

32/446(688)2^{er}

Veerkracht van zoete en brakke wateren

Een benadering vanuit ecologie en ruimte

**J.P. Knaapen
J. Klijn
M. van Eupen**

**m.m.v. L.W.G. Higler (IBN)
J. Verboom (IBN)**

**BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen**

Rapport 688

Staring Centrum, Wageningen, 1999

27 APR 2000

002 970743

REFERAAT

J.P. Knaapen, J. Klijn en M. van Eupen, 1999. *Veerkracht van zoete en brakke wateren; Een benadering vanuit ecologie en ruimte*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 688. 64 blz. 8 fig.; 70 ref.

Veerkracht wordt behandeld als ecologisch concept, met nadruk op de theoretische ecologie en ruimtelijke aspecten daarvan. Geconstateerd wordt dat het begrip beleidsmatig aantrekkelijk is. De betekenis ervan hangt echter af van de functies en waarden van de betrokken systemen. De relatie met ecologische begrippen als stabiliteit, evenwicht, weerstand en duurzaamheid wordt verkend. Gesteld wordt dat veerkracht vermoedelijk een grote rol speelt in - vooral dynamische - systeemtypen. Veerkracht wordt opgevat als een mechanisme dat bijdraagt aan het voortbestaan van de natuur. Andere mechanismen zijn weerstand, buffering en afscherming/isolatie. Voorbeelden van veerkrachtige processen worden besproken, alsmede implicaties voor beleid en beheer.

Trefwoorden: duurzaamheid, persistentie, systeemtheorie theoretische ecologie, veerkracht, watersystemen, weerstand.

ISSN 0927-4499



© 1999 Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC),
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Staring Centrum.

Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

ALTERRA is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie gaat in op 1 januari 2000.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Achtergronden	11
1.2 Doelstelling	12
1.3 Afbakening	12
1.4 Opbouw van het rapport	13
2 Veerkracht als beleidsmatig begrip	15
2.1 Inleiding	15
2.2 Veerkracht in het dagelijks taalgebruik	15
2.3 Een aantrekkelijke metafoor	16
2.4 Over functies en de 'span of control'	18
2.4.1 Functies van zoete en brakke wateren	18
2.4.2 De 'span of control'	18
2.5 Veerkracht ten dienste van wat?	19
2.6 Conclusies	20
3 Veerkracht als ecologisch begrip	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Korte historie van de systeemecologie	21
3.3 Relevante begrippen uit de theoretische en systeemecologie	22
3.3.1 Begrippen	22
3.3.2 Tussenconclusie	29
3.4 Enkele systeem-theoretische thema's en verbanden	29
3.4.1 Stabiliteit en diversiteit	30
3.4.2 Veerkracht versus weerstand?	30
3.4.3 Persistentie in en buiten evenwicht	31
3.4.4 Successie en persistentie	33
3.4.5 Tussenconclusie	34
3.5 Factoren en mechanismen die het voortbestaan van systemen mogelijk maken	35
3.5.1 Externe invloeden	36
3.5.2 Interne structuurkenmerken die een rol spelen bij persistentie	38
3.5.3 Mechanismen waarmee systemen op verstoring reageren	39
3.6 Definitie en vormen van veerkracht	40
3.7 Conclusies: samenhang tussen de besproken begrippen	41
4 Voorbeelden van veerkrachtige processen	45
4.1 Inleiding	45
4.2 Schaal- en aggregatieniveaus	45

4.3	Voorbeelden van veerkrachtige processen	46
4.3.1	De morfologische dynamiek van kleine en grote rivieren	46
4.3.2	Populatiodynamische processen en biogeografie	48
5	Enkele implicaties voor beleid en beheer	53
5.1	Inleiding	53
5.2	Schaal in ruimte en tijd, specificatie en begrenzing van het systeem	53
5.2.1	De systemen	54
5.2.2	Het ruimtegebruik	54
5.3	Algemene aandachtspunten	55
5.4	Veerkracht in relatie tot duurzaamheid, diversiteit en natuurlijkheid	56
6	Conclusies	59
6.1	Het belang van veerkracht voor de natuur	59
6.2	Ecologische veerkracht uit oogpunt van natuurbehoud	59
	Literatuur	61

Woord vooraf

Veerkracht is sinds het verschijnen van de vierde nota waterhuishouding een centraal begrip in het waterbeleid. Het is een aansprekende term, die aangeeft dat we onze watersystemen een mate van ruimte moeten gunnen. Waaruit die ruimte dan echter precies moet bestaan is vooralsnog minder duidelijk. Twee instituten van Rijkswaterstaat, RIZA en RIKZ, werken daarom aan de verdere uitwerking en concretisering van het begrip veerkracht.

Het RIZA heeft het Staringcentrum opdracht gegeven om in beeld te brengen wat het begrip veerkracht in de ecologie inhoudt en hoe dit begrip zich verhoudt tot beleidsbegrippen als duurzaamheid, diversiteit en natuurlijkheid. Het voorliggende rapport is het resultaat van deze studie. Het zal worden gebruikt voor verdere gedachtenvorming en uiteindelijk dienen als een van de bouwstenen voor een gezamenlijk rapport van RIKZ en RIZA.

Als projectleider van het RIZA project veerkracht ben ik bijzonder te spreken over de wijze waarop het Staring Centrum de opdracht heeft uitgevoerd. Er ligt een gedegen en goed leesbaar rapport voor, dat in korte tijd is geproduceerd. Ik denk dat dit rapport niet alleen interessant is voor onze interne projectgroep, die er mee verder zal moeten werken, maar ook voor anderen met interesse in het waterbeleid.

Albert Remmelzwaal, RIZA
augustus 1999

Samenvatting

In de Vierde Nota Waterhuishouding wordt het begrip 'veerkracht' van watersystemen geïntroduceerd in relatie tot duurzaam gebruik van deze systemen. Een werkgroep van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) is momenteel bezig (medio '99) het begrip uit te werken voor beleid en toepassing. In het kader hiervan heeft het RIZA het Staring Centrum gevraagd de theoretisch-ecologische aspecten van veerkracht van zoete en brakke wateren te verkennen.

Allereerst wordt ingegaan op de beleidsmatige kanten van het begrip. Het begrip heeft in het dagelijks taalgebruik een vrijwel uitsluitend positieve lading en het past geheel in de dynamische tijdgeest van het moment. Ook voor het beleid op het gebied van ruimte, ecologie en water is het zonder meer een aantrekkelijke metafoor. De aantrekkelijkheid ligt vermoedelijk vooral in het beeld van een natuur die zich allerlei vormen van beïnvloeding laat welgevallen en toch haar essentiële eigenschappen behoudt. Hierin schuilt tevens het gevaar van 'wishful thinking'.

Veerkracht is een eigenschap van de natuur die op zichzelf nauwelijks à priori gunstig te beoordelen is, zonder de maatschappelijke context waarbinnen de natuur functioneert. Voor een dergelijke beoordeling dient allereerst nagegaan te worden welke veerkrachtige processen binnen de betreffende systemen optreden, in respons op welke externe beïnvloeden, en welke kwaliteiten van deze systemen hiermee gewaarborgd worden. In situaties met meervoudig ruimtegebruik, dient de waarde van veerkrachtige processen vervolgens bepaald te worden, in relatie tot de functies, doelstellingen en waarden van de betrokken systemen.

Vervolgens wordt de betekenis van het begrip veerkracht in de systeemecologie en theoretische ecologie onderzocht. De belangrijkste aanverwante begrippen zijn evenwicht, stabiliteit, persistentie en weerstand. Aan de hand van enkele systeem-theoretische thema's wordt vastgesteld dat er systemen zijn die stabiel zijn dankzij het feit dat zij in een evenwicht verkeren, andere systemen die meerdere evenwichten kennen en een deel van hun tijd daartussen heen en weer bewegen, en nog andere systemen die permanent uit evenwicht zijn. Veerkracht kan in al deze typen van systemen een rol spelen maar is wellicht het meest cruciaal voor de tweede en derde type. Deze typen kunnen als meer dynamisch worden aangemerkt. Er zijn zowel op systeem- als op soortniveau aanwijzingen dat de hoogste mate van veerkracht samengaat met relatief hoge maar niet extreme externe dynamiek.

Veerkracht moet worden gezien als een systeem-strategie voor het opvangen van externe invloeden en verstoringen op een zodanige wijze dat het systeem kan blijven voortbestaan. Naast veerkracht, worden ook weerstand, buffering en isolatie of afscherming als systeemstrategieën aangemerkt.

Er worden een aantal concrete voorbeelden van veerkrachtige processen besproken, aan de hand van twee aspecten: de morfologische dynamiek van rivieren en populatiedynamische processen. Hieruit blijkt dat een groot aantal alledaagse processen, zoals de afstroming van beken en de groei van populaties, in essentie veerkrachtig zijn. Ook blijkt dat – althans op soortniveau – er waarschijnlijk sprake is van een correlatie tussen (externe) dynamiek en veerkracht.

Op grond van de besproken theoretische en praktische kennis, worden enkele implicaties voor het beleid en het beheer aangegeven. Hierin wordt gewezen op het belang van enerzijds begrenzing en specificatie van de betrokken ecosystemen, en van anderzijds de explicitering van de interacties tussen de (veerkrachtige processen van) de ecosystemen en de verschillende vormen van ruimtegebruik. De besproken concrete voorbeelden geven aan dat de oppervlakte en oppervlakteverdeling van ecosystemen belangrijke aangrijpingspunten voor sturing van veerkracht zijn.

Veerkracht als beleidsconcept moet niet als een koepelbegrip gezien worden voor andere concepten, zoals duurzaamheid, diversiteit en natuurlijkheid. Meer dan de genoemde concepten, legt veerkracht het accent op de ontplooiingsmogelijkheden van de natuur in een situatie waar mensen de dienst uitmaken. Daarmee voegt het zeker iets toe aan deze concepten.

