstoringen die een orde van grootte kleiner zijn dan de dominante processen die het ecotootype in stand houden.

Tabel 6.3: overzicht van ontwikkelingstijd en minimum oppervlak van enkele ecotootypen in duinen (Oppers, 1996)

Ecotootype	ontwikkelings- tijd	minimum oppervlak	dominante processen
strand, evt. met embryoduin	5 - 15 jaar	75 - 125 ha	golven, getijde, zandaanvoer, wind
dynamische duinen	50-100 jaar	100 - 500 ha	zandaanvoer, wind, zoutspray, kustafslag, vegetatie-ontwikkeling
kwelder	> 10 jaar	30 - 50 ha	slibaanvoer, getijde, golven, vegetatie-ontwikkeling
slufter/groen strand	> 30 jaar	150 - 250 ha	kustlijnverschuivingen, zeestromingen, zeespiegelstijging, verhouding getijprisma en langstransport
primaire duinvallei	20 - 50 jaar	30 - 50 ha	verzoeting (grondwater)
secundaire duinvallei	> 50 jaar	5 - 10 ha	uitstuiving tot grondwaterniveau
duinmeer	50 - 100 jaar	0.5 - 5 ha	uitstuiving, verhoging grondwater door duinverbreding
duingrasland	>20 jaar	1 - 5 ha	successie, bodemvorming, begrazing
duinstruweel	>30 jaar	1 - 5 ha	successie, bodemvorming, begrazing
duinbos	>40 jaar	1 - 5 ha	successie, bodemvorming
duinheide	>150 jaar	1 - 5 ha	successie, bodemvorming, begrazing
duinrel (duinbeek)		0.5 - 1.5 ha	grondwaterstroming

7 Processen in kustwatergebieden

7.1.1 Indeling kustwatergebieden

Om een beeld te krijgen van de veerkrachtbepalende processen wordt uitgegaan van het gehele scala aan kusttypen in Nederland. De volgende kust- en kustwatergebieden worden onderscheiden:

- de Waddenzee met eilanden;
- de gesloten zandkust en kustwater van Noord- en Zuid-Holland;
- de Voordelta;
- het Haringvliet;
- het Grevelingenmeer;
- het Veerse Meer;
- de Oosterschelde; en
- de Westerschelde.

In de volgende paragrafen worden de verschillende kustwatergebieden achtereenvolgens besproken. Maar eerst wordt in paragraaf 7.2 ingegaan op de interactie tussen kustwatergebieden.

7.2 Interactie tussen kustwatergebieden

7.2.1 Abiotische en biotische interacties

De verschillende kustwatergebieden kunnen niet geheel onafhankelijk van elkaar worden beschouwd. Er is immers sprake van interactie. Het gaat daarbij enerzijds om abiotische interacties als de uitwisseling van sediment en stoffen en anderzijds om biotische interacties, bijvoorbeeld als verschillende kustwateren een rol spelen bij de levenscyclus van soorten. Zo is de Waddenzee een kraamkamer voor veel vissoorten (bijvoorbeeld de schol), die daarna naar de Noordzee trekken voor verdere groei en ontwikkeling.

Het watermilieu van de Hollandse kust wordt bepaald door Atlantisch water, Noordzeewater en rivierwater. De onderlinge overgangen tussen de watermassa's is de basis voor een divers leefgebied voor planten en dieren. Met name door het relatief zoete rivierwater ontstaan er langs de kust gradiënten van zoet naar zout, van helder naar troebel en van voedselarm naar voedselrijk (Ver. Natuurmonumenten, 1998). De Rijnafvoer heeft ook invloed op de Waddenzee en de veerkracht aldaar. Met de Rijn worden stoffen (nutriënten en microverontreinigingen) en sediment aangevoerd, die als gevolg van transport langs de Noordzeekust voor een deel in de Waddenzee terechtkomen. De aanvoer van nutriënten naar de Waddenzee beïnvloedt de produktiviteit en heeft gevolgen voor de eutrofiëringstoestand. De aanvoer van microverontreinigingen kan gevolgen hebben voor organismen, vooral aan de top van de voedselketen. Voorbeelden daarvan zijn de gevolgen van de aan-

voer van PCB's voor de zeehond en in het verleden de aanvoer van telodrin voor de stern. Vermoedelijk is er ook sprake van interactie tussen het Zeeuwse Deltagebied en de Waddenzee via langtransport langs de kust van materiaal afkomstig van de Vlaamse Banken, maar de aard en het belang van deze interactie is nog onvoldoende bekend.

De interacties tussen kustwatersystemen zijn medebepalend voor de veerkracht van die systemen. De aanvoer van stoffen naar een systeem kan leiden tot een afname van de veerkracht in dat systeem, maar omgekeerd draagt de uitwisseling van sediment (tussen de kop van Noord-Holland en de Waddenzee) en de kraamkamerfunctie van de Waddenzee bij aan de veerkracht van zowel de Waddenzee als de Noordzee. Bij deze beschouwing zijn de vragen zoals die gesteld zijn aan het einde van paragraaf 6.2.2 zeker van toepassing. Immers, de veerkracht van de Waddenzee ten aanzien van zeespiegelstijging lijkt voor een belangrijk deel ten koste te gaan van de veerkracht van de aangrenzende Noordhollandse kust. Een onderscheid tussen veerkracht van de verschillende deelsystemen lijkt dus zeker zinvol, waarbij we zowel positieve als negatieve terugkoppelingen tussen de deelsystemen moeten identificeren.

7.2.2 Overgangsgebieden

Kustwatersystemen worden gekenmerkt door meer of minder natuurlijke overgangen. Zout-zoet overgangsgebieden zijn van nature rijk aan gradiënten in processen en milieufactoren en hebben daardoor een grote variatie aan biotopen en levensgemeenschappen (Paalvast e.a., 1998; Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, 1998). Voor veel functies is een geleidelijke grens of gradiënt in deze overgangen van groot belang. Zo is met het oog op visintrek een geleidelijke overgang van zout naar zoet gewenst. Sommige stoffen in het zoete water fungeren als een lokstof voor een aantal vissoorten die voor hun paaieren afhankelijk zijn van het zoete water (Dankers, schriftelijke bijdrage workshop). Wanneer de natuurlijkheid van de overgangen afneemt, en bijvoorbeeld zeer steile zout-zoet gradiënten ontstaan, kunnen vissen hun weg moeilijker vinden en lopen vissen het risico in een voor hen ongunstig milieu terecht te komen (zoutstress). Geleidelijke overgangen dragen daarmee bij aan de veerkracht van watersystemen en kunnen soms zelfs een randvoorwaarde vormen voor het in stand houden van een systeem.

Een voorbeeld is het estuarium als overgangsgebied tussen rivier en zee. Door de grote uitwisseling met de zee worden door de rivier aangevoerde nutriënten verdund en deels verwijderd (bijvoorbeeld via denitrificatie). Daardoor wordt de kans op eutrofiëring vermindert en krijgen algenpopulaties nauwelijks de tijd zich tot 'plaagproporties' te ontwikkelen. Waarschijnlijk speelt hier ook de grote dynamiek een belangrijke rol. Maar weinig soorten krijgen voldoende tijd om zich zodanig te ontwikkelen dat ze een probleem gaan vormen. Wellicht is dat de belangrijkste reden dat een dynamisch estuarien systeem gemakkelijker te beheren is dan een stagnant en stabiel systeem zoals het Veerse Meer (Dankers, schriftelijke bijdrage workshop).

De soorten van brakwatermilieus zijn over het algemeen zeer goed aangepast aan de extreme wisselingen in zoutgehalte (veel r-strategen). Hierdoor herstellen de levensgemeenschappen van brakke overgangszones zich snel en kunnen dan ook veerkrachtig genoemd

worden. Dat neemt niet weg dat het voortbestaan van dergelijke systemen daarmee niet automatisch gegarandeerd is. Daarvoor is nodig dat:

1. geen 'onnatuurlijk grote' schommelingen in zoutgehalte optreden, maar geleidelijk in de tijd plaats vinden;
2. er voldoende uitwisseling (van water) in twee richtingen mogelijk is, waardoor de gradiënten geleidelijk zijn in de ruimte;
3. de systemen voldoende groot zijn.

Slechts indien aan bovenstaande voorwaarden voldaan is, geldt het adagium, dat geleidelijke overgangen (limes divergens) de beste overlevingskansen bieden aan een scala aan soorten: enerzijds omdat er veel verschillende milieus beschikbaar zijn, anderzijds omdat de soorten langs de gradiënt 'heen en weer kunnen pendelen' (Westhoff, 1976, Klijn, schriftelijke bijdrage workshop).

7.3 Waddenzee

7.3.1 Kenmerken

Het belangrijkste kenmerk van het Waddenecosysteem is de grote geomorfologische en ecologische dynamiek. Het systeem bestaat uit een veranderlijk stelsel van geulen en platen en wordt aan de landzijde omzoomd met kwelders. De Waddenzee is van belang als rust-, opgroei- en foerageergebied voor zeehonden. Ook vervult de Waddenzee een belangrijke functie voor de Noordzee als kraamkamer en opgroeigebied (kinderkamer) voor verschillende soorten vis. Voorts is de Waddenzee van internationaal belang voor vogels en de vogeltrek (vooral steltlopers).

7.3.2 Morfologische veerkracht

De morfologische ontwikkeling is afhankelijk van een combinatie van zeespiegelstijging, getijbeweging en het sedimentaanbod. Zand is afkomstig van de Noordzee en de kust van Noord-Holland. Vooral dit zandaanbod is bepalend voor de ontwikkeling van het oppervlak aan kwelders en platen in de tijd. Als het aanbod onvoldoende is - ook om de zeespiegelstijging bij te houden - neemt dit oppervlak af. Daarnaast speelt ook de slibhuishouding hierin een (nog niet geheel opgehelderde) rol. Het oppervlak aan kwelders en platen is weer bepalend voor de ecologische ontwikkeling van het gebied (voedselgebieden voor vogels).

De sedimentverplaatsingen gedurende vloed en eb maken onderdeel uit van het continue streven van het systeem naar een dynamisch evenwicht tussen de vorm (morfologie) en de voortdurend wisselende stromingscondities van het getij en de golven. Voor het opwekken van een naar de Waddenzee gericht netto sedimenttransport speelt de vorm van de getijkromme een belangrijke rol. Een kortdurende vloed met hoge snelheden vervoert bijvoorbeeld meer zand dan een langdurende eb met lagere snelheden.