Geconcludeerd wordt dat een verscheidenheid aan systemen zijn voorbestaan dankt aan veerkrachtige processen. Er zijn echter geen *à priori* redenen om aan te nemen dat veerkracht leidt tot een hoge mate van biodiversiteit. Veerkracht gaat samen met een bepaald soort biodiversiteit. De vraag is in hoeverre veerkracht als eigenschap (mechanisme) of als strategie kan meehelpen beleidsdoelen te realiseren kan in zoverre positief beantwoord worden, dat er een voldoende aantal veerkrachtige mechanismen in de natuur voorhanden zijn, waarbij kan worden aangesloten.

1 Inleiding

1.1 Achtergronden

De Vierde Nota Waterhuishouding heeft als doelstelling: het hebben van een veilig en bewoonbaar land en het instandhouden en versterken van gezonde en veerkrachtige watersystemen, waarmee een duurzaam gebruik blijft gegarandeerd. Veilig, gezond, duurzaam en veerkrachtig zijn dus sleutelwoorden van het beleid. Hierbij is veerkracht een relatief nieuw begrip.

In de vierde nota wordt aangegeven dat bij het vergroten van veerkracht gedacht wordt aan zaken als waterconservering en waterbuffering, en vergroting van het zelfregulerend vermogen van watersystemen door natuurlijke dynamische processen toe te laten. Om hieraan gestalte te geven is volgens de nota een gebiedsgerichte aanpak nodig. Veerkracht moet gestalte krijgen door in de ruimtelijke ordening zowel hydrologische als economische, ecologische en sociaalbestuurlijke ordeningsprincipes een rol te laten spelen.

Het RIZA werkt aan een uitwerking en het hanteerbaar maken van het begrip veerkracht voor de zoete en eventueel brakke wateren. De doelstellingen van het project zijn als volgt omschreven:

1. Het verkennen van de reikwijdte van het begrip veerkracht (begrippenkader; overzicht van processen en factoren die daarbij van belang zijn).
2. Het inventariseren van maatregelen en beleidsopties die de veerkracht van systemen kunnen versterken. Hierbij gaat het eerder om denkrichtingen dan om uitgewerkte maatregelen.
3. Het inventariseren van mogelijkheden om de veerkracht van watersystemen aan te kunnen geven (zowel kwantitatief als kwalitatief), of ten minste aan te kunnen geven of beleidsmaatregelen leiden tot een vermeerdering of vermindering van de veerkracht.

Het project kan de resultaten van studies en discussiebijeenkomsten die er reeds met betrekking tot het beleidsbegrip veerkracht zijn uitgevoerd als bouwstenen gebruiken. Er valt echter op dat in dit materiaal vooral de abiotische aspecten en de (vanuit de mens gedefinieerde) gebruiksfuncties van watersystemen grote aandacht hebben gekregen. Gezien de problemen met hoge waterafvoeren in de rivieren, kustafslag en mogelijke klimaatsverandering en zeespiegelrijzing is dit logisch. Om tot een afgewogen opvatting te komen met betrekking tot het begrip veerkracht is er echter behoefte aan een aanvullende bouwsteen, opgesteld vanuit het gezichtspunt van 'ecologie en ruimte'. Het RIZA heeft daarom opdracht verleend aan het Staring Centrum om de betekenis van het begrip veerkracht in de ecologie in beeld te brengen.

1.2 Doelstelling

Uitgaande van de in § 1.1 gegeven probleemstelling is het doel van dit onderzoek eerst en vooral het aandragen van (conceptuele) bouwstenen om het begrip veerkracht van (water)systemen te concretiseren. Daarbij ligt het gewicht op de begripsmatige positionering van het begrip veerkracht ten opzichte van verwante begrippen uit de (landschaps)ecologie in zijn algemeenheid en de populatiedynamica en de biogeografie in het bijzonder. Deze doelstelling kan als volgt worden onderverdeeld:

- Het in hoofdlijnen aangeven van een beleidsmatig kader, waarin de betekenis van veerkracht in de context van beleidsdoelen en het betreffende beleidsdomein wordt geschetst.
- De wetenschappelijke positiebepaling van het begrip veerkracht t.o.v. verwante begrippen uit de systeemleer en de ecosysteemleer in het bijzonder. Aangeven waar en wanneer ecologische veerkracht aan de orde is.
- Het uiteenleggen van het fenomeen veerkracht in onderliggende mechanismen (hoofdgroepen van processen en factoren).
- Het globaal verkennen van de reikwijdte van het begrip veerkracht binnen de context van de zoete en brakke wateren.
- Het tentatief en in termen van denkrichtingen aangeven van mogelijkheden om veerkracht en de onderliggende mechanismen in watersystemen te benutten in beleid en beheer.

1.3 Afbakening

Het hoofdaccent ligt op een nadere theoretisch-conceptuele verkenning van de ecologische aspecten van het begrip veerkracht, in het bijzonder gericht op zoete en brakke binnenwateren. De nadruk ligt daarbij op de grotere wateren, aan kleinere wateren wordt geen aandacht geschonken tenzij dit relevant zou zijn voor de grotere watersystemen. Er wordt voldoende aandacht aan de abiotische componenten geschonken, evenals aan de oevers. De betekenis van veerkracht wordt vooral bezien in relatie tot de natuurfuncties (waaronder biodiversiteit), aan andere functies van grote wateren behoeft minder aandacht gegeven te worden.

Qua aggregatieniveau staat het ecosysteem- en het landschapsniveau voorop. Het ecosysteem – op te vatten als een min of meer begrensbaar geheel van abiotische en biotische componenten en de interacties daartussen – is het aggregatieniveau waarop zowel levensgemeenschappen als hun relatie met de abiotische omgeving als een samenhangend geheel kunnen worden beschouwd. Dit maakt het min of meer begrensbaar en daardoor bij uitstek geschikt als aangrijpingspunt voor beleid, beheer en ruimtelijke planning. We zullen weliswaar de nadruk leggen op de hogere aggregatieniveaus maar zeker ook ingaan op de onderliggende processen, die spelen op het niveau van de abiotiek, de populatie en de levensgemeenschap.

Naar tijdschaal geredeneerd lijkt het voor de hand te liggen om uit te gaan van processen met een responstijd vanaf enkele jaren tot enige tientallen jaren, maximaal een eeuw.

1.4 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de beleidsmatige aspecten van het concept veerkracht. Er wordt kort ingegaan op de functies van zoete en brakke wateren, en de 'span of control' van Verkeer en Waterstaat. Er worden enkele algemene opmerkingen gemaakt met betrekking tot ecologische concepten in het beleid, alsmede de inzetbaarheid van een ecologisch begrip dat tevens impliciete keuzen inhoudt.

In hoofdstuk 3 komen de theoretisch-ecologische aspecten van veerkracht aan de orde. Allereerst wordt kort ingegaan op de geschiedenis van de systeemtheorie en systeemecologie. Vervolgens worden enkele definities gegeven van verwante begrippen. Daarna worden enkele belangrijke thema's uit de theoretische ecologie en systeemecologie besproken. Vervolgens wordt een kader geschetst van het functioneren van ecosystemen in relatie tot externe factoren en interne kenmerken en mechanismen. Afgezet tegen dit kader wordt een definitie van veerkracht gegeven en worden vier vormen van veerkracht onderscheiden. De samenhang tussen de belangrijkste besproken begrippen wordt toegelicht.

In hoofdstuk 4 worden enkele voorbeelden van ecologische processen besproken, waarbij sprake is van veerkracht. Het betreft processen uit de morfologische dynamiek van beken en rivieren en uit de populatiedynamica.

In hoofdstuk 5 worden enkele implicaties van het besprokene voor beleid en beheer aangegeven.

Hoofdstuk 6, tenslotte, bevat de conclusies en aanbevelingen.

2 Veerkracht als beleidsmatig begrip

2.1 Inleiding

Het begrip veerkracht kan alleen goed begrepen worden in samenhang met een aantal andere begrippen. Dat geldt zowel voor de betekenis van het begrip binnen de systeemecologie als daarbuiten, in de algemene natuurkunde (met name de mechanica), de aardwetenschappen en een groot aantal andere onderzoeksvelden. Recentelijk heeft het opgang gemaakt in een aantal beleidsdomeinen, hetgeen ook de aanleiding is voor het onderhavige studie. Alvorens op de wetenschappelijke positie van het begrip veerkracht in te gaan, is daarom ook een korte communicatieve en beleidsmatige positiebepaling op zijn plaats. Het begrip heeft immers een bestaande semantische betekenis en staat ook niet los van maatschappelijke ontwikkelingen. Daarnaast wordt het begrip binnen het beleid gehanteerd in een bepaalde context, waarin beleidsdoelen, -begrippen en -verwachtingen een rol spelen.

2.2 Veerkracht in het dagelijks taalgebruik

De term veerkracht is afkomstig uit de mechanica. Het staat voor het vermogen om na een storing de oorspronkelijke vorm of positie weer aan te nemen: bomen of rietstengels die terugbuigen in de wind, een bal die na indeuken de ronde vorm terugkrijgt, elastiek dat na uitrekken weer de oorspronkelijke lengte en dikte krijgt. In de techniek wordt doelbewust van deze mechanische veerkracht gebruik gemaakt: spiraal- en bladveren, pneumatische vering, gebruik van elastische materialen. Dit vanuit gebruiksoogpunt: het is soms comfortabel (vering in fietszadel of in fietsbanden), het bevordert de veiligheid (autovering en schokdemping) of het levert sterkere en/of lichtere en naar materiaal gerekend zuiniger constructies op. Veerkracht in een meer algemene betekenis staat voor het vermogen om eerst mee te geven in de richting van de externe kracht om daarna weer vlotweg te herstellen. Deze eigenschap heeft een grote metaforische waarde. Als metafoor is veerkracht ook voor geheel andere zaken te gebruiken: karaktereigenschappen van personen die goed tegenslagen opvangen, een voetbalteam dat na een achterstand toch weer de winst pakt, het recuperatievermogen van bedrijven in een markt met tegenvallers. Zo lijkt het begrip veerkracht vooral of zelfs uitsluitend een positieve lading te bezitten. Een onverdeeld gunstige eigenschap, waar niemand ongelukkig mee kan zijn. Toch is die connotatie deels onjuist en bedrieglijk: niet altijd en overal is veerkracht positief te waarderen: een fundering voor een gebouw kan maar het beste niet meegeven, evenals het aambeeld bij de smid. Onverzettelijkheid of standvastigheid kan ook een kwaliteit zijn. Soms is vormverandering en zelfs blijvende vormverandering juist gewenst: een kreukelzone in een auto om energie bij botsingen te absorberen, het ijzerdraad waar we het hek mee vastzetten, het aluminiumfolie waar we voedsel inpakken. Dit onderstreept dat we ons ook bij begrippen als veerkracht/elasticiteit en de tegenpolen (weerstand, plasticiteit van materialen) steeds moeten afvragen wat de betekenis of waarde van eigenschappen kan zijn, bezien vanuit een menselijk

waardeoordeel. Dat waardeoordeel hangt uiteraard af van de perceptie en het gebruiksdoel.

2.3 Een aantrekkelijke metafoor

Ergens op een willekeurig moment in de afgelopen jaren schreef iemand, zoekend naar een begrip om de meest wenselijke toestand van onze watersystemen, oevers en zee kust te typeren, het woord 'veerkracht'. (Water in beeld, 1998. Commissie Integraal Waterbeheer).

Bovenstaand citaat geeft aan hoe het begrip of concept veerkracht ingang kon vinden. De ervaring leert dat bepaalde begrippen die sterk communicatief of aansprekend zijn en politiek welgevallig, daarna ook een snelle 'politieke carrière' kunnen maken, zoals in de jaren tachtig een concept als 'ecologische infrastructuur' (Dekker en Knaapen, 1986). Men denke tegenwoordig aan concepten als duurzaamheid en win-win-combinaties. Deze hebben een hoog 'moederlijke-en-appeltaart-gehalte': op het eerste gezicht kan men er gewoon niet op tegen zijn en in die algemene zin kan het partijen binden. Maar meestal is de praktijk na enige tijd weerbarstiger en vragen de begrippen wel verheldering, inperking, aanscherping en operationele criteriaontwikkeling (Klijn, 1996). Soms valt een begrip of concept bij nader inzien door de mand als te veelomvattend, te veelbelovend, intern strijdig of slecht te operationaliseren. Een 'politiek correct' begrip is kortom nog geen praktisch hanteerbaar begrip. Daarnaast kan een begrip, ondanks praktische hanteerbaarheid, tekort schieten waar het de wetenschappelijke betekenis betreft. Als onderzoekers het niet accepteren en niet wensen op te nemen in hun theoretisch kader, ontbreekt het aan wetenschappelijke onderbouwing. Dit kan uiteindelijk ook afbreuk doen aan de maatschappelijke betekenis.

Het begrip veerkracht heeft zich op voortvarende wijze in nota's over kustverdediging en waterbeheer genesteld. Het wordt in de context van dit rapport metaforisch gebruikt voor landschappen en ecosystemen, meer specifiek voor grote wateren en oevers. Het gaat er in algemene zin vanuit dat deze fysieke systemen, opgebouwd uit abiotische en biotische componenten – en in Nederland ook met een groot aantal antropogene componenten of invloeden – na een min of meer ingrijpende verstoring een natuurlijk herstel zullen of kunnen ondergaan. Als voorbeelden kunnen dienen:

- een kust die zich na een periode van afslag door natuurlijke aanwas weer in de oorspronkelijke situatie terugkeert;
- een ooibos dat na stormschade of brand via natuurlijk herstel de oorspronkelijke structuur en samenstelling herkrijgt;
- een estuarium dat zich na een olieramp herstelt;
- een meer dat zich na vergiftiging en afsterven van grote aantallen organismen na een aantal jaren weer in de oorspronkelijke situatie terugkeert.

Bovenstaande voorbeelden worden in het algemeen positief beoordeeld. Wie zou er immers op tegen kunnen zijn dat systemen zichzelf repareren of genezen? In dit

opzicht sluit het begrip aan bij hedendaagse opvattingen en trends. De kranten staan vol met begrippen als dynamisch, veranderlijk en aanpassen, vooral waar het de economie betreft. Een veerkrachtige munt is een nationaal doel en een snel herstel van de economie, na conjuncturele tegenvallers, geeft vertrouwen in de toekomst. Waar vroeger het veelvuldig verwisselen van baan als een vorm van wispelturigheid of zelfs onbetrouwbaarheid werd gezien, worden tegenwoordig begrippen als employability gelanceerd, die het omgekeerde impliceren. De consument gaat ook in toenemende mate uit van een grote mate van flexibiliteit of veerkracht bij leveranciers en overheid. Maatwerk is een trefwoord in de reiswereld en de automatisering. Kortom: verandering is een gegeven en daar mee om kunnen gaan is de norm. Deze houding klinkt wellicht ook door in onze houding tegenover de natuur. Het idee dat de natuur een veelheid aan verschijningsvormen kent die in hoge mate kan worden opgeroepen of gemaakt, vindt zijn – voorlopige – historische hoogtepunt in de recente hausse van natuurontwikkelingsprojecten. Toch bestaan de begrippen natuurontwikkeling en natuurbouw pas zo'n 15 jaar. Het is wellicht ook tegen deze achtergrond dat het begrip veerkracht zo goed valt in het beleid en daarbuiten. Want wat is er nu mooier dan een natuur die zich allerlei vormen van beïnvloeding en gebruik laat welgevallen maar toch haar essentiële eigenschappen behoudt? Hierin schuilt wellicht een mogelijke beperking van het begrip: het zou wel eens te sterk kunnen zijn ingegeven vanuit de wijze waarop de hedendaagse mens de natuur graag wil zien.

Het is van belang om te constateren dat het begrip veerkracht aan het begin staat van een 'politieke carrière'. De vraag hoe deze zal verlopen is afhankelijk van veel zaken. We kunnen lering trekken uit concepten die veerkracht voorgingen. In het volgende hoofdstuk wordt onder andere ingegaan op de diversiteit-stabiliteit-hypothese. Deze heeft lange tijd voorzien in de, zowel in de wetenschap als bij het beleid, levende behoefte aan algemeen geldende unifying concepts. Men was in de complexe wereld van de levende natuur op zoek naar veelzeggende simplificaties, als het even kon liefst met de charme van de eenvoud. Na een veelheid van (pogingen tot) toepassing in beleid en beheer, heeft men toch schoorvoetend moeten constateren dat het noodzakelijk was om enerzijds dieper te graven en op zoek te gaan naar onderliggende mechanismen, en daarnaast (veel) meer empirie te verzamelen om hypothesen te bevestigen of te ontcrachten (o.a. Klijn, 1987). De conclusie is dat de rijke en complexe wereld van de levende natuur niet zomaar in een paar concepten is te vangen.

Dit neemt niet weg dat het volstrekt legitiem is dat men vanuit het beleid op zoek is naar concepten – en daarop gebaseerde praktische oplossingen – die bij voorkeur:

- lange tijd meekunnen (duurzaamheid);
- aansluiten op de zelfwerkzaamheid van de natuur (judoën in plaats van boksen);
- mede daardoor beheerskosten kunnen verlagen;
- ook 'natuurlijkere' (zelfregulerende, beheersarme) en gevarieerdere natuur opleveren.

Het is echter de vraag of aan deze eisen door één algemeen concept voldaan kan worden. Gezien de voornoemde ervaringen lijkt het daarom verstandig een

voorzichtige benadering te kiezen. Dat betekent dat (ecologische) veerkracht niet als een panacee wordt gepresenteerd maar dat het op zijn merites wordt onderzocht met betrekking tot de processen en functies waarin het een rol kan spelen. Zie hierover de volgende paragraaf.

2.4 Over functies en de 'span of control'

2.4.1 Functies van zoete en brakke wateren

De beoordeling van de waarde van veerkracht en dus van die van onderliggende mechanismen staat in het teken van de functies die ecosystemen voor de mens hebben. Functies worden hier opgevat in de betekenis van Van der Maarel en Dauvellier (1978). Dit functiebegrip is breed toepasbaar, zowel voor de typische gebruiksfuncties als voor beleving en biodiversiteitsaspecten (o.a. Breure et al., 1996). Enkele van de belangrijkste hoofdfuncties van zoete en brakke wateren zijn: waterberging en -opslag, drinkwatervoorziening, scheepvaart, visserij, recreatie en natuurbehoud. Maar ook de opvang van verontreiniging en de levering van koelwater zijn als functies te beschouwen. Ten dienste van deze functies kunnen een groot aantal ecologische processen of functies worden onderscheiden, zoals (zelf)reinigend vermogen, biomassaproductie en opvang en vastlegging van sediment. Voor een overzicht van deze relatie zou een matrix van functies en processen opgesteld kunnen worden. Vervolgens zou het optreden van ecologische veerkracht in de cellen van deze matrix kunnen worden aangegeven. Dit zou een overzicht geven van de betekenis van ecologische veerkracht voor de verschillende functies. Dit valt echter buiten het bestek van deze studie.

Wij gaan hier vooral in op de biodiversiteitsdoelstellingen. Andere functies van de natuur, zoals in het voorgaande aangeduid, zijn dus niet uitgewerkt. Biodiversiteit staat voor de verscheidenheid van levende systemen, nader te specificeren naar het genetische niveau (genetische verscheidenheid), het soortniveau (verscheidenheid in soorten) en het ecosysteemniveau (verscheidenheid in levensgemeenschappen). Behoud en duurzaam gebruik zijn sinds 'Rio' (Biodiversiteitsverdrag) een algemeen aanvaard uitgangspunt. De vraag is in hoeverre veerkracht als eigenschap of als strategie (beleids optie) meehelpt die doelen te realiseren.