Indien de zeespiegel sneller gaat stijgen, kan een nieuw dynamisch evenwicht alleen ontstaan als de sedimentatie ook toeneemt. Met andere woorden: wanneer meer sediment aan de sedimentstroom wordt onttrokken en in de getijdebekkens wordt afgezet. Dit kan gebeu-

ren omdat de zeespiegelstijging in het waddengebied leidt tot een waterstandsverhoging boven de platen en geulen. Door deze verhoging nemen de gemiddelde stroomsnelheden in de geulen en op de platen af. Aangezien sedimenttransport gekoppeld is aan een macht van de stroomsnelheid zal het transportvermogen bij een vermindering van de stroomsnelheid veel sterker afnemen. De met sediment beladen vloedstroom krijgt dan de gelegenheid om zand in de vloedkom af te zetten. De ebstroom heeft niet genoeg kracht om de totale hoeveelheid ingevoerd zand weer naar buiten te brengen. In feite kunnen we hier spreken van een negatief feedback-mechanisme tussen zeespiegelstijging en sedimentatie: het getijdebekken wordt trendmatig en voortdurend een beetje uit balans gebracht. In het begin van dit proces komt het zandvangvermogen van het verdiepte bekken geleidelijk op gang. Naarmate de zeespiegel stijgt, neemt het zandvangvermogen toe tot het dynamisch evenwicht is hersteld (Louters & Gerritsen, 1994).

Morfologisch is de situatie in de Waddenzee na aanleg van de Afsluitdijk 60 jaar geleden nog steeds niet in evenwicht: het geulensysteem is nog niet stabiel. Voor de morfologische ontwikkeling is het sedimenttransport tussen de Waddenzee en de Noordzee zeer belangrijk. De getijslag en de diepte van de geulen bepalen het transport van sediment en daarmee samenhangend de erosie langs de kop van Noord-Holland. Door de geulen achter het Marsdiep op te vullen zou de erosie aan de kop van Noord-Holland kunnen worden verminderd.

7.3.3 Ecologische veerkracht²

In het ecosysteem van de Waddenzee zijn verscheidene voorbeelden gevonden van veerkrachtige reacties (leidend tot een verandering in de richting van de oorspronkelijke toestand) na een verstoring die de stand van één of meer soorten reduceerde. Met name de reacties van bodemdieren zijn interessant, aangezien zij door hun rol in het functioneren van het ecosysteem van de Waddenzee als geheel een sleutelpositie innemen. Enerzijds gaan ze door intensieve consumptie van algen het optreden van hinderlijke algenbloei tegen (zie Intermezzo 1), anderzijds vormen ze een essentiële voedselbron voor vissen en vogels.

Bodemdieren vertonen een sterke dynamiek. Hun stand kan plotseling sterk achteruitgaan door een strenge winter (ca 30% van de soorten is gevoelig voor bevriezing), overbevissing (mossel, kokkel) of zuurstofgebrek (lokaal door bedekking met vast ijs of afstervende algenmassa's). In vrijwel alle gevallen bleken de bodemdieren *veerkrachtig te reageren*: hun aantallen herstelden zich binnen een korte periode, doorgaans binnen een jaar. Dit snelle herstel was ten dele te danken aan enkele negatieve feedbacks. Voorbeelden hiervan zijn:

1. Boven-gemiddeld succesvolle voortplanting in jaren met een lage stand van dominerende soorten. Bijvoorbeeld: in de zomer van 1991 toen de bodemdierenstand als geheel extreem laag was had een groot aantal soorten een record aantal jongen (Beukema & Cadée, 1996);
2. Jonge dieren vestigen zich in grotere dichtheden op plaatsen waar oude dieren schaars zijn. Bijvoorbeeld: jonge wadpiëren op plaatsen met weinig volwassen piëren, vele soorten kleinere bodemdieren waar volwassen piëren of kokkels schaars zijn (Flach 1992, 1993);

² Deze paragraaf is voor een belangrijk deel afkomstig van Beukema, schriftelijke bijdrage workshop.

3. Groeisnelheden zijn doorgaans hoger in gebieden waar de stand van de soort dun is en in jaren waarin de hele bodemdierenstand laag is. Bijvoorbeeld: de versnelde groei en de hoge lichaamsgewichten van allerlei soorten in de eerste helft van 1991, toen er extreem weinig kokkels en mossels in de Waddenzee waren (Beukema & Cadée, 1996).

In het algemeen verloopt het herstel van een plaatselijk sterk gereduceerde stand van bodemdieren snel. Proeven met grote levenloos-gemaakte stukken wadbodem op rustige getijplaten leerden, dat de aantallen soorten en individuen bodemdieren al na één zomerseizoen weer even groot waren als in het omliggende gebied. Alleen voor het herstel van de totale gewichtshoeveelheden dieren waren verscheidene jaren nodig en de leeftijdsopbouw van lang-levende soorten was pas na vele jaren weer normaal. Dit soort waarnemingen is ook relevant voor zandextractie en zandsuppletie. Deze vinden veelal plaats in relatief dynamische gebieden (schoon zand, kustgebieden met branding), waar de fauna zich relatief snel herstelt.

Intermezzo 1: de rol van filterende bodemdieren

Er zijn veel aanwijzingen dat filterende bodemdieren, zoals mossels en kokkels een belangrijke rol vervullen in het stabiliseren van mariene ecosystemen. Er zijn diverse feedbacks bekend in de voedselkringloop waarvan filtreerders een belangrijke rol spelen. Hierin ligt ook de reden dat deze organismen in toenemende mate gebruikt worden in het kader van de biomanipulatie. Zo worden mosselen gebruikt in de gerenoveerde havens van Liverpool om troebel water tegen te gaan (Smaal, schriftelijke bijdrage workshop).

Door filtratie en biodepositie zorgen de filterfeeders voor een verlaging van de concentratie fytoplankton, een stroom van organisch materiaal naar de bodem en opslag van nutriënten in bodemdetritus. Hierdoor zouden de filterende bodemdieren kunnen zorgen voor een 'natuurlijke controle' van de algenbiomassa. Zo is voor het Grevelingenmeer berekend dat elke 4 tot 5 dagen het gehele watervolume van het meer het filterapparaat van de bodemfauna passeert. In vergelijkbare ondiepe kustwateren in het buitenland en ook in de Waddenzee zijn overeenkomstige waarden gemeten (De Vries & Van de Kamer, 1986).

Er zijn ook voorbeelden van een *gebrek aan veerkracht* bij bodemdieren van de Waddenzee. Zo zijn bijvoorbeeld de oester en de wulk (nagenoeg) verdwenen, waarbij overbevissing een cruciale rol lijkt te hebben gespeeld naast vervuiling. De mossel bleek zich in het intergetijdegebied slecht te herstellen na het wegvissen van de mosselbanken in 1990. Een aannemelijke verklaring voor het uitblijven van herstel is, dat mossels een vaste ondergrond nodig hebben om zich ergens te kunnen handhaven en deze ondergrond bestaat in de Waddenzee vrijwel uitsluitend uit oude mosselen. Bij twee storingen tegelijk (aantalsreductie door overbevissing plus vervuiling of verandering in bodemstructuur) vraagt men blijkbaar te veel van het herstelvermogen.

Bij zulke veranderingen in de abiotische omstandigheden als zeespiegelstijging of bodemdaling moet onderscheid worden gemaakt tussen afzonderlijke soorten en de totale stand aan bodemdieren. Soorten die beperkt zijn tot de hoogste getijzone kunnen bij relatieve

zeespiegelstijging sterk achteruitgaan doordat hun verspreidingsgebied kustwaarts moet verschuiven en de aanwezigheid van dijken dit kan verhinderen. De bodemfauna als geheel (uitgedrukt in aantal grammen per m²) zal bij relatieve zeespiegelstijging toenemen op de hogere wadplaten en afnemen op de lagere. Het netto-effect is niet noodzakelijk een afname.

Veranderingen in sedimentsamenstelling (naast niveau in de getijdenzone een belangrijke abiotische factor voor de dichtheid van de bodemfauna) kan ook zowel gunstig als ongunstig uitwerken. Ongunstig zijn verschuivingen naar extreme waarden: zowel erg grove zanden als erg zachte slikken zijn arm aan bodemdieren doordat daar maar weinig soorten kunnen leven en dit in het algemeen kort-levende soorten met kleine individuen zijn. Bij blijvende veranderingen in sedimentsamenstelling (of de achterliggende factoren als stroomsterkte door getij en wind) is geen veerkrachtige reactie van de bodemfauna te verwachten. Zulke abiotische factoren kunnen limiterend zijn voor de bodemfauna (Beukema & Cadée, 1997).

De huidige ecosystemen van de Waddenzee functioneren binnen de randvoorwaarden van het hydrologisch/geomorfologisch systeem, het klimaat, de set van aanwezige soorten en de menselijke beïnvloeding. In het verleden hebben er gebeurtenissen plaats gevonden waarbij aanwezige ecosystemen kennelijk zodanig werden verstoord, dat zij buiten hun veerkracht c.q. weerstandsbereik raakten. Onder meer is dat het geval geweest voor sublitorale zee-grasvelden en oesterbanken. Ondanks hun weerstand tegen verandering, zijn deze systemen kennelijk toch verdwenen. De nu aanwezige ecosystemen hebben weinig weerstand tegen verandering, maar zijn wel veerkrachtig. In elk geval worden vele verstoringen zeer snel gevolgd door terugkeren van het systeem naar een 'normale' situatie. Dat geldt voor vormen van visserij, zandwinning, tijdelijke verontreiniging, in veel gevallen voor introductie van nieuwe soorten en voor recreatieve activiteiten (Wolff, schriftelijke bijdrage workshop).