2.4.2 De 'span of control'

Bij de beleids- en beheersmatige context speelt altijd een tweetal zaken: allereerst moet ingegaan worden op motieven en doelen van beleid en beheer, en daarna moet vastgesteld worden welk type beslissingen binnen de werkingssfeer van beleid en beheer liggen om die doelen te helpen bereiken: de 'span of control'. Het beleidsdomein van het departement van Verkeer en Waterstaat en de daaronder ressorterende beheersdiensten van Rijkswaterstaat is vooral gericht op een aantal functies: veiligheid (t.o.v. overstromingen uit zee, rivieren en grotere wateren), de waterbeheersing (kwantitatief en kwalitatief) in relatie tot waterafvoer en

(landbouw)watervoorziening, het creëren en onderhouden van scheepvaartfuncties, het beheren, herstellen en ontwikkelen van natuur en landschap, en tenslotte het creëren en onderhouden van recreatiemogelijkheden.

Feitelijk is dus sprake van meervoudige doelstellingen die te maken hebben met meerdere functies van grote wateren en kusten en oevers. Logischerwijs gaat het in dit geval primair om rijkstaken die naar de aard der zaak op een bovenlokaal tot bovenregionaal niveau liggen: de rijkswateren. Bij beleidsontwikkeling gaat het veelal om zaken die een planningshorizon hebben van ca. 30 jaar of meer. Het beheer is meestal een zaak van wat kortere adem: het onderhoud van kusten en oevers, passend bij beleidsdoelen, die ondermeer een bepaalde veiligheid beogen (kustverdediging), een veilig en rendabel transport door schepen bevorderen (onderhoud vaardieptes), een minimale waterkwaliteit beogen voor zwemwater, water voor de landbouw, (binnen) visserij of natuur¹.

Pas vanuit deze context valt te beoordelen in welke mate een veerkrachtstrategie past bij de doelen en middelen van beleid en beheer. Veiligheid (fysiek, milieuhygiënisch), voorraadvorming of berging, bevaarbaarheid en (bio)diversiteit, met daaraan toegevoegd de eenmalige of terugkerende kosten zijn daarbij trefwoorden voor afwegingscriteria die een uiteindelijk eindoordeel van de zin of onzin van een veerkrachtstrategie ten opzichte van een andere strategie moeten opleveren.

2.5 Veerkracht ten dienste van wat?

Het begrip veerkracht weerspiegelt inmiddels een beleidsmatige intentie en daarmee heeft het een normatieve inhoud gekregen ('veerkracht is goed'). Marchand & Baan (1999) spreken in dit verband over respectievelijk 'eigenschap' en 'strategie'. Met strategie wordt bedoeld dat beleid en beheer bewust kiezen voor het versterken van veerkrachtmechanismen, waar dit mogelijk en profijtelijk is. Overwegingen hierbij zouden bijvoorbeeld kunnen zijn dat een veerkrachtstrategie² voordelig kan zijn vanuit het oogpunt van beheerskosten, wellicht een hogere biodiversiteit op kan leveren, landschappelijk aantrekkelijker kan zijn en het gebruik van systeemvreemde materialen kan terugdringen. Vanuit de verschillende functies van zoete en brakke wateren – en hier met name de biodiversiteitsdoelstelling – gezien, vraagt dit om een nadere analyse.

De grote zoete en brakke wateren van Nederland zijn zonder uitzondering systemen die aan een groot aantal gebruiksfuncties moeten voldoen. De functie natuur is er slechts één van. De wijze waarop de natuur deze functies vervult, al dan niet in

¹ Bovenstaande taakomschrijving doet wellicht niet geheel recht aan de hedendaagse taakopvatting van Rijkswaterstaat, waarbij RWS niet alleen vanuit de eigen primaire taken handelt maar ook als regisseur naar andere partijen optreedt. De andere bij inrichting en beheer van wateren betrokken partijen (waterschappen, gemeenten, provincies en particulieren) kunnen vanuit hun eigen verantwoordelijkheden en taken ook bijdragen aan veerkrachtige inrichting, beheer en gebruik.

² Wij zullen in de latere hoofdstukken de term veerkrachtstrategie gebruiken om aan te geven dat een (ecologisch) systeem externe invloeden en verstoringen opvangt met behulp van veerkracht. Hier wordt uiteraard de instrumentele tegenhanger bedoeld: een beleid dat gebruik maakt van de (inherente) veerkracht bij ecosystemen.

optimale wijze, is een complex geheel van – van plaats tot plaats en wisselende – eigenschappen en mechanismen. Het is nog maar de vraag of veerkracht hierbij een belangrijke rol speelt. Op zijn minst dient dit nader onderzocht te worden. Hierbij doet zich de volgende algemene vragen voor:

- Welke veerkrachtige processen treden op in respons op welke vormen van externe beïnvloeding of gebruik?
- Welke veerkrachtige processen gaan samen met of leiden tot welke (gewenste) kwaliteiten van de natuur?

Vervolgens is het van belang, uitgaande van gestelde beleidsdoelen, na te gaan wat de instrumentele betekenis kan zijn van veerkrachtige processen. Hierbij spelen de vragen:

- Is een (veerkrachtige) terugkeer naar een bepaalde situatie wel zo gewenst, gezien vanuit de beleidsdoelen?
- Is een op veerkracht gebaseerde strategie de enige en meest gewenste strategie om de gestelde doelen te bereiken?

Deze vragen kunnen alleen beantwoord worden indien de beleidsdoelen helder zijn. Vervolgens kunnen de vragen beantwoord worden:

- wanneer we veerkracht positief moeten waarderen;
- wanneer we andere mechanismen van natuurlijke systemen, die wellicht de tegenhanger zijn van veerkracht, even hoog of hoger moeten waarderen.

2.6 Conclusies

Veerkracht heeft – naast een wetenschappelijke betekenis – een eigentijdse lading en een beleidslading gekregen. Hierin schuilt het gevaar van ‘wishful thinking’. Omdat veerkracht van zoete en brakke wateren moet gezien worden in de context van de maatschappelijke functies van deze wateren. Daarom moeten we afdalen van een algemeen metaforisch niveau (met de impliciete boodschap dat veerkracht altijd en overal te verkiezen is) naar een concreter niveau waarbij uitgegaan wordt van de functies, doelstellingen en waarden van de betrokken systemen en het handelingsperspectief dat bestaat. In het verlengde hiervan geldt dat veerkracht niet à priori gunstig valt te beoordelen – een grote veerkracht is niet synoniem met een goede functie vervulling. Voorts bestaan er naast veerkracht andere eigenschappen van ecosystemen die ook op hun betekenis onderzocht dienen te worden.

3 Veerkracht als ecologisch begrip

3.1 Inleiding

Ook in wetenschappelijk opzicht staat het begrip veerkracht (Eng. resilience) allesbehalve op zichzelf. In dit hoofdstuk gaan we in op de betekenis van veerkracht in de theoretische ecologie en systeem-ecologie. Hieronder volgt een korte leeswijzer van dit hoofdstuk.

We gaan eerst kort in op de historie van de systeemecologie, in relatie tot de algemene systeemtheorie (§ 3.2). Het begrip veerkracht heeft zich ontwikkeld in samenhang met andere begrippen in de ecologische theorievorming. De belangrijkste hiervan zijn evenwicht, stabiliteit, diversiteit en weerstand. In § 3.3 worden deze en andere verwante ecologische begrippen besproken.

In § 3.4 maken we een uitstap naar een aantal discussiethema's die gedurende de jaren 70 en 80 in de theoretische ecologie centraal hebben gestaan. De centrale vraag die hierbij speelt betreft de vraag hoe het langdurig voortbestaan van complexe ecosystemen kan worden verklaard, en welke rol interne stabiliteit en mechanismen van zelforganisatie en zelfbescherming hierbij spelen.

In § 3.5 gaan we kort in op factoren en mechanismen die het voortbestaan van ecosystemen beïnvloeden. Veerkracht is te beschouwen als een set van mechanismen die kan worden aangeduid als een systeemstrategie om verstoringen het hoofd te bieden, waarmee het systeem de eigen persistentie mogelijk maakt.

Vervolgens wordt in § 3.6 op grond van het voorgaande een eigen definitie van veerkracht gegeven. Er wordt geconcludeerd dat er vier vormen van veerkracht zijn te onderscheiden op het niveau van het systeem en het landschap.

In § 3.7 worden de conclusies uit het besprokene getrokken en de samenhang tussen de ons inziens meest relevante van de besproken begrippen aangeduid.

3.2 Korte historie van de systeemecologie

Het begrip veerkracht is – hoewel recentelijk gestegen in populariteit in beleidsstukken onderdeel van een al heel wat ouder stelsel van begrippen in de systeemecologie, waarvan de bijbehorende terminologie vaak sterk op analogieën uit de mechanica leunen. Het is goed om het begrip veerkracht zijn plaats in dit stelsel te geven. Maar eerst iets over het stelsel zelf.

De (eco)systeembenadering heeft conceptueel en terminologisch een systematische basis geboden aan beschouwingen over en verklaringen voor het herstelvermogen in de natuur. Zij is algemeen ingevoerd in de (landschaps)ecologie sinds Tansley (1935)

het woord ecosysteem inhoud gaf, maar vooral sinds de ontwikkeling van de systeemtheorie aan het einde van de jaren 50 en het begin van de jaren 60 door Von Bertalanffy (1968) en Boulding (1956). Deze bijdragen hadden weliswaar niet zozeer betrekking op 'veerkracht'. Is wel op stabiliteit, evenwicht en homeostase. Biologen, met name theoretisch-ecologen, en fysisch-geografen hebben de systeembenadering voor de betrokken wetenschappelijke domeinen uitgewerkt, aansluitend bij het systeemtheoretisch begrippenapparaat. Zij waren daarbij theoretisch en begripsmatig sterk geïnspireerd door de klassieke natuurkunde en de mechanica. Chorley & Kennedy (1971) deden dit voor de fysische geografie, Bennet & Chorley (1978) in een wat breder verband. De ecologische literatuur heeft een tijd een warme belangstelling gehad voor met name de meer theoretische kant van stabiliteit in relatie tot diversiteit, met name eind jaren 60 en 70 (o.a. Margalef, 1968). Het befaamde ecologencongres in 1974 in Den Haag stond in het teken daarvan (Van Dobben & Lowe McConnel, 1975). Ook in het werk van de E. en A. Odum (o.a. 1983) wordt vanuit de systeemecologie ruim baan aan dergelijke beschouwingen gegeven. Veel termen en definities en de onvermijdelijke discussies daarover stammen uit die periode. De term resilience (veerkracht) kwam pas in het begin van de jaren 70 in zwang door introductie daarvan door Holling (1973), nadien ook behandeld door anderen, waaronder Zonneveld (1989). Goede en kritische terugblikken op de wetenschappelijke ontwikkelingen en de gangbare metaforen zijn gegeven door Kwa & Ringelberg (1984) en Kwa (1987) en Pimm (1984 en 1991). In de volgende paragrafen zullen wij veelvuldig uit de genoemde bronnen putten.

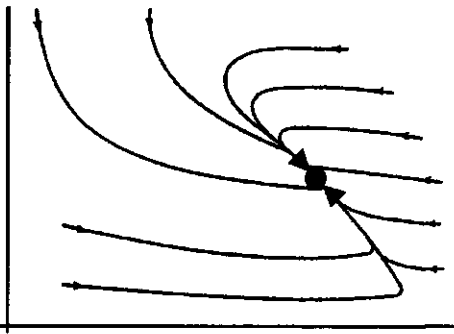
3.3 Relevante begrippen uit de theoretische en systeemecologie

Hieronder worden de belangrijkste begrippen besproken die een rol spelen in de literatuur in relatie tot het begrip veerkracht. Per begrip wordt aangegeven welke betekenis er in de wetenschappelijke (veelal Engelstalige) literatuur aan wordt gegeven en welke discussiepunten zich daarbij voordoen.

3.3.1 Begrippen

Evenwicht (Eng. equilibrium)

Een evenwicht is een situatie waarbij een object of systeem geen verandering vertoont in essentiële eigenschappen, omdat de erop inwerkende krachten elkaar compenseren. In mathematische termen kan het beschreven worden als een punt in de toestandsruimte waar de grootte van de acterende vectoren nul is. Het hangt van de aard van de vectoren rond een stationair punt (fig. 1) af of het evenwicht ook stabiel is (Kwa & Ringelberg, 1984).



Figuur 1 Stationair punt in een tweedimensionale toestandsruimte (Kwa & Ringelberg, 1984).

Er is onderscheid te maken in statisch evenwicht (bijv. tafel) en dynamisch evenwicht (bijv. bij doorvoer van stoffen/energie. De laatste vorm is veelal aan de orde bij organismen en ecosystemen. Denk bijvoorbeeld aan de vochtbalans van afzonderlijke planten en van bossen. Deze is op langere termijn gezien vrij constant, ten gevolge van een balans tussen neerslag en opname door de wortels enerzijds en verdamping anderzijds.

Daarnaast is er onderscheid te maken tussen labiel evenwicht (gemakkelijk verstoorbaar en niet geneigd naar oorspronkelijke positie terug te keren) en stabiel evenwicht, waar dit juist wel het geval is. Daarnaast bestaan ook indifferente evenwichten, waar meerdere posities mogelijk zijn. Tot slot zijn er cyclische evenwichten, waarbij het systeem voortdurend verandert van positie in de toestandsruimte, maar wel volgens een vast traject en het telkens weer op de zelfde posities terugkomt. Dit is geen evenwicht in de strikte zin van het woord omdat de op het systeem inwerkende krachten elkaar niet in alle richtingen compenseren.

Stabiliteit (Eng. stability)

Dit is een bekend begrip uit natuurkunde (mechanica) en systeemleer. Als het betrokken wordt op (eco)systemen kan het omschreven worden als het vermogen om de oorspronkelijke toestand of een nieuwe evenwichtstoestand – van het systeem te behouden of te herkrijgen na een verstoring. Hier valt aan toe te voegen dat stabiliteit pas goed te testen valt indien systemen meer dan eens bloot gesteld worden aan verstoringen en dat het als op bovenstaande wijze beschreven doorstaan van frequente verstoringen een hoge mate van stabiliteit impliceert (May 1974, 1975; zie ook Holling, 1973; Kramer & De Smit, 1982; Kwa & Ringelberg, 1984; Kwa, 1987; Baan et al., 1997). In dit verband worden ook de begrippen statisch en dynamisch evenwicht (zie ‘Evenwicht’) gehanteerd.

Vormen van stabiliteit en evenwicht worden vaak gevisualiseerd aan de hand van knikkers in putjes, aan de hand van de zwaartekracht in combinatie met een tweedimensionale toestandsruimte (zie fig. 2; o.a. Chorley & Kennedy, 1971).

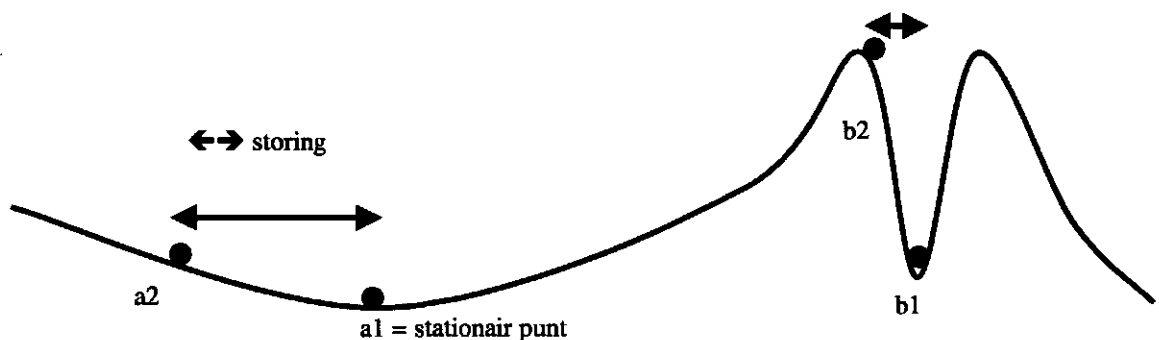
Aan het begrip stabiliteit zijn in de ecologie een groot aantal betekenis- en interpretatienuances verbonden, die te ver voeren voor deze studie (zie o.a. Van Dobben & Lowe McConnel, 1975; Kwa, 1987; Dekker & Knaapen, 1986; Klijn,

1987; Van der Maarel, 1993). Vooral aan de relatie stabiliteit – (bio)diversiteit is vele jaren theoretisch en praktisch onderzoek verricht. Hierop wordt in de volgende paragraaf ingegaan.

In mathematische zin kan stabiliteit beschreven en onderzocht worden aan de hand van de trajectoria in een meerdimensionale toestandsruimte. Dit zijn de routes die een systeem aflegt indien het buiten evenwicht is. Hierbij gaat het vooral om het gedrag van een systeem in de buurt van een evenwichtspunt (o.a. Kwa & Ringelberg, 1984). De trajectoria beschrijven de richting waarin het systeem neigt, afhankelijk van de het punt in de toestandsruimte waar het zich bevindt. In het evenwichtspunt is er geen neiging tot verandering. De configuratie (d.w.z. de richting van de trajectoria) rondom het evenwichtspunt bepaalt of het evenwicht stabiel is.

In figuur 1 wordt dit gevisualiseerd in een tweedimensionale toestandsruimte. Figuur 2 laat hetzelfde zien met behulp van de zwaartekracht en het reliëf als metafoor voor een situatie met twee evenwichtspunten. De knikkers in de punten a1 en b1 bevinden zich in een stabiele situatie. Een systeem dat zich op punt a1 bevindt zal relatief makkelijk verstoord kunnen worden, maar de kans dat het weer in evenwicht komt is vrij groot. Een systeem in punt b kan moeilijker verstoord worden, maar bij een grote storing zal het systeem niet meer in evenwicht b terugkeren, tenzij dit gevolgd wordt door een veel grotere storing in omgekeerde richting. De situatie in figuur 2 betreft twee gevallen van *lokale* stabiliteit: binnen een zekere mate van verstoring keert het systeem terug in de uitgangssituatie. Bij globale stabiliteit wordt elke verstoring, hoe groot ook (eventueel behalve reductie van de toestandsvariabelen tot nul), gevolgd door een terugkeer naar het enkele evenwichtspunt. Alle trajectoria in de toestandsruimte leiden dan naar één punt, zoals in figuur 1.

Indien een stationaire (evenwichts)toestand ophoudt, kan het systeem als zodanig uit elkaar vallen, maar zich ook naar een nieuwe stationaire toestand bewegen (bijvoorbeeld van b1 naar a1 in fig. 2). Het lijkt realistisch om althans een deel van de ecosystemen voor te stellen als te kunnen bestaan in een veelvoud van stationaire toestanden (Eng. multiple steady states). Deze kunnen ook cyclisch zijn (o.a. Kwa & Ringelberg, 1984).



Figuur 2 Voorbeelden van stabiliteit in een tweedimensionale ruimte. Het systeem kent twee gebieden met lokale stabiliteit. In de posities a1 en b1 is het systeem in evenwicht, in de posities a2 en b2 buiten evenwicht.

Persistentie (Eng. persistence)

Dit betekent letterlijk het voortbestaan en dat is ook de betekenis die er in de systeemtheorie aan wordt gegeven. Persistentie heeft met evenwicht en stabiliteit gemeen dat het een vorm van gelijk blijven beschrijft. Daarbij kan gesteld worden dat het begrip in de ecologische literatuur veelal vrij los gebruikt wordt, dat wil zeggen dat er weinig eisen gesteld worden aan de constantie van de toestandsvariabelen. Holling (1973) beschrijft persistentie als het vermogen van een systeem om verandering en storing in zich op te nemen en toch dezelfde relaties tussen populaties of toestandsvariabelen te houden (stabiliteit in de tijd). Hij maakt hiermee expliciet welke eigenschappen van het systeem als kenmerkend beschouwd worden en daarmee bepalend zijn voor de vraag of het systeem 'zichzelf' blijft.