7.4 Zandige kust van Noord- en Zuid Holland

7.4.1 Kenmerken

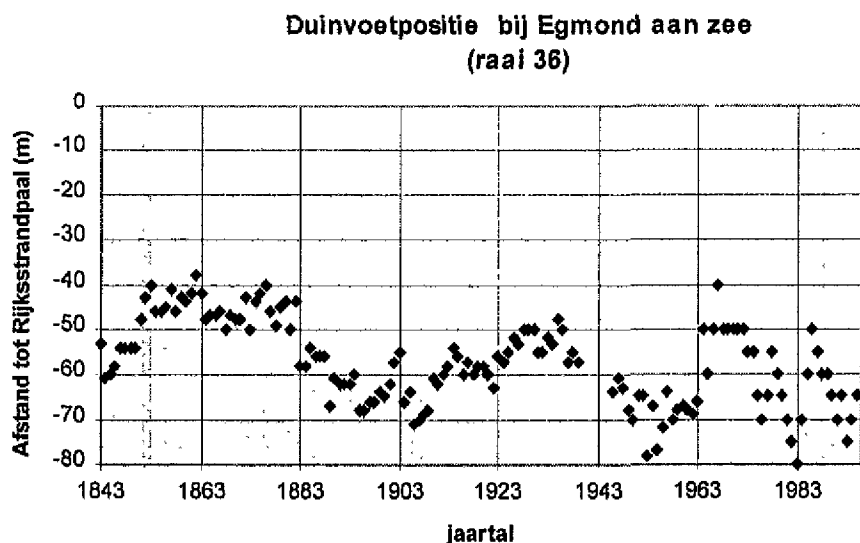
De gesloten Hollandse kust, van Hoek van Holland tot Den Helder, kan beschouwd worden als één samenhangend kustsysteem. In dwarsrichting zien we een aaneenschakeling van onderwateroever, strand en duinen, die een sterke onderlinge relatie hebben. Het achterland en het diepere water vormen de omgeving van het systeem, dat de randvoorwaarden voor het gedrag van het kustsysteem bepaalt. In de lengterichting zien we één aaneengesloten systeem, met hier en daar een aantal discontinuïteiten, zoals de havenhoofden van Hoek van Holland, Scheveningen, IJmuiden, de Hondsbosse Zeewering, de Delflandse hoofden en niet te vergeten de diepe vaargeulen naar de havens. Deze (kunstmatige) elementen hebben een belangrijk effect op het langstransport van sediment langs de kust. Zoals reeds eerder is beschreven bestaan er belangrijke relaties van het Hollandse kustsysteem met de aangrenzende Delta en Waddensystemen.

7.4.2 Morfologische veerkracht

Het kustsysteem is een hoogdynamisch systeem, dat gedomineerd wordt door externe dynamiek. Wind, golven, waterstandsverschillen (door getij, atmosferische druk en wind) en stromen vormen de invoer in het systeem. De resulterende waterbeweging kenmerkt zich door een transporterend vermogen, hetgeen via erosie en sedimentatie leidt tot een vormverandering. Deze morfologische verandering kent een terugkoppeling naar de waterbeweging. Bij het beschouwen van de ontwikkeling van de Hollandse kust moeten we twee verschillende typen van externe dynamiek onderscheiden (Augustinus, schriftelijke bijdrage workshop):

1. tijdelijke, min of meer extreme gebeurtenissen (bijvoorbeeld stormen); en
2. langzaam verlopende veranderingen die een min of meer continue verplaatsing van de kustlijn bewerkstellingen (bijvoorbeeld ten gevolge van zeespiegelstijging).

Op de tijdschaal van enkele jaren zien we een forse fluctuatie in de ligging van de kustlijn (zie figuur 7.1). Typische veranderingen over een periode van 5 jaar liggen in de orde van 10 tot 20 meter. Vaak zien we na een storm in het kustprofiel een afslag van de duinen, en een verhoogde onderwateroever waar het afgeslagen zand vermoed kan worden, na in zee-waartse richting getransporteerd te zijn. Wanneer er vervolgens weer wat lagere golven komen bij een normale waterstand, dan wordt een deel van het zand getransporteerd, waarbij het een bewegingscomponent heeft evenwijdig aan en dwars op de kust. Het kustprofiel verandert dan. Na verloop van tijd zien we ongeveer de vorm van het oude kustprofiel terugkeren (Baan et al., 1997a).



Figuur 7.1: Voorbeeld van de dynamiek van de kust (Egmond a/z) (Uit: Baan et al., in voorbereiding)

Een volledig herstel van het oude kustprofiel is niet zonder meer waarschijnlijk, gezien het feit dat er ook zandtransport in langsrichting plaats vindt en een deel van het zand wellicht in dieper water terecht komt en uit het systeem 'verdwijnt'. Wat we derhalve zien is een in de tijd veranderend kustprofiel waarbij een zekere mate van herstel (en dus veerkracht)

vermoed kan worden. Op wat langere tijdschalen overheersen echter veranderingen die deels cyclisch lijken (en mogelijk te maken hebben met optredende zandgolven) en deels het gevolg zijn van een trendmatige achteruitgang of vooruitgang van de kust.

De morfologische ontwikkeling hangt verder sterk af van de ruimte die geboden wordt aan deze processen. Menselijk ingrijpen heeft in de afgelopen eeuwen deze ruimte veelal (sterk) beperkt. Op plaatsen waar dit vanuit veiligheidsoogpunt zou kunnen (bijvoorbeeld waar een brede duinenrij bestaat) zou er meer ruimte gegeven kunnen worden. Landwaarts ruimte geven betekent dat het idee van het handhaven van de basiskustlijn wordt losgelaten. Hierdoor kan het proces van afslag en aangroei langs de kust weer vrijelijk plaats vinden, terwijl er voldoende buffer is om de langjarige trend te accommoderen. Het kustbeheer vraagt dan om minder beheersinspanningen en is in dit opzicht veerkrachtiger. Uiteraard vereist dit wel een grotere flexibiliteit in het gebruik van de kustzone. De gevolgen van een dergelijk beheer vereisen veel nadere studie, zeker ook in het licht van allerlei plannen rond de kust, zoals de landaanwinning voor een eventuele Tweede Maasvlakte en een eventueel vliegveld in zee. Dergelijke ingrepen kunnen, net zoals de aanleg van de Afsluitdijk, de Eurogeul en de Deltawerken, aanzienlijke veranderingen in het kustgedrag veroorzaken. Het huidige kustbeheer geeft in deze de minste onzekerheid naar de toekomst. Een kustbeheer dat meer ruimte laat voor dynamiek biedt meer onvoorspelbaarheid, maar ook nieuwe kansen, onder meer voor het ontstaan van ecologisch interessante gebieden.

7.4.3 Ecologische veerkracht

Het onderwaterleven voor de kust is aangepast aan de daar heersende dynamische omstandigheden, waarbij de waterbeweging en de morfodynamiek, naast de waterkwaliteit, de belangrijkste milieuparameters zijn. Over het algemeen is de diversiteit en biomassa van het bodemleven lager dan in de intergetijdegebieden van estuaria en de Wadden. Onderzoek in het kader van de zandwinning heeft aangetoond dat het herstelvermogen van de oorspronkelijk aanwezige bodemfauna relatief groot is. Binnen enkele jaren is een volledig herstel mogelijk, met uitzondering van de langer levende bodemdieren die in het algemeen niet elk jaar een succesvolle voortplanting kennen (Van Dalfsen en Essink, 1997). Ook hier geldt dat soorten met een r-strategie in het voordeel zijn.

In de duinen, waar als gevolg van begroeiing de externe dynamiek afneemt, worden de patronen complexer dan die van de onderwateroever en het strand. Na een eerste duinvorming kan de ecologische ontwikkeling plaatsvinden in de vorm van successiereeksen (zie paragraaf 5.2.1). De natuurlijke manier van duinvorming langs de Hollandse kust is het ontstaan van duinen parallel aan de zeereep, zodat strandvlaktes geheel of gedeeltelijk worden afgesnoerd van de zee. Op deze manier ontstaan primaire duinvalleien en/of sluffers (zoals op de Kwade Hoek bij Goeree en zoals bij Voorne).

De belangrijkste voorwaarde voor het ontstaan van een ecologisch gezien interessante eco-toop c.q. natuurdoeltypen, zoals vochtige valleien en sluffers, is de omvang van het gebied. Hoe breder het strand des te groter de kans dat een gevarieerd dynamisch duingebied ontstaat. Bij voldoende ruimte kan een dergelijk gebied na 50 tot 100 jaar ontstaan (Oppers, 1996). Natuurlijke duinvorming op een grote zandplaat is echter niet vanzelfsprekend. Er zijn vele voorwaarden en onzekerheden (zie Oppers et al., 1998). Bij het in stand houden

van duinstructuren spelen zowel ecologische processen als de invloed van de mens een belangrijke rol. Het beheer bepaalt bijvoorbeeld in hoge mate of en in welke mate zand-verstuiving kan plaatsvinden.

Welke processen zijn relevant voor het voortbestaan van waardevolle ecologische waarden in het duingebied? En hoe kunnen deze worden gerelateerd aan het begrip veerkracht? Vanuit de constatering dat met name de jonge stadia van de duinvegetatie veelal belangrijke natuurwaarden herbergen (vooral wat betreft flora en vegetatie) lijkt het zinvol met name aandacht te besteden aan de voorwaarden waaronder deze jonge stadia ontstaan en in stand gehouden worden (zie ook Vertegaal, 1998).

Zeer jonge duinbodems hebben een aantal specifieke kenmerken, omdat er weinig of geen bodem- en vegetatie-ontwikkeling heeft plaats gevonden: de bodem is kalkrijk, humusarm en nutrientarm. De vegetatie verkeert in de jongste successiestadia: van geheel onbegroeid en pioniervegetaties tot iets verder ontwikkelde duingraslanden met lokaal (dwerg)-struwelen. De vegetatie vertoont een lage primaire productie, vooral in droge delen. In de loop van de tijd kan een verdergaande bodem- en vegetatieontwikkeling optreden: de bodems worden kalkarmer en humus- en nutrientrijker; de vegetatie kan zich ontwikkelen naar gesloten struwelen of bos. Onder 'gunstige' omstandigheden kan deze successie al enkele decennia na het beginstadium inzetten. De snelheid ervan kan door verschillende natuurlijke en antropogene processen worden afgeremd (Vertegaal, 1998):

1. primaire verjonging: door erosie, gevolgd door hernieuwde aangroei ontstaan steeds opnieuw de jongste stadia
2. secundaire verjonging: door verstuvingsen eroderen oudere bodems en vegetatie of raken overstoven.
3. begrazing: natuurlijk (door konijnen) of via beweiding
4. 'houtroof', leidend tot secundaire verstuvingsen
5. inwaaiing van zout: saltspray voorkomt of remt de ontwikkeling van plantensoorten die hiervoor gevoelig zijn.
6. inwaaiing van zand: 'sandspray' werkt verjongend op de vegetatie en bevordert specifieke pioniersoorten.
7. natuurbeheer: behalve door beweiding wordt ook d.m.v. maaien, afplaggen en rooien getracht jonge vegetatiestadia te behouden of te herstellen.

Onder invloed van bovenstaande processen ontstaat er dus een ecosysteem, dat aangepast is aan deze hoge dynamiek, en kunnen we veerkrachtige soorten verwachten (r-strategen). Het ecosysteem als geheel is echter weinig veerkrachtig te noemen voor een externe stressor die ertoe leidt dat één of enkele van bovengenoemde processen verstoord worden. Op een nog hogere schaal, namelijk dat van het duinlandschap als geheel, kan men stellen dat dit veerkrachtiger wordt naarmate het gebied waarover de natuurlijke processen, zoals hierboven genoemd plaats kunnen vinden groter is. Immers, de kans dat het verlies aan waardevolle vegetaties en natuurdoeltypen door een verstoring kan worden gecompenseerd doordat elders verjonging c.q. ontwikkeling optreedt is dan ook groter. Daarom worden bijvoorbeeld in het rapport 'Meegroeien met de zee' (WNF, 1996) verschillende mogelijkheden genoemd om de ruimte te vergroten waarover natuurlijke processen kunnen plaatsvinden (bijv. door landwaartse verbreding van een smalle kuststrook, door zeewaartse uitbouw van de kust en door het aanbrengen van kerven in de zeereep).

7.5 Voordelta

7.5.1 Morfologische veerkracht

De Deltakust in Zeeland is als gevolg van de Deltawerken sterk veranderd. Dit heeft effect op de lange golven op zee en dus op de ontwikkeling van de kustlijn en de verplaatsing van zandgolven. Deze effecten kunnen zich mogelijk uitstrekken tot het Hollandse kustgebied, hoewel het precieze verloop van deze processen niet bekend is (Augustinus, mond. meded.). Door de sluiting van de zeegaten, en de daardoor optredende wijzigingen in de waterbeweging, verkeert de morfologie van de Voordelta thans in een fase van aanpassing aan de nieuwe omstandigheden. Door de afgenomen stroomsnelheden vindt sedimenttransport door de getijbeweging nauwelijks meer plaats. De diepe geulen in de onderwaterdelta zijn aan het verzanden, terwijl zich evenwijdig aan de kust een nieuw geulen- en bankengebied ontwikkelt. De sterkste veranderingen in de morfologie van de Haringvliet- en Grevelin- en monding hebben zich voltrokken in de eerste jaren na de afsluiting (1970/1971). In de Oosterscheldemonding zijn de veranderingen recenter in gang gezet door de voltooiing van de Stormvloedkering in 1987.

Twee ontwikkelingen in de morfologie van het gebied worden hier nader beschreven, nl. de zandverliezen aan de koppen van de eilanden en de toekomst van de Haringvlietmonding, mede in het licht van mogelijke wijzigingen in het spuieregime.

Kusterosie

In het Deltagebied wordt kusterosie vooral veroorzaakt door de verplaatsing van horizontale zandgolven langs de kust en/of dicht onder de kust gelegen getijdegeulen. Tevens verliezen de koppen van de eilanden zand ten gevolge van de golfvloed bij de overheersende westelijke windrichtingen. Wanneer niet wordt ingegrepen, dan wordt de komende 30 jaar lokaal een aanzienlijke duinvoetachteruitgang (orde 100 tot 200m) mogelijk geacht bij onder andere Domburg, Oranjeson, westkop Schouwen, westkop Goeree en westkop Voorne. Bij deze cijfers is uitgegaan van het huidige tempo van zeespiegelstijging van 0,20m/eeuw. Bij een zeespiegelstijging van 0,60m/eeuw wordt langs de Voordelta een extra kustachteruitgang verwacht van gemiddeld 0,35m per jaar. De lengte waarover kustachteruitgang optreedt neemt dan toe met 40% (Van Alphen & Molendijk, 1993).

De jaarlijkse zandverliezen per strekkende meter van de westkust van Schouwen behoren tot de grootste van Nederland. De bolle eilandkop is er de oorzaak van dat een netto golfgedreven transport plaatsvindt langs de flanken ervan, d.w.z. in zuidoostelijke en noordoostelijke richting. Lange termijnfluctuaties (zandgolven) veroorzaken langs de kust verplaatsende erosie- en sedimentatiegebieden. Door zandsuppleties in 1987 en 1991, waarbij de getijgeul zeewaarts werd opgeschoven, is deze erosie efficiënt bestreden (Roelse, 1996). Het huidige beleid richt zich op continuering van de zandsuppleties ter handhaving van de ligging van de kustlijn, waarbij een beperkte ruimte wordt gehanteerd voor de beweeglijkheid die de duinenkust eigen is. Kleine landwaartse en zeewaartse verschuivingen zijn mogelijk, als daarbij tot een gemakkelijker handhaafbare situatie gekomen kan worden (Van

Alphen & Molendijk, 1993). Hier is vooral sprake van een weerstandstrategie en slechts in beperkte mate van een veerkrachtstrategie.

Er zijn in het Beleidsplan Voordelta een aantal alternatieven voor het huidige kustverdediging geformuleerd. In het algemeen kan gesteld worden dat de kustverdediging baat heeft bij het verminderen van de golfwerking op het kustvak en bij afname van de stroomwerking langs het kustvak. De wijze waarop hierin kan worden ingegrepen zijn:

1. ophogen van de banken voor de kust, waardoor de golfindringing afneemt;
2. aanleggen van kunstmatige riffen voor de kust, waardoor de golfindringing afneemt;
3. verondiepen of afsluiten van de geulen dicht onder de kust, waardoor de stroming langs het kustvak afneemt;
4. aanleg van constructies dwars op de kustlijn, waarmee het langstransport tot stilstand komt en waarmee aanzanding gestimuleerd wordt.

Het is duidelijk dat deze maatregelen de natuurlijke ontwikkeling van de Voordelta in meer of mindere mate beïnvloeden. Zo gaat het ophogen van zandplaten voor de kust verder dan de ontwikkeling die op basis van de morfologische voorspelling verwacht wordt. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen in hoeverre deze maatregelen bijdragen aan een veerkrachtiger kustverdediging.

Ontwikkelingen in de Haringvlietmonding

De Haringvlietmonding verkeert morfologisch gezien nog steeds in een overgangssituatie ten gevolge van de afdamming van de Brielse Maas, de aanleg van de Haringvlietssluisen en de landaanwinningen ten behoeve van de Maasvlakte en het Slufterdepot. Uitvoering van de plannen voor een Tweede Maasvlakte en mogelijk een gewijzigd spuiregime zullen opnieuw leiden tot sterke morfologische wijzigingen. Op dit moment zijn er ruwweg een viertal ontwikkelingsmogelijkheden onder studie, gebaseerd op fundamenteel verschillende keuzen voor een Tweede Maasvlakte en een 'open' of 'dichte' variant van de sluisen:

	<i>Haringvliet open</i>	<i>Haringvliet dicht</i>
<i>2e Maasvlakte Noord</i>	open zee open	open zee dicht
<i>2e Maasvlakte Zuid</i>	estuarium variant	getijdebekken

Zonder uitgebreid in te gaan op de verschillen in morfologische (en hieraan gekoppeld de ecologische) ontwikkeling van deze vier varianten (zie hiervoor onder andere Brouwer & Uit den Boogaard, in voorbereiding), kan wel gesteld worden dat er grote verschillen bestaan in de snelheid waarin het mondingssysteem een nieuw evenwicht zal bereiken. Zo zal de variant Getijdebekken in vergelijking met de Estuariumvariant naar verwachting sterk zandimporterend zijn en pas na decennia een nieuw evenwicht bereiken. Voor de beantwoording van de vraag welke variant veerkrachtiger is, zal nog nader onderzoek verricht moeten worden, onder meer naar de effecten van de veranderingen op de nabijgelegen kustsystemen.

7.5.2 Ecologische veerkracht

Geredeneerd vanuit de delta als totaal kan men de Voordelta zien als een voorbeeld van een (gedeeltelijke) veerkrachtige respons op de grootschalige ingrepen ten gevolge van de Deltawerken. Immers, de verliezen in natuurwaarden ten gevolge van de afname van intergetijdegebieden in de afgedamde estuaria zijn deels gecompenseerd door het ontstaan van nieuwe droogvallende platen. Samen met de beschutte ondiepe gebieden achter de Hinderplaat en Bollen van de Ooster vormen deze platen ecologische sleutelgebieden. Door het rijke bodemleven hebben deze gebieden een grote betekenis voor opgroeiende vis, maar ook voor foeragerende vogels die op trek zijn of in de omgeving broeden. In de monding van de Oosterschelde zijn de droogvallende platen bovendien van belang als rustgebied voor zeehonden, waarvan een kleine populatie zich in de Oosterschelde bevindt. Daarnaast zijn er potenties voor natuurontwikkeling, met name in combinatie met natuurvriendelijke vormen van kustbeheer. Hierbij kan gedacht worden aan het laten overstuiven van de dammen en het laten ontstaan van primaire duintjes op brede stranden en tegen dammen (bijv. Neeltje Jans). Sluftervorming kan worden gestimuleerd, onder meer nabij de Brouwersdam (Van Alphen & Molendijk, 1993).

Een belangrijke les die geleerd kan worden van de ontwikkelingen in de Voordelta is dat indien de natuurlijke processen zoveel mogelijk worden toegelaten en (waar mogelijk) gestimuleerd, er in een relatief korte tijd hoge ecologische waarden kunnen ontstaan. In het Beleidsplan Voordelta wordt er daarom voor gepleit door zonering bepaalde schadelijke gebruiksfuncties te weren of te beperken.

7.6 Haringvliet

De afsluiting van het Haringvliet als onderdeel van de Deltawerken betekende het verloren gaan van het estuariene karakter van dit gebied. Onvoorzien was de omvang van de gevolgen voor het noordelijk deltabekken: aantasting van de buitendijkse gebieden door oeverafslag en sedimentatie van grote hoeveelheden verontreinigd slib (Paalvast e.a., 1998).

Met de afsluiting is een weg ingezet naar een nieuwe (zoete) evenwichtssituatie. Hydrodynamische processen bepalen momenteel de verdere ontwikkeling. Gaande van oost naar west worden het Hollandsch Diep en het Haringvliet opgevuld met sediment afkomstig van de Rijn. De geulen worden geleidelijk opgevuld met sediment en door de geconcentreerde golfaanval (bij de afwezigheid van getij) kalven de oevers verder af (op sommige plaatsen 5 tot 20 meter per jaar). De geleidelijke overgangen van land naar water zijn voor het merendeel verdwenen. Het evenwicht is nog niet bereikt.