Bij sterk fluctuerende maar niet uitstervende systemen (bijv. metapopulaties) waarbij geen sprake is van evenwicht of stabiliteit, wordt ook van persistentie gesproken. Holling (1973) en Kwa (1987) geven in dit verband aan dat er persistente systemen zijn die:

- meer dan één evenwichtstoestand kunnen aannemen (ook na een zgn. catastrofe);
- ook (langdurig) in niet-evenwicht kunnen verkeren.

Al deze situaties begrijpen zij onder de titel persistentie.

Het begrip als zodanig impliceert geen mechanisme dat het voortbestaan mogelijk maakt en zegt ook niets over het al dan niet aanwezig zijn van evenwichten, of over de mate van stabiliteit: een persistent systeem bestaat eenvoudigweg langdurig.

Duurzaamheid (Eng. sustainability)

Sinds de eigen bijdrage van Brundtland in Brundtland (1987) is dit een buzzword in beleid en onderzoek. Het begrip is inmiddels in allerlei contexten gebruikt en gedefinieerd. Het beoogt zowel een paraplu te zijn voor ecologisch, economisch als sociaal duurzaam.

Deels naar Fresco & Kroonenberg (1992) kan het onderdeel ecologisch duurzaam uitgewerkt als: 'Dynamisch evenwicht tussen natuurlijke input en output, beïnvloed door externe invloeden zoals klimaatverandering of natuurrampen of menselijke verstoring'. Bij de tijdschaal gaat het merendeels om een aantal jaren tot een aantal decennia of eeuwen (generaties). Het begrip scoorde ook hoog tijdens de Rio-conferentie (1993) en is daar vooral met het behoud en duurzaam gebruik van de (wereld)biodiversiteit in verband gebracht. Gezien de context waarin het begrip wordt gebruikt, lijkt duurzaamheid vooral gezien te moeten worden als een normatief begrip, dat doelen en normen van handelen impliceert.

Homeostase (Eng. homeostasis)

De eigenschap dat een systeem door tegenkoppeling (negatieve terugkoppeling; zie de volgende alinea) reageert op externe storing met als doel of uitkomst het behoud van functie en werking van het systeem (Chorley & Kennedy, 1971). Andere eigenschappen van het systeem (structuur, samenstelling, aantallen componenten) kunnen echter wel wijzigen. Evenals bij persistentie doet zich bij dit begrip de vraag

voor welke mate van verandering van het systeem toegestaan is: onder welke voorwaarden er nog sprake is van hetzelfde systeem.

Tegenkoppeling (Eng. negative feedback)

Dit is de eigenschap van systemen om door ingebouwde mechanismen tegenkrachten op te wekken die (het effect van) een extern bepaalde verandering tenietdoen (Chorley & Kennedy, 1971). Veelal in verband gebracht met teleologische (doelzoekende) systemen, zoals biologische systemen, en met homeostase. Een simpel voorbeeld is het sluiten van huidmondjes bij droogte. Tegenkoppeling kan één van de mechanismen zijn achter veerkrachtige processen. Het veren van een mechanische veer is ook een vorm van tegenkoppeling hoe groter de uitgeoefende kracht, des te groter de tegenkracht.

Buffering (Eng. buffer capacity)

Het vermogen van een systeem om dankzij voorraad en/of massa verstoringen of schokken te absorberen (b.v. temperatuur, droogte, wateroverlast, voedsel, zuurgraad). Voorraad en massa moeten dan ruim gezien worden. Ook de chemische buffering door bodems van verzurende stoffen hoort hiertoe, alsmede de klimatologische buffering van het aardoppervlak door de aanwezigheid van begroeiing. Dit is een fysiek bepaalde eigenschap, die niet berust op tegenkoppeling. Buffering is evenals weerstand en veerkracht een categorie van mechanismen waarmee systemen reageren op uitwendige invloeden en waarmee zij de interne toestand van het systeem kunnen bewaren.

Stress (Eng. stress)

Langdurige belasting van een (eco)systeem of organisme. Belasting moet hierbij zowel gezien worden als (te) hoge als (te) lage waarden van omgevingsfactoren. Dus zowel milieuverontreiniging als droogte kunnen vormen van stress voor planten zijn. Stress is als begrip in de ecologie sterk verbonden met de naam van Grime (1979). Hij deelt plantensoorten in naar de wijze waarop ze omgaan met de belangrijkste omgevingsfactoren (licht, water, nutriënten) en de mate van beschikbaarheid daarvan. Stress-tolerators zijn planten die gespecialiseerd zijn in het verdragen van laag-aanbodsituaties. Zij vermijden hierdoor de concurrentie met de competitors, die gespecialiseerd zijn in het aangaan van de concurrentie met andere soorten onder relatief gunstige (weinig stress-volle) maar relatief dichtbegroeide en in potentie soortenrijke situaties. De ruderals leven bij de gratie van kortdurende situaties van goede beschikbaarheid van bronnen, zonder veel concurrentie. Stress kan ook gebruikt worden in relatie tot systemen maar wordt dan vaak gebruikt in de betekenis van belasting of verstoring.

Aanpassing (Eng. adaptation)

Aanpassing van een systeem aan gewijzigde omstandigheden door wijziging in bijvoorbeeld samenstelling, structuur en/of werking van een systeem, leidende tot een nieuw evenwicht. Bij aanpassing treedt in principe een significante wijziging op in het systeem dat semi-permanent is. Daarmee onderscheidt het zich van veerkracht. Aanpassing kan echter ook een eerste fase zijn in het doorlopen van een veerkrachtig proces, indien uiteindelijk de oorspronkelijke toestand toch weer bereikt wordt.

Soms wordt ook relaxatie (Eng. relaxation) gebruikt voor zo'n overgang van de ene naar de andere toestand van een systeem (Chorley & Kennedy, 1971). Het laatste begrip wordt o.a. door MacArthur & Wilson (1967) gebruikt voor de soortenrijkdom van echte eilanden of habitateilanden. Het betreft dan situaties waarbij plotseling een toename van de mate van isolatie heeft plaatsgevonden (zoals bij habitateilanden door de aanleg van wegen). Uitgaande van een dynamisch evenwicht tussen de immigratie van soorten en de extinctie ten gevolge van toevalsprocessen wordt het niveau van evenwicht bepaald door de mate van isolatie of afstand tot de grootste immigratiebron (het 'vasteland'). Neemt deze plots toe, dan is het soortenaantal hoger dan het aantal dat bij het nieuwe evenwicht hoort. De afname naar het nieuwe evenwicht noemen MacArthur & Wilson relaxatie.

Storing (Eng. disturbance)

Tijdelijke, schoksgewijze externe verandering in omstandigheden voor een (eco)systeem. Storingen kunnen een natuurlijke of antropogene oorsprong hebben. Conceptueel onderscheiden ze zich van de normale dynamiek, die voor ecosystemen gebruikelijk is (zie verder voor overzichten Klijn, 1995; Risser, 1987; Wali, 1992; White & Picket, 1985; Turner et al., 1993). In cultuurlandschappen met multifunctioneel ruimtegebruik is het vaak moeilijk aan te geven of er naar aard, grootte en effect wel een verschil is. Met name in de Amerikaanse literatuur is verstoring een belangrijk thema. Het optreden van (al dan niet natuurlijke) branden in grote natuurgebieden krijgt hier erg veel aandacht.

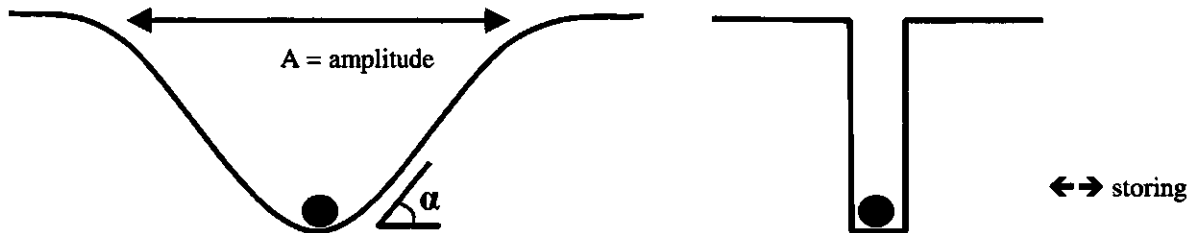
Veerkracht (Eng. resilience)

Wordt veelal gezien als het vermogen van een systeem om veranderingen in inputvariabelen, toestandsvariabelen en -parameters te ondergaan en vervolgens terug te keren naar de oorspronkelijke (of een andere systeem-eigen) toestand. Ook: het herstel of de herstelsnelheid van een systeem, ook ten aanzien van de functionele relaties binnen een systeem na een verstoring (o.a. Holling, 1973; Fresco & Kroonenberg, 1992). Veerkracht impliceert een zekere tijdelijke verandering van het systeem onder invloed van de externe invloed, waarna het systeem weer 'zichzelf' wordt.

Een systeem heeft een grotere veerkracht naarmate het na een storing sneller in de oorspronkelijke uitgangssituatie terugkeert (Kwa & Ringelberg, 1984; O'Neill, 1976). Kwa & Ringelberg (1984) associëren veerkracht met de hoek van de wanden van een dal, hetgeen ten eerste impliceert dat de diepte er niet toe doet en ten tweede dat het begrip met name gericht is op herstelsnelheid (fig. 3).

Het is belangrijk om te constateren dat veerkracht vooral gebruikt is in relatie tot stabiele systemen in evenwicht. In de volgende paragrafen zullen we zien dat veerkracht ook van betekenis kan zijn in systemen die regelmatig of zelfs voortdurend buiten evenwicht verkeren. Hiermee sluit het ook beter aan bij de wijze waarop het begrip in de Engelstalige literatuur (d.w.z. resilience) door Holling (1973) is geïntroduceerd. Hij zag het vooral als een maat voor de persistentie van systemen, die deze persistentie danken aan hun vermogen verstoringen in zich op te nemen en

– in een andere systeemtoestand – toch de oorspronkelijke interne relaties te handhaven³.