Na de afsluiting en het ontstaan van een zoetwatersysteem begon de ecologische ontwikkeling in de richting van op zoet water gebaseerde ecosystemen. De grote verscheidenheid in vissoorten, die het estuarium kenmerkte, heeft het veld geruimd voor een zoetwatervisbestand kenmerkend voor eutroof water met Blankvoorn, Brasem, Baars en Snoekbaars als dominerende soorten. De barrièrewerking van de sluizen zorgde tevens voor het wegvallen van de anadrome vissen. Met het wegvallen van het getij en het verdwijnen van de zout-zoetgradiënt werd het gebied eenvormiger voor vogels. Soorten als de wintertaling verdwenen, terwijl de aalscholver sterk in aantal is toegenomen (Paalvast e.a., 1998).

Inmiddels is de discussie gestart om op het Haringvliet het getij weer toe te laten en de sluisen geheel of gedeeltelijk open te zetten. Daarmee zou het oorspronkelijke karakter van een estuarium deels weer kunnen worden hersteld. Dat zou de ontwikkeling naar een nieuwe evenwichtssituatie in gang zetten. Maar het zal nog tientallen jaren duren voor het evenwicht in morfologisch opzicht weer is bereikt (zie paragraaf 7.5.3). Waarschijnlijk zal het herstel van de estuariene ecologische waarden sneller gaan.

7.7 Grevelingenmeer

Het Grevelingenmeer is een voorbeeld van een watersysteem dat na een ingrijpende gebeurtenis op zoek is naar een nieuw evenwicht (zie Intermezzo 2). De Brouwersdam, die de afsluiting van het estuarium naar zee betekende, is in 1971 gesloten; de Grevelingendam, die het oostelijke einde van de Grevelingen afsloot van de Krammer, in 1964. Zeven jaar lang is het Grevelingenmeer afgesloten geweest van de omringende zoute wateren. In 1978 kwam de Brouwerssluis klaar, die 120 tot 140 m³/s water kan doorlaten.

Na een aanvankelijk dramatische sterfte van planten en dieren die aan getij en stroming gebonden zijn, is in de loop der jaren een nieuwe situatie ontstaan. De soortenrijkdom onder water is weliswaar een stuk kleiner dan vroeger, maar toch is het Grevelingen 'een gezond systeem waarin veel waterplanten en -dieren goed gedijen', aldus Nienhuis in 1986. Verschijnselen waaraan we kunnen zien dat het systeem nog niet in evenwicht verkeert zijn:

1. oeverafslag en afbraak van eilanden en platen
2. verstuiving van het opgedroogde zand van slikken en platen
3. spectaculaire opkomst en neergang van het zeegras
4. kolonisatie door het Japans bessenwier
5. grote fluctuaties in het voorkomen van de mossel en kokkel

De vraag of het Grevelingenmeer inmiddels een nieuw evenwicht bereikt heeft is moeilijk te beantwoorden. De Grevelingen is eigenlijk één groot ecologisch experiment; verrassingen, zoals in het verleden zijn opgetreden in de vorm van de Zeeuwse Oester, zijn ook in de toekomst niet uitgesloten (Doornbos, 1986).

Een feit blijft dat een uitgekiend beheer van dit systeem cruciaal is voor het in stand houden van de kwaliteit ervan. Een deel van de natuurlijke dynamiek is voorgoed verdwenen, hetgeen bijvoorbeeld tot uiting komt in de sterke afslag van de eilanden en platen in het meer. Hiervoor is kunstmatige oeverbescherming aangebracht. Doorspoeling van het meer moet voorkomen dat er gelaagdheid in het water optreedt, waardoor grootschalige sterfte onder de waterdieren en -planten zou kunnen ontstaan. Eutrofiëring is nog steeds een gevaar vanwege de lozingen van polderwater en andere nutriëntenbronnen. Er zijn waarschijnlijk verschillende mechanismen werkzaam die (mits men ze goed kent) gebruikt kunnen worden om de kwaliteit van het watermilieu duurzaam in evenwicht te houden. Zo zorgt filtratie en biodepositie door bodemorganismen voor verlaging van de concentratie fytoplankton, een stroom van organisch materiaal naar de bodem en opslag van nutriënten in bodemdetritus (zie Intermezzo 2).

Het verschijnsel van de snelle opkomst en ondergang van bepaalde soorten is een goede illustratie van de theorie dat estuariene systemen gemakkelijker zijn te beheren dan stag-

nante systemen (zie paragraaf 7.2.3). Bij de hoogdynamische systemen is er sprake van een permanente ecologische resetting. Hierdoor krijgen plaag-organismen weinig kans zich te ontwikkelen. Bij laagdynamische systemen krijgt het ecosysteem de kans zich te ontwikkelen (successie) naar een stabiele eindtoestand. Zolang deze toestand nog niet is bereikt is de kans op ongewenste situaties (bijvoorbeeld zuurstofloosheid, zeesla, dominantie van algen etc.) groot ('puberteitsproblemen'). Ook de (stabiele) eindtoestand kan om maatschappelijke redenen minder gewenst zijn (bijvoorbeeld een voor de watersport minder gewenste moerasontwikkeling). Wanneer dit tegengegaan moet worden, zal er via het beheer gezorgd moeten worden voor een antropogeen toegevoegde dynamiek. Een goede kennis van de biologische en chemische regulatiemechanismen zal daarbij kunnen bijdragen aan een effectiever en efficiënter (en dus veerkrachtiger) beheer van het Grevelingenmeer.

Intermezzo 2: veerkracht van de Delta

De geheel of gedeeltelijke afsluiting van de zeegaten in het kader van de Deltawerken hebben geleid tot ingrijpende morfologische en ecologische veranderingen. Voor alle voormalige estuaria (dus met uitzondering van de Westerschelde) kan gesteld worden dat de oorspronkelijke dominante processen, welke voornamelijk fysisch van aard waren, vervangen zijn door biologische en chemische factoren (Smaal & Van der Hoek, 1999). Immers, door het verminderen van de hydrodynamiek zijn met name het Veerse Meer, het Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer nagenoeg stagnante wateren geworden. Grote delen van de intergetijdegebieden zijn permanent droogvallend en kennen thans een terrestrische successie, terwijl andere gedeelten permanent onder water staan. Een toegenomen helderheid (doorzicht) gecombineerd met de afwezigheid van snelle stroming in de stagnante meren hebben de ontwikkeling van benthische macrofyten bevorderd. Vooral de herbivore zwanen, ganzen en eenden hebben hiervan geprofiteerd. Kenmerkend is de hoge primaire productie in deze meren, dat evenwel niet overal geleid heeft tot een eutrofe situatie. In het Grevelingenmeer heeft de hoge turnover snelheid van nutriënten geresulteerd in een nog steeds oligotrofe condities. Het Veerse Meer daarentegen is een voorbeeld van een eutroof meer, met hoge dichtheden aan macroalgen (zeesla).

Concluderend kunnen we stellen dat de ecologische respons op de ingrijpende verandering er vooral een is van aanpassing: de permanent veranderde milieu-omstandigheden hebben geleid tot een grootschalige verschuiving in soorten. Hierbij is het opvallend dat de productiviteit in veel gevallen vergelijkbaar is met die van vóór de Deltawerken. In functionele zin zou men dus wel kunnen spreken van een veerkrachtige respons, ook al zijn de andere kenmerken van het systeem (bijv. de soortensamenstelling, maar ook de morfologie) niet (of nog niet) in evenwicht (Smaal, schriftelijke bijdrage workshop). De grote uitdaging van het hedendaagse beheer is de huidige ecosystemen veerkrachtiger te maken. Immers, te vaak moeten met kunst en vliegwerk ongewenste ontwikkelingen ongedaan gemaakt worden. De sleutel hiertoe lijkt te liggen in het gedeeltelijk herstellen van de estuariene gradiënten (zout-zoet overgangen en getijdewerking) (Smaal & Van der Hoek, 1999).

7.8 Veerse meer

Het Veerse Meer staat niet meer onder de natuurlijke invloed van de getijdewerking van de Noordzee. Alleen in het voorjaar wordt zout water ingelaten vanuit de Oosterschelde, hetgeen leidt tot temperatuur en zoutstratificatie. Het peilbeheer kent een onnatuurlijk verhoogd zomer- en verlaagd winterpeil. Het Veerse Meer is het grootste mesohaliene (brakwater) meer in Nederland, maar het is in deze vorm niet als een duurzaam systeem te beschouwen. Brakke wateren kunnen beter ontwikkeld worden op de grens van zoute en zoete wateren, dus niet op een geïsoleerde plek (Bal et al., 1995). Hoewel in de publicatie van Bal et al. niet toegelicht wordt waarom het ecosysteem in het Veerse Meer niet duurzaam is, zou de redenering als volgt kunnen zijn: brakwatersystemen zijn sterk afhankelijk van een evenwicht tussen toevoer van zout en zoet water. Fluctuaties hierin zullen zich in natuurlijke systemen vertalen in een (ruimtelijke) verschuiving van het brakwatergebied. Een groot gedeelte van de brakwaterlevensgemeenschap kan met deze verschuiving mee migreren. En voor organismen waarvoor dit niet geldt, is er de mogelijkheid van herkolonisatie uit gebieden die wel brak blijven. In het Veerse Meer zijn de randvoorwaarden niet aanwezig om de dynamiek op te vangen: het gebied is te klein en bovendien wordt er een onnatuurlijk peilbeheer gehanteerd. Hierdoor zal in sommige perioden de brakwaterzone geheel verdwijnen, waardoor regelmatig sterfte onder de mariene organismen zal optreden.

7.9 Oosterschelde

Ook in de Oosterschelde hebben ingrijpende veranderingen plaats gevonden. Door de aanleg van de Philipsdam en Oesterdam is het estuarium afgesloten van de vrije aanvoer van zoet water. Door de aanleg van de Oosterscheldekering is het getijvolume aanzienlijk gereduceerd. Hoewel de verbinding met de zee bleef bestaan, is het estuariene karakter van de Oosterschelde verdwenen, waardoor voor typische brakwatersoorten geen plaats meer was. Door de verminderde getij-amplitude is de Oosterschelde niet meer in een morfologisch evenwicht: de geulen zijn in verhouding te diep en de slikken en platen hebben te lijden van oeverafslag. Het door deze afslag vrijkomende sediment zal in de geulen afgezet worden, waardoor er langzamerhand een nieuw evenwicht ontstaat. De vrij beschikbare hoeveelheid zand in de Oosterschelde is echter te klein voor het opvullen van de geulen.

Het wegnemen van de rivierinvloed heeft in de eerste jaren wel een positief effect gehad op de waterkwaliteit van de Oosterschelde. Immers, de kwaliteit van het Rijnwater in de 70er en 80er jaren was uitermate ongunstig voor de levensgemeenschappen in het estuarium. Zo verbeterde het doorzicht na de afsluiting van de Philips- en Oesterdam en werd de Oosterschelde één van de meest waardevolle onderwatersportgebieden van Nederland. Ook is er een toename van de visetende vogels geconstateerd, die waarschijnlijk ook door het verbeterde doorzicht is te verklaren (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 1996a). Toch is er vanuit het beleid ook voor de Oosterschelde een discussie op gang gekomen voor een alternatief waterbeheer. Nagegaan wordt in hoeverre de Krammersluizen een rol kunnen spelen in het herstel van de estuariene gradiënt in het oostelijk deel van dit bekken door stimulering van de oorspronkelijke afvoer dynamiek van zoet rivierwater (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996b). Ook hier geldt de vraag in hoeverre het herstel kan leiden tot duurzame brakwatergemeenschappen (vgl. de situatie rond het Veerse Meer).

7.10 Westerschelde

7.10.1 Kenmerken

De Westerschelde is niet dermate ingrijpend veranderd zoals dat het geval was bij de Oosterschelde, Grevelingen en Haringvliet. De veranderingen in dit estuarium zijn echter van een meer geleidelijke aard: door de inpoldering van intergetijdegebieden langs de rand (bijv. de Braakman) is de komberging afgenomen en is ook hier het morfologisch systeem uit evenwicht geraakt, zij het minder dan bij de Oosterschelde. Dit wordt nog versterkt door de omvangrijke baggerwerkzaamheden ten behoeve van het op diepte houden van de geulen.

7.10.2 Morfologische veerkracht

Voor de Westerschelde geldt dat de getijdebeweging de belangrijkste aandrijving voor de waterbeweging en het sedimenttransport is. Invloeden van de bovenstroomse afvoer van de Schelde en de daarmee samenhangende dichtheidsstroming spelen een veel minder belangrijke rol. Daarnaast wordt het systeem ook beïnvloed door menselijke ingrepen. Om een beter inzicht te krijgen in de werking van het morfodynamische systeem is een onderscheid in schaalniveaus belangrijk. Elk niveau kan worden beschreven als een dynamisch subsysteem, met een bijbehorende externe forcering en gedrag. Via de interne wisselwerkingen en de interacties tussen de verschillende subsystemen kan er door een externe forcering op een bepaald schaalniveau ook een respons op andere schaalniveaus ontstaan. De invloed van lagere schaalniveaus op de hogere niveaus gaat meestal via veranderingen van de eigenschappen van het subsysteem zelf, zoals verandering van de bodemruwheid die invloed uitoefent op de waterbeweging, en daarmee op de hogere schaalniveaus. Op ieder schaalniveau past een bijbehorende tijdschaal en relevante forcering (zie tabel 7.1)(Stive et al., 1998).

Macro-schaal-circulaties van stroming en sedimenttransport vormen een belangrijk kenmerk van natuurlijke estuaria. Zonder deze circulatie, ofwel de macro-schaaldynamiek, verwordt het estuarium tot een getijrivier. Daarom wordt als hypothese gesteld: *macro-schaal dynamiek is een noodzakelijke voorwaarde voor het in stand houden van het estuarium. Zonder het meergeulenstelsel zal het estuarium snel gaan verlanden.* Empirische relaties wijzen er ook op dat er een verband bestaat tussen de omvang van het totale dwarsprofiel van het estuarium en het aantal geulen in het dwarsprofiel. Dit geeft onder andere een aanwijzing dat een zekere minimum afmeting van het estuarium is vereist voor het behouden van meergeulenstelsels (Stive et al., 1998).

Tabel 7.1. Overzicht van morfologische dynamiek van de Westerschelde gerangschikt naar schaalniveau (Bron: Stive et al., 1998).

Schaalniveau	omschrijving	externe forcering	tijdschaal
mega-schaal	veranderingen op de schaal van het hele estuarium of van de grootste compartimenten ervan	zeespiegelstijging, continue zandwinning	eeuwen
macro-schaal	veranderingen op het niveau van hoofd- en nevengeulen	verdiepingen, onderhoudsbaggerwerk, storten van baggerspecie, 18,6 jarige cyclus van getij, enz.	decennia
meso-schaal	veranderingen zoals het ontstaan, migreren en verdwijnen van kortsluitgeulen, sedimenttransport over de platen, plaat-geul uitwisseling van sediment	extreme condities, getijbeweging, baggeren, storten en zandwinning	jaren
micro-schaal	veranderingen op het niveau van beddingvormen, zoals megaribbels	getijbeweging	dagen

Het belang van de morfologische dynamiek voor het beheer is evident, maar tegelijkertijd zeer complex. Verondersteld wordt dat de afname van de morfologische dynamiek nadelige invloed heeft op het functioneren van de Westerschelde als een gezond, compleet en natuurlijk estuarium (Vroon et al., 1997). In hoeverre de huidige Westerschelde een veerkrachtige respons kan laten zien ten aanzien van zeespiegelstijging is nog onvoldoende bekend. Wel is inmiddels gebleken uit lopend onderzoek van Rijkswaterstaat dat bij de morfologische veranderingen van de afgelopen decennia de menselijke activiteiten zoals vaargeulbeheer en zandwinning een minstens zo grote rol spelen als zeespiegelstijging en getijslagtoename. Het effect van de huidige zandwinning is bijvoorbeeld sterker dan dat van de verwachte zeespiegelstijging (Stive et al., 1998).

Met betrekking tot de veiligheid is geconstateerd dat de waterstanden in het oostelijk deel van de Westerschelde veel sneller stijgen dan in het westelijk deel (50 cm per eeuw in het oosten tegen 25 cm in het westen). Het gevolg is dat op langere termijn het risico van overstroming groter wordt. De oorzaak van de versterkte waterstandsverhoging wordt gezocht in de grote hoeveelheid ingrepen die in de Westerschelde heeft plaatsgevonden. Het causale verband tussen de ingrepen en de waterstandsverhoging is echter nog niet in detail bekend (Stive et al., 1998). Een mogelijkheid om de problemen met betrekking tot de hogere waterstanden en het op diepte houden van de geulen op een veerkrachtige manier aan te pakken is ontpolderen: door de waterkering meer landinwaarts te leggen wordt de komberging vergroot en zal de getijdebeweging meehelpen de geulen op diepte te houden. Tevens zouden de hoogwaterstanden daardoor verlaagd kunnen worden, waardoor de nieuwe zeewering beter bestand is tegen golfaanvallen (de voorheen als polder aangemerkte gronden zijn schorren geworden en is er een grotere oeverbreedte gecreëerd). De discussie hierover is nog niet uitgekristalliseerd. Er is sprake van terugkoppelingsmechanismen, waardoor het effect op termijn nog niet duidelijk is.

7.10.3 Ecologische veerkracht

Over het algemeen worden de levensgemeenschappen van de Westerschelde gekenmerkt door het vermogen zich snel aan te passen aan de veranderende omstandigheden in hun leefmilieu. Dit geldt met name voor de benthische organismen die leven in de zandbodem. Veel soorten zijn binnen zekere grenzen in staat mee te migreren met de natuurlijke sedimentatie of erosie (Stive et al., 1998).

De waterkwaliteit van de Westerschelde is over het algemeen slechter dan die van de Oosterschelde. Het estuarium is een weinig productief systeem vanwege de lichtbeperking die veroorzaakt wordt door de vertroebeling. De troebelheid wordt bepaald door diverse factoren:

1. rivierinvloeden (mogelijk toename troebelheid door verhoogde sedimentaanvoer door landerosie);
2. verwijdering van slib uit de havens van Antwerpen (afname van troebelheid);
3. door bedijking verlies aan plaatsen waar slib bezinkt in rivier en estuarium (toename van troebelheid).

Er zijn aanwijzingen dat er in het watersysteem een feed-forward mechanisme bestaat tussen slib en filterfeeders. Minder slib zou kunnen leiden tot een hogere productiviteit (fytoplankton), hetgeen de groei van filterfeeders bevordert die op hun beurt slib vasthouden. Harde bewijzen voor een dergelijk mechanisme zijn er echter niet.

Het schorareaal in de Westerschelde is voornamelijk als gevolg van inpolderingen sterk achteruit gegaan. Bovendien is de morfologische structuur van de Westerschelde inmiddels dusdanig veranderd dat het proces van natuurlijke verlanding aan het versnellen is. Een voorbeeld hiervan is het schorrencomplex bij Saeftinghe. Het hele land van Saeftinghe komt daardoor hoger te liggen en dreigt binnen 20 jaar zo hoog opgeslibd te zijn dat het niet meer door het Scheldewater wordt overstroomd. Vergroting van de komberging in het estuarium en daarbij horende vergroting van de stroomsnelheden en verdieping van de geulen zou meer dynamische omstandigheden kunnen creëren, zodat verlanding wordt tegengegaan. Nergens langs de Westerschelde ontstaan op dit moment op een natuurlijke wijze jonge schorren door het gebrek aan ruimte tussen de geulen en de dijken (Stive et al., 1998).

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Veerkracht en beleid

De veerkracht van een (kust)watersysteem kan worden gedefinieerd als het herstelvermogen van het systeem om de druk van dynamische externe omstandigheden op te vangen zonder dat de karakteristieke structuur en eigenschappen (functies) van het systeem significant veranderen. Hierin wordt het watersysteem verondersteld zowel het natuurlijk systeem te omvatten, als de gebruiksfuncties en de door de mens aangebrachte infrastructuur. Voor een nadere beschrijving en uitwerking van het begrip veerkracht voor het beleid zijn met name de interacties tussen deze deelsystemen van groot belang.

Het beleid ziet zich geconfronteerd met de vraag op welke wijze watersystemen duurzaam in stand gehouden kunnen worden om de gewenste functies en waarden te behouden. Hierbij is het van groot belang te onderkennen dat systemen zich duurzaam in stand kunnen houden door een combinatie van drie eigenschappen:

1. een (natuurlijk) weerstandsvermogen
2. een herstelvermogen
3. een aanpassingsvermogen.