Figuur 3 Bij veerkracht keert het systeem terug naar het evenwichtspunt nadat het een verstoring heeft ondergaan. De mate van veerkracht kan worden gezien als de herstelsnelheid, die in deze voorstelling bepaald wordt door de hoek van de wanden van het dal. Bij weerstand is er geen sprake van uit evenwicht raken omdat het systeem geen verandering toestaat, in deze voorstelling omdat de wanden loodrecht zijn.

Weerstand (Eng Resistance)

Het vermogen van objecten of systemen om externe invloeden te weerstaan op basis van fysieke bescherming ('luiken en ramen dicht, zandzakken voor de deur').

Grafisch voor te stellen als een potentiaaldal met rechte wanden (zie figuur 3). Het belangrijkste verschil met veerkracht is dat het systeem niet meegeeft maar onveranderd zichzelf blijft en de externe invloed dus *weerstand*. Terugkeren naar een evenwicht is hierbij dus niet aan de orde.

Veerkracht (zie hierboven) en weerstand zijn geen elkaar uitsluitende eigenschappen van (ecologische) systemen: zij kunnen elkaar ook aanvullen. Op het niveau van de soort wordt echter meestal gekozen voor een bepaalde strategie (denk aan K- en r-strategieën). Dat immers bepaalt de aard van de investering.

Isolatie of afscherming

Dit begrip speelt in de discussie over veerkracht, weerstand, stabiliteit en dergelijke nauwelijks een rol. Toch menen wij dat het hier een plaats verdient. Veel van de voorbeelden in de literatuur die tot weerstand gerekend worden, hebben betrekking op het vermijden van de externe invloed: het systeem is zodanig georganiseerd of gepositioneerd dat er geen confrontatie met de externe invloed plaatsvindt. Dit lijkt

³ Bij de bepaling van de veerkracht van een systeem zijn verder nog een aantal begrippen van belang die deels sterke verwantschap vertonen met veerkracht, deels aanvullend zijn (Kwa & Ringelberg, 1984):

- **Robuustheid:** kan gezien worden als een combinatie van veerkracht op zichzelf en de afstand waarover de veer kan reageren, ofwel de mate van verstoring die het systeem kan opvangen. Dit sluit wellicht iets meer aan bij de intuïtieve betekenis van het begrip dan alleen (de snelheid van) het terugkeren op zichzelf. Grafisch is dit het gebied (tweedimensionaal in figuur 3) waarover een systeem stabiel is. Bij een gelijkblijvende hoek van het potentiaaldal worden de wanden hoger naarmate de amplitude A groter wordt en kunnen er grotere verstoringen opgevangen worden (zie ook Weerstand).
- **Incasservermogen:** het aantal keren dat een systeem nog terugkeert na een verstoring (zoals het slapper worden van een elastiek naarmate het vaker uitgerekt wordt). Grafisch is dit voor te stellen als het 'afbrokkelen' van de wanden van het dal.
- **Veranderbaarheid:** veerkracht is omgekeerd evenredig met veranderbaarheid. Een veerkrachtig systeem komt vaak en snel in de uitgangssituatie terecht en is dus moeilijk te veranderen.

ons niet terecht. Zoals boven opgemerkt, is de kern van het begrip weerstand, dat het systeem de externe invloed ondergaat en weerstaat. Het is ons inziens fundamenteel anders indien een systeem de confrontatie mijdt. Een voorbeeld is het ondergronds gaan van plantensoorten of levensgemeenschappen bij extreme klimaatcondities. Een ander voorbeeld is het 'opzoeken' van moeilijk bereikbare posities (eilanden, bergtoppen, grotten) door soorten die daarmee concurrentie mijden. Meer algemeen staat het verschijnsel dat soorten en andere natuurlijke fenomenen kunnen bestaan bij de gratie van een zekere mate van isolatie bekend als 'splendid isolation'.

3.3.2 Tussenconclusie

De hier besproken begrippen hebben alle een mechanische, cybernetische of systeemtheoretische connotatie, die is toegepast op ecosystemen. Zij kunnen worden ingedeeld naar de aspecten waarop zij betrekking hebben:

- externe beïnvloeding van systemen (stress, storing);
- systeemgedrag (overige).

Ten aanzien van het systeemgedrag zijn de begrippen evenwicht, stabiliteit en persistentie vooral beschrijvend. Zij zijn op te vatten als de resultante van het systeemgedrag. De begrippen veerkracht, weerstand, buffering, tegenkoppeling, en aanpassing zijn tot op zekere hoogte ook verklarend. Zij beschrijven de aard van het gedrag waarmee systemen op verstoring en beïnvloeding reageren. Veerkracht is te beschouwen als een categorie van mechanismen op de hogere abstractieniveaus

3.4 Enkele systeem-theoretische thema's en verbanden

In deze paragraaf wordt ingegaan op het onderlinge verband tussen de besproken begrippen. Dit gebeurt aan de hand van een aantal belangrijke thema's die centraal hebben gestaan in de systeemtheorie (m.n. de theoretische ecologie). Dit betreft vooral onderzoek van theoretische, veelal wiskundige aard. Hierbij worden ecologische systemen of relaties (zoals predator-prooi-relaties) in modellen nagebootst en onderzocht op de consequenties van structureigenschappen (zoals het aantal interacties of de sterkte daarvan) voor de stabiliteit van de relaties of het systeem. Hoewel bij vrijwel elke theoretische bevinding empirische data te vinden zijn die haar ondersteunen, moet gesteld worden dat er weinig veldonderzoek voorhanden is dat eenduidige conclusies op het gebied van onderstaande thema's toestaat. Dit hangt zeker samen met het feit dat de besproken begrippen veelal moeilijk in eenduidige meetbare grootheden te vertalen zijn.

Aan de hand van de in de volgende paragrafen te bespreken thema's zullen we laten zien dat er – op het niveau van de levensgemeenschap en hoger –, vier vormen van veerkracht zijn te onderscheiden. In § 3.5 wordt hierop teruggekomen.

3.4.1 Stabiliteit en diversiteit

De discussie over een mogelijk verband tussen diversiteit en stabiliteit was wellicht het onderwerp bij uitstek van de theoretische ecologie in de jaren zeventig. We zullen deze discussie hier niet proberen te verslaan, maar de belangrijkste conclusies weergeven. Voor een overzicht wordt verwezen naar Kwa & Ringelberg (1984), Dekker & Knaapen (1986), Klijn (1987) en Van der Maarel (1993).

Allereerst de vraag of de ogenschijnlijke stabiliteit van ecosystemen het gevolg is van de hoge diversiteit (in de meeste gevallen opgevat als soortendiversiteit). Argumenten hiervoor zijn onder andere het groter aantal dwarsverbanden tussen soorten (m.n. tussen de verschillende trofische niveaus), meer terugkoppelingsmechanismen en een grotere resistentie tegen invasies van soorten die niet tot het systeem behoren. Empirisch zijn er – naast veel voorbeelden ten gunste van de hypothese – veel tegenvoorbeelden te vinden. May (1974) heeft op overtuigende wijze aangetoond dat op theoretische gronden een hogere diversiteit (van levensgemeenschappen) in principe tot een lagere stabiliteit leidt. Diversiteit werd door May opgevat als een groot aantal soorten en een groot aantal interacties tussen de soorten, in feite dus hoge complexiteit⁴. De conclusie is dat systemen met hoge diversiteit, voor zover zij stabiel zijn (of tenminste persistent) dit niet dankzij maar ondanks hun hoge diversiteit zijn. Wat betreft de relatie met veerkracht, sluit dit aan op de gedachte dat een hoger aantal soorten (met functionele relaties) in principe leidt tot een lagere (potentiële) veerkracht van een systeem. Hierop wordt in § 4.2.2 uitgebreider ingegaan.

De omgekeerde vraag of stabiliteit tot diversiteit leidt, kan onder voorwaarden wel positief beantwoord worden. Omgevingsstabiliteit (of constantheid van de omgeving) is een gunstige voorwaarde voor het optreden van evenwichten in systemen die inherent stabiel zijn. Naarmate de omgeving onvoorspelbaarder is (meer fluctueert) is de kans groter dat het systeem uit evenwicht raakt en er dus geen stabiliteit is. Anders gezegd: naarmate de omgeving sterker gedetermineerd is, kan het systeem met een geringere veerkracht of weerstand toe om in evenwicht te blijven.

3.4.2 Veerkracht versus weerstand?

In § 3.2 werd gesteld dat veerkracht en weerstand geen elkaar uitsluitende eigenschappen van (ecologische) systemen zijn. Zij kunnen elkaar ook aanvullen. Het is waarschijnlijk en goed denkbaar dat systemen voor bepaalde vormen van externe dynamiek (fluctuaties in externe factoren) weerstand hebben en voor andere