De weerstand van een systeem wordt voornamelijk bepaald door structuren en hun eigenschappen, het herstelvermogen en aanpassingsvermogen zijn vooral afhankelijk van de processen die deze structuren vormgeven. De uiteindelijke mate van instandhouding is daarom altijd afhankelijk van de wijze waarop structuren en processen met elkaar in relatie staan. Wanneer in het beleid gesproken wordt over een veerkrachtstrategie, dan wordt hiermee bedoeld dat met name het herstelvermogen wordt versterkt. In feite gaat het meestal om een accentverschuiving. Werd het waterbeheer vroeger gekenmerkt door het verhogen van de weerstand, thans ligt de nadruk op het verhogen van de veerkracht.

Beleidsmatig is een tijdschaal tot enige decennia interessant voor beschouwingen over veerkracht. Dit geldt niet alleen vanwege de tijdshorizon van het beleid zelf, maar ook omdat op een langere tijdschaal de trendmatige veranderingen veelal dominant zijn over de oscillaties rondom de trend. Hoe langer de tijdschaal, hoe meer het begrip veerkracht zijn betekenis verliest en plaats maakt voor verandering.

In ruimtelijke zin is de uitwerking van veerkracht met name zinvol op het niveau van deelsystemen van de kust, bijvoorbeeld de Waddenzee of de Westerschelde. Voor systemen op lagere schaalniveaus binnen deze deelsystemen, bijvoorbeeld kwelders, wordt dan gekeken naar de mogelijkheid om zich dynamisch binnen het grotere geheel te kunnen handhaven. Bij het uitwerken van een veerkrachtstrategie voor deelsystemen van de kust moet er wel rekening mee worden gehouden dat er sprake is van interacties tussen deze deelsystemen, en dat die interactie deel uitmaakt van de processen die bijdragen aan het vormgeven van deze deelsystemen. In ieder geval is het raadzaam de gevolgen van een veerkrachtstrategie voor een deelsysteem op andere deelsystemen te bepalen.

Om de (van nature aanwezige) veerkracht van kustwatersystemen te behouden of te vergroten moet gezocht worden naar mogelijkheden om de natuurlijke 'regelmechanismen' en de daaraan ten grondslag liggende feedback-processen in stand te houden en waar mogelijk te versterken. Als de natuurlijke regelmechanismen afhankelijk zijn van specifieke abiotische (en biotische) condities moet het beheer deze condities scheppen en in stand houden.

Het ontwikkelen van een veerkrachtstrategie voor kustwateren kan worden gebaseerd op drie gidsprincipes:

- flexibiliteit in gebruik;
- meewerken met natuurlijke processen; en
- gebruik maken van natuurlijke feedback en buffering.

Flexibiliteit in gebruik betekent dat minder strenge eisen worden gesteld aan het systeem. De ontwikkelingen worden meer op hun beloop gelaten en behoeven daardoor minder (bij)sturing. Meewerken met natuurlijke processen houdt in dat met het gebruik en beheer zoveel mogelijk wordt ingespeeld op de natuurlijke processen: geen tegenstand bieden maar meeveren. Gebruik maken van natuurlijke feedback en buffering is van belang bij het benutten van natuurlijke hulpbronnen in kustwatersystemen. Het gebruik moet vallen binnen de natuurlijke aanwas of de ruimte die er nog is binnen de natuurlijke buffercapaciteit.

Hierbij wordt opgemerkt, dat aan een veerkrachtstrategie niet alleen voordelen verbonden zijn. Meer veerkracht (meer ruimte voor natuurlijke processen) kan ook leiden tot meer onzekerheden en meer risico's (als voorbeeld kan gedacht worden aan de versterking van de uitwisseling bij de Grevelingen). Ook kan een veerkrachtstrategie leiden tot maatschappelijk onaanvaardbaar hoge kosten vanwege functieverlies. In die situatie verdient een weerstandstrategie de voorkeur (vergelijk de boulevard in Scheveningen als kustverdediging).

In andere gevallen waarin de huidige toestand van een kustwatersysteem weinig veerkracht vertoont kan het wel maatschappelijk aantrekkelijk zijn om de gewenste toestand in termen van functievervulling van het kustwatersysteem bij te stellen. Wanneer meer flexibiliteit in het gebruik maatschappelijk aanvaardbaar is, dan kan de huidige bijsturing en relatief hoge beheersinspanning worden verminderd. Deze optie is met name interessant voor die kustgebieden waarin de mens in het verleden de natuurlijke dynamiek heeft verkleind. Om toch de oorspronkelijke en gewenste (vaak ecologische) waarden en functies te behouden is veelal een antropogeen toegevoegde dynamiek (lees: beheersinspanning) nodig. En zelfs dan wordt het gewenste resultaat niet altijd bereikt. Het te behouden systeem verhoudt zich namelijk niet met de nieuwe (gereduceerde) dynamiek. In dat geval is de keuze: ofwel de oorspronkelijke natuurlijke dynamiek herstellen, ofwel het gewenste streefbeeld aanpassen aan de nieuwe omstandigheden.

In de praktijk zal een afweging moeten worden gemaakt van alle voors en tegens van de verschillende strategieën en van de gewenste toestand van een kustwatersysteem. Daaruit kan dan een optimale mix worden samengesteld, die zich - waar mogelijk en maatschappelijk aantrekkelijk - richt op het vergroten van de veerkracht, en in andere gebieden vooral op weerstand zal zijn gebaseerd. Met het oog op een duurzame ontwikkeling mag daarbij

niet alleen naar korte termijn gewin en verlies worden gekeken maar moet ook de lange termijn en de behoeften van toekomstige generaties in het oog worden gehouden.

8.2 Veerkrachtbepalende processen

Abiotische structuren en processen en de condities die daaruit voortkomen zijn vaak sterk bepalend voor het systeem dat wordt gevormd. Afhankelijk van de condities krijgen biotische structuren en processen daarna kansen om zich te ontwikkelen en het systeem in stand te houden. Vanwege de dominantie van abiotische structuren en processen hebben ingrepen hierin vaak verstrekkender gevolgen dan ingrepen die alleen de biotische componenten betreffen.

Door alle ingrepen langs de kust zijn de meeste kustwatergebieden morfologisch niet in evenwicht. Zo is het geulenstelsel in de Waddenzee nog steeds aan verandering onderhevig na het aanleggen van de Afsluitdijk. De kustwateren in Zuid-Holland en Zeeland (Haringvliet, Grevelingenmeer, Oosterschelde) verkeren na de aanleg van de Deltawerken evenmin in evenwicht. In ecologisch opzicht past het watersysteem zich meestal sneller aan, maar ook hier is vaak geen sprake van een evenwichtige ontwikkeling. Met name bij de afgesloten zeearmen doen zich grote fluctuaties voor in de dominantie van bepaalde soorten (zoals bijvoorbeeld de opkomst en ondergang van het zeegras in het Grevelingenmeer).

Met betrekking tot de morfologische ontwikkeling van kustwateren is van groot belang het vaak inherent chaotische gedrag te onderkennen. Deze systemen gedragen zich heel flexibel en hebben een grote tolerantie voor externe verstoringen. Een op veerkracht gebaseerde beheerstrategie kan gebruik maken van deze tolerantie, hetgeen meestal betekent dat het systeem de ruimte moet krijgen zich dynamisch te gedragen en dat ook gebruiksfuncties een hoge mate van flexibiliteit moeten vertonen.

Voor wat betreft ecosystemen is het van belang gebruik te maken van de van nature aanwezige veerkracht van organismen en populaties (vgl. r- en K strategen). Zolang bepaalde grenzen niet worden overschreden kunnen maatschappelijke functies hier dankbaar gebruik van maken (bijvoorbeeld de visserij). Op het niveau van het landschap is de interactie tussen de (veelal hoge) dynamiek van de abiotische processen met de ecologische successie van eminent belang. Bevordering van veerkracht is hierbij vooral een kwestie van ruimte geven voor het laten verdwijnen en elders weer laten ontstaan van waardevolle ecotootypen. Hierbij dient overigens opgemerkt te worden dat ecosystemen met een hoge veerkracht niet automatisch ecologisch gezond of waardevol zijn. Sommige waardevolle ecosystemen zijn juist kwetsbaar en weinig veerkrachtig, ontwikkelen zich langzaam en komen niet altijd vanzelf weer terug.

8.3 Aanbevelingen

Kennisleemten

De genoemde gidsprincipes voor het samenstellen van een veerkrachtstrategie kunnen behulpzaam zijn bij het ontwikkelen van een strategie voor een kustwatersysteem. Door de processen in de kustwatersystemen die bijdragen aan veerkracht zoveel mogelijk te benutten wordt de veerkracht van het systeem vergroot. Hiervoor is kennis nodig van de dominante processen. Het onderhavige rapport verschaft hierover al veel informatie, hoewel de werking van veel terugkoppelingsmechanismen nog onvoldoende bekend is. Gericht onderzoek op het terrein van de morfodynamiek en ecosysteem-ontwikkeling is daarom noodzakelijk. Dit onderzoek zou zich vooral moeten richten op de volgende vragen:

1. welke terugkoppelingsmechanismen kunnen worden onderscheiden binnen het abiotische en biotische deelsysteem en tussen deze beide deelsystemen en wat is hun relevantie voor het gedrag van het totale watersysteem?
2. op welke wijze beïnvloeden de deelsystemen van een watersysteem op verschillende schaalniveaus elkaar? En wat heeft dat voor consequenties voor de voorspelbaarheid van het gedrag en voor de veerkracht van het totale watersysteem?

Naast de kennisontwikkeling op het natuurwetenschappelijk terrein is er ook meer inzicht nodig in de maatschappelijke aspecten van veerkracht. Van groot belang is kennis over de wijze waarop gebruiksfuncties worden beïnvloed door maatregelen die de morfologische of ecologische veerkracht bevorderen. In het verlengde hiervan ligt de vraag op welke wijze de gebruiksfuncties zelf veerkrachtiger gemaakt kunnen worden (bijvoorbeeld door bevordering van de flexibiliteit), en wat de maatschappelijke acceptatie hiervan is.

Vervolgstudies

Uit de beschrijvingen van de verschillende deelsystemen van de Nederlandse kustwateren is vooral de grote verscheidenheid aan processen en problemen opvallend. Het blijkt daarom moeilijk te zijn in algemene termen te spreken over processen die de veerkracht bevorderen. Dit pleit voor een gedifferentieerde aanpak per deelsysteem, zoals bijvoorbeeld de Waddenzee of de Oosterschelde. De gewenste aanpak zou de volgende stappen moeten omvatten:

1. vaststelling van de beheersdoelen en gewenste situatie of ontwikkeling van het deelsysteem
2. formuleren van op veerkrachtverhoging gebaseerde beheersmaatregelen met behulp van de drie gidsprincipes
3. identificatie van de voor die maatregelen relevante processen
4. onderzoek naar de werking van die processen, waarbij vooral naar de langere termijn gekeken wordt en naar de relaties van het betreffende deelsysteem met andere deelsystemen

5. eventueel bijstelling van het beheer (andere maatregelen, doelen of gewenste situatie) indien de resultaten van het onderzoek hier aanleiding toe geven.

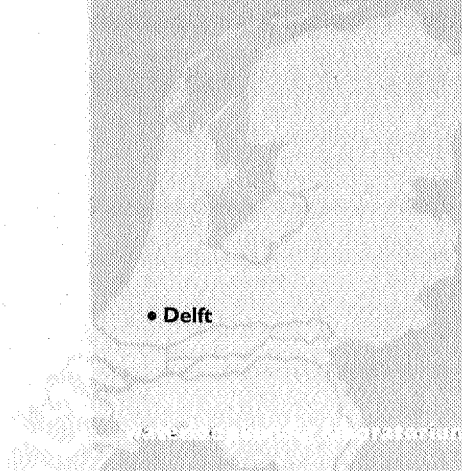
Tot slot

Zoals gezegd zijn aan een veerkrachtstrategie ook nadelen verbonden. Deze kunnen in sommige kustwatergebieden dusdanig groot zijn, dat een weerstandsstrategie daar is te verkiezen boven een veerkrachtstrategie. Om tot een duurzame ontwikkelingsstrategie te komen is een integrale evaluatie en afweging nodig van de voordelen en nadelen van de verschillende strategieën, en dit in relatie tot de gewenste toestand van het kustwatersysteem. Een duurzame ontwikkelingsstrategie zal dus niet alleen uit elementen van een veerkrachtstrategie bestaan, maar daarnaast - waar opportuun - ook elementen bevatten van andere strategieën.

9 Literatuur

- Baan, P.J.A., C. H. Hulsbergen & M. Marchand (1997a). *Veerkracht van de Kust. Ontwikkeling en operationalisering van een 'veerkrachtmeter'*. I.o.v. RIKZ. WL Rapport Z2136. Delft.
- Baan, P.J.A., S.G.J. Aarninkhof & M. Marchand (1997b). *Definitiestudie Veerkracht van de kust*. I.o.v. RIKZ. WL rapport Z2290. Delft.
- Baan, P.J.A. & F. Klijn (1998). *De Rijn op Termijn. Een veerkrachtstrategie*. WL-rapport R3124.10. Delft.
- Baan, P.J.A., M.J. Baptist & W. H.G. Klomp (in voorbereiding). *Ontwikkeling van een veerkrachtmeter*. WL|DELFT HYDRAULICS en DHV, in het kader van LWI.
- Bal, D., H.M. Beijer, Y.R. Hoogeveen, S.R.J. Jansen en P.J. van der Reest (1995). *Handboek natuurdoeltypen in Nederland*. Rapport IKC Natuurbeheer nr. 11, Wageningen.
- Bakker, T.W.M., J.A. Klijn & F.J. van Zadelhoff (1979). *Duinen en duinvalleien. Een landschapsecologische studie van het Nederlandse duingebied*. Pudoc, Wageningen.
- Beukema, J.J. & G.C. Cadée (1996). Consequences of the sudden removal of nearly all mussels and cockles from the Dutch Wadden Sea. P.S.Z.N. In: *Marine Ecology* 17: 279-289.
- Beukema, J.J. & G.C. Cadée (1997). Local differences in macrozoobenthic response to enhanced food supply caused by mild eutrophication in a Wadden Sea area: food is only locally a limiting factor. *Limnology Oceanography* 42: 1424-1435.
- Costanza, R. & M. Mageau (in druk). What is a healthy ecosystem? *Aquatic ecology* (in press).
- De Vries, I. & J.P.G. van de Kamer (1986). Ecologische modelbouw. Rekenen aan een ecosysteem. In: P.H. Nienhuis e.a. *Het Grevelingenmeer. Van estuarium naar zoutwatermeer*. Speciale uitgave van Natuur en Techniek. Maastricht/Brussel.
- Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat (1998). *De Afsluitdijk in de 21e eeuw. Van afsluiten naar verbinden*. Discussienotitie. RIKZ werkdocument 98.604x, RIZA werkdocument 98.116x.
- Doornbos, G. (1986). Vissen in de Grevelingen. In: P.H. Nienhuis e.a. *Het Grevelingenmeer. Van estuarium naar zoutwatermeer*. Speciale uitgave van Natuur en Techniek. Maastricht/Brussel.
- Flach, E.C. (1992). Disturbance of benthic infauna by sediment-reworking activities of the lugworm *Arenicola marina*. *Netherlands Journal of Sea Research* 30: 81-89.
- Flach, E.C. (1993). The distribution of the amphipod *Corophium arenarium* in the Dutch Wadden Sea: relationships with sediment composition and the presence of cockles and lugworms. *Netherlands Journal of Sea Research* 31: 281-290.
- Havinga, R., F. Klijn, V. Loeffen & W. van der Slikke (1992). Overlaten en groene rivieren: geschiedenis of toekomst? *H2O* 25 (1992)/10: 248-254.
- Klijn, F. (1993). Alternatieven voor dijkverzwaring. In: Bervae et al. (1993). *Landschap als geheugen: opstellen tegen de dijkverzwaring*. Uitg. Cadans Amsterdam, pp. 143-168.
- Klijn, F. (1997). *A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification*. Proefschrift. Rijksuniversiteit Leiden.
- Kramer, N.J.T.A. & J. de Smit (1982). *Systeemdenken*. Senfert Kroese, Leiden/Antwerpen.
- Krebs, C.J. (1972). *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance*. Harper & Row, New York Evanston San Francisco London.
- Louters, T. & F. Gerritsen (1994). *Het mysterie van de Wadden. Hoe een getijdesysteem inspeelt op de zeespiegelstijging*. Rapport RIKZ 94.040. Den Haag.
- Marchand, M., M. Baptist, C.H. Hulsbergen, H. van Pagee, M. Stive & A. van der Weck (1998). *Vormen van de kust. Mogelijkheden voor kustuitbreiding vanuit morfologisch en ecologisch perspectief*. WL rapport Z2330. Delft.
- Ministerie van Verkeer & Waterstaat (1996a). *Achtergrondnota Toekomst voor water*. Project Watersysteemverkenningen. RIZA rapport 96.058.
- Ministerie van Verkeer & Waterstaat (1996b). *Beheersplan voor de Rijkswateren*. Programma voor het beheer in de periode 1997 t/m 2000. Directoraat-Generaal van de Rijkswaterstaat. Hoofdkantoor van de Waterstaat. Directie Water. SDU. Den Haag.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1997). *Vierde Nota Waterhuishouding*. Regeringsvoornemen. Den Haag.

- Nienhuis, P.H. (1986). Het Grevelingenmeer. In: P.H. Nienhuis e.a. *Het Grevelingenmeer. Van estuarium naar zoutwatermeer*. Speciale uitgave van Natuur en Techniek. Maastricht/Brussel.
- Oppers, M.B. (1996). *Natuurontwikkeling. Een studie naar (randvoor)waarden van kustnatuurdoeltypen van Nederland*. Uitgevoerd in het kader van LWI-kusten. Universiteit van Amsterdam.
- Oppers, M.B., S.M. Arens, M.J.M. Poot, T. van Geelen & J.M. Reitsma (1998). *Onderzoek naar duinontwikkeling op een Maasvlakte 2*. Bureau Waardenburg i.o.v. Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten.
- Paalvast, P., W. Iedema, M. Ohm & R. Posthoorn (1998). *MER Beheer Haringvlietsluizen. Over de grens van zoet en zout*. Deelrapport ecologie en landschap. RIZA rapport 98.051. Dordrecht.
- Roelse, P. (1996). *Evaluatie zandsuppleties aan de Nederlandse kust 1975-1994. Een morfologische beschouwing*. RIKZ rapport 96.028.
- Smaal, A. C. & A. van der Hoek (1999). Managing the Ecology and Economy of Modified Estuaries: The Delta Project in The Netherlands. In: M. Vollmer & H. Grann (Eds.) *Large-Scale constructions in coastal environments: conflict resolution strategies*, First International Symposium, April 1997, Norderney Island, Germany. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Stichting Werkgroep Noordzee (1998). *Bouwen in de Noordzee. Kunnen we dat maken?* Congresverslag Pier van Scheveningen, december 1997. Stichting Werkgroep Noordzee, Utrecht.
- Stive, M.J.F., Z.B. Wang, H.F.P. van den Boogaard & M.J. Baptist (1998). *Definitiestudie Morfologische Dynamiek Westerschelde*. In opdracht van RIKZ. WL|DELFT HYDRAULICS rapport Z2427.
- Terwindt, J. H.J. (1998). *Te kust en te keur*. Afscheidscollege Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht, 18 december 1998.
- Van Alphen, J. & R. Molendijk (red.) (1993). *Vorm in Verandering*. Integraal Beleidsplan Voordelta. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijswijk.
- Van Dalfsen, J. & K. Essink (1997). *Risk analysis of coastal nourishment techniques (RIACON)*. National evaluation report, the Netherlands. RIKZ rapport RIKZ-97.022
- Vereniging Natuurmonumenten (1998). *Zand, Zee en Later*. Bijdrage aan de discussie over de toekomst van de Hollandse kust. Vereniging Natuurmonumenten, 's Graveland.
- Vertegaal, C. T.M. (1998). *Effecten van saltspray op flora en vegetatie - mogelijke onderzoeksopzet*. Notitie Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten.
- Vroon, J. C. Storm & J. Coosen (1997). *Westerschelde stram of struis?* Eindrapport van het Project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium. Rijkswaterstaat rapport RIKZ-97.023.
- Westhoff, V. (1976) *Wilde Planten*, deel 1. Natuurmonumenten, 's Graveland.
- WL|DELFT HYDRAULICS (1997). *Eiland in zee, deel van een veerkrachtige kust*.
- WNF (1996). *Meegroeien met de zee*. Wereld Natuur Fonds i.s.m. Bureau Stroming en IVM-VU. Zeist.



• Delft

Waterbouw Laboratorium | wldelft.nl

Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
telex 38176 hydel-nl
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