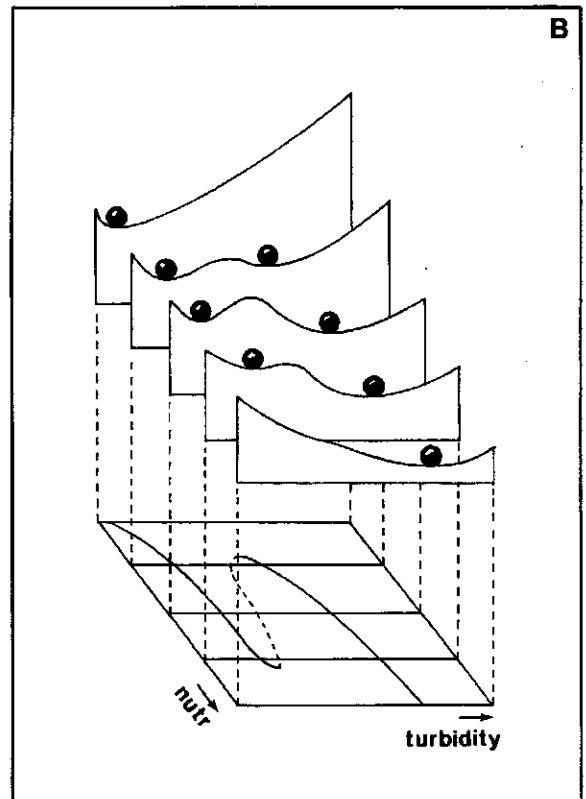
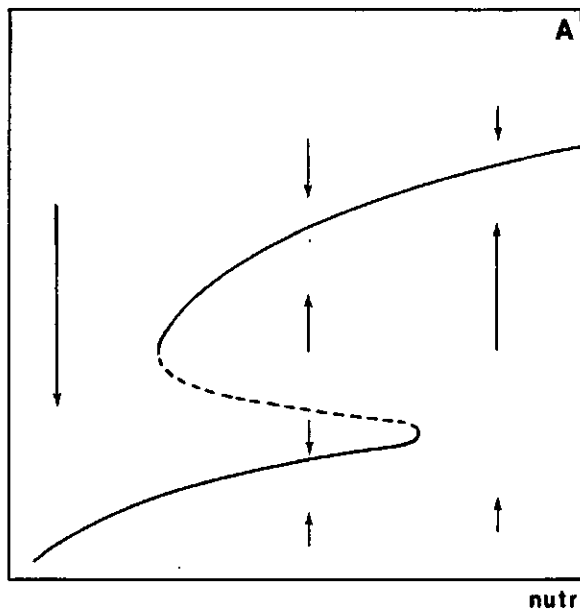
⁴ Diversiteit en complexiteit zijn niet synoniem. Strict genomen is diversiteit een 'textuurkenmerk' dat betrekking heeft op de onderscheidbare onderdelen (eenheden of kenmerken) van een systeem, zonder implicaties voor de relaties. Complexiteit is een 'structuurkenmerk' dat aangeeft in welke mate er sprake is van functionele relaties tussen de onderdelen van een systeem. In de hier besproken context kan en zekere mate van complexiteit niet bestaan zonder een zekere mate van diversiteit. Het omgekeerde is wel denkbaar: een soortenrijk systeem met weinig relaties tussen de soorten. Dat May (1974) uitgaat van complexiteit in plaats van diversiteit (in engere zin) is begrijpelijk, omdat de hypothese dat diversiteit tot stabiliteit leidt, uitgaat van de aanwezigheid van functionele relaties tussen soorten.

veerkracht. Ook het na elkaar optreden van veerkracht en weerstand bij een toenemende of aanhoudende externe invloed is zeer goed voorstelbaar. Naar analogie met een mechanische veer: deze heeft aan het einde van zijn veerkracht ook een zekere weerstand. Ook theoretisch is aan dit thema aandacht besteed. Eén van de bevindingen hiervan is dat er bij de meeste soorten en systemen meestal wel sprake is van één duidelijk overheersende strategie, ten gunste van hetzij veerkracht, hetzij weerstand.

3.4.3 Persistentie in en buiten evenwicht

Na de discussie over het bestaan van stabiele systemen en de voorwaarden waaronder dit mogelijk was, is in de literatuur in toenemende mate aandacht ontstaan voor systemen die voortbestaan zonder dat ze in een evenwichtspunt verkeren. Dergelijke systemen kunnen bestaan omdat de toestandsruimte meer dan één evenwichtspunt kent en uitwendige verstoringen het regelmatig uit het ene evenwicht stoten, waarna het in een ander terecht komt, enz. Dit is door Holling (1973) beschreven aan de hand van het klassieke voorbeeld van de spar-budworm-interactie in Noord-Amerika. Hij noemt dit resiliënce (veerkracht) en geeft daarmee aan dit begrip een betekenis die verder gaat dan het 'terugkeren naar eenzelfde evenwichtspunt'. Het is veel meer een meer-dimensionale kat-en-muis-spel van de verstoringbron en het systeem. Overigens heeft May (1974) hetzelfde verschijnsel beschreven met een limietcyclus, hetgeen ook een vorm van veerkracht is waarbij niet (direct) naar hetzelfde evenwichtspunt wordt teruggekeerd. In beide gevallen staat veerkracht in dienst van de persistentie: het systeem is in staat verstoringen op te nemen met behoud van de essentiële toestandsvariabelen.

In de hydro-ecologische literatuur zijn een aantal publicaties gewijd aan het al dan niet bestaan van multiple stabiele evenwichten in geëutrofiëerde wateren. Scheffer (1990) toont met behulp van een aantal eenvoudige modellen aan dat het aannemelijk is dat er meer dan één evenwichtspunt bestaat in een systeem van nutriënten, algen, zoöplankton en vissen (fig. 5). Dit onderzoek werd vooral van belang geacht voor het eutrofiëringprobleem. Hierbij is sprake van een situatie die, zo leert de ervaring, moeilijk is te doorbreken door het verlagen van het nutriëntenaanbod. Higler (IBN-DLO, 1999 mond. med.) merkt op dat polysaprobe (sterk organisch vervuilde) wateren overal ter wereld een grote overeenkomst vertonen en bijzonder persistent en veerkrachtig zijn.



Figuur 5 Voorbeeld van een systeem met meer dan één evenwichtspunt en een hoge veerkracht. Toelichting in de tekst (uit: Scheffer, 1990).

Het aardige aan de bevindingen van Scheffer is dat de veerkracht en robuustheid van het systeem zo groot zijn, dat er een zeer zware verstoring nodig is om van de ene naar de andere evenwichtssituatie te komen. Omdat het in dit geval gaat om het veranderen van een ongewenste situatie (eutrofiëring: troebel water, algenbloei, weinig waterplanten, veel witvis, geen snoek) naar een gewenste (helder water met waterplanten en snoek) is de consequentie hiervan dat er moet worden ingegrepen. In figuur 5 zijn de relaties tussen de genoemde componenten teruggebracht tot die tussen troebelheid en nutriënten. Bij zeer laag nutriëntenaanbod is er slechts één evenwicht en dat is stabiel bij een lage troebelheid. Bij een zeer hoog nutriëntenaanbod is er ook één evenwicht, dat ligt bij een hoge-troebelheid. Wil men van het hoge troebelheid-evenwicht terug naar het lage evenwichtspunt, dan moeten er of enorm veel nutriënten verwijderd worden ofwel moet de troebelheid verbroken worden. Dat laatste voert via een traject 'over een berg', dat wil zeggen: tegen de veerkracht van het systeem in. Omdat zowel de veerkracht als de afstand waarover deze werkzaam is, groot zijn, kan hier gesproken worden van een zeer robuust systeem (zie § 3.1). De ingrepen, biomanipulatie genaamd, houden in dit verband o.a. in dat grote hoeveelheden witvis worden weggevangen. Dit is inderdaad met enig succes toegepast (Higler, IBN-DLO, 1999 mond. med.).

Eén stap verder kan men zich een systeem voorstellen dat slechts zelden in rust (evenwicht) is maar voortdurend heen en weer reist tussen twee of vele

aantrekkingsgebieden (de dalen in fig. 2). Het dankt zijn persistentie dan wel ten dele aan het bestaan van een samenhangende 'infrastructuur' van aantrekkingsgebieden, maar is zelden of nooit 'thuis'.

Nog een stap verder van het uitgangspunt van een systeem in evenwicht is de vraag of systemen kunnen persistieren die permanent uit evenwicht zijn. Deze vraag moet ook in verband gezien worden met het thema 'omgevingsstabiliteit en persistentie'. Huston (1979) heeft als een van de eersten gewezen op het bestaan van diverse systemen in een onvoorspelbare omgeving, met name aquatische systemen. Hutchinson (1961) roept in dit verband de vraag op hoe het mogelijk is dat er in bepaalde – ogenschijnlijk ruimtelijk uniforme – omgevingen geen competitieve exclusie optreedt. Beide verschijnselen zijn te verklaren uit de invloed van een onvoorspelbaar fluctuerende omgeving. Het kan mathematisch aangetoond worden dat soorten naast elkaar kunnen voortbestaan – in een omgeving waar bij afwezigheid van fluctuaties één van beide de ander zou verdringen – als de bronnen en factoren die een rol spelen in de concurrentie voortdurend veranderen. Je zou dit kunnen vergelijken met een wedstrijd waarin de spelregels steeds veranderd worden, zodat steeds een andere partij in het voordeel is. Dit is een uiterst belangrijke waarneming die aanleiding heeft gegeven tot veel meer aandacht voor het bestaan van systemen die permanent buiten evenwicht zijn. We zien hier dus een vorm van persistentie waarbij stabiliteit niet aan de orde is en evenwichten – zo ze al bestaan – niet gerealiseerd worden. Wij stellen voor dit ook als een vorm van veerkracht te zien, aangezien het overeenkomt met een reactie van een systeem op verstoringen, zodanig dat de essentiële toestandsvariabelen behouden blijven.

3.4.4 Successie en persistentie

Successie, in de klassieke opvatting, is te beschouwen als het ontwikkelen van een systeem vanuit de beginsituatie (of een zwaar verstoorde situatie) naar een eindfase, waarin het systeem in essentie niet meer verandert: de climax. Er kan heftig gediscussieerd worden over de vraag of climaxsituaties bestaan of niet, of zij dynamische of statische eindtoestanden zijn en of ze persistent zijn. Wij gaan daarop hier niet in. Een feit is dat op weg naar het bestaan van allerlei systemen trajecten doorlopen worden die veelal volgens vaste of in elk geval herkenbare patronen verlopen. In de beginstadia van deze trajecten is er veelal sprake van een situatie die totaal anders is dan het eindstadium. Kortom: het climaxsysteem is nog niet aanwezig en er is ook nog geen sprake van stabiliteit of evenwicht van dat systeem.

Bij een zware – maar niet totale – verstoring of ingreep wordt gesproken van het 'terugzetten van de successie' in die gevallen waarin het systeem zichzelf weer opnieuw genereert. Een bekend voorbeeld in aquatische systemen is het optreden van verlanding in petgaten en laagveenplassen van open water naar moerasbos. Deze verlanding wordt eens in de zoveel tijd teruggebracht tot het stadium van open water, om alle voorkomende tussenstadia weer een kans te geven. Dit geldt in feite voor veel gevallen van natuurbeheer, bosbouw en ook landbouw. Niet in alle gevallen kan het systeem zichzelf weer ontwikkelen. In die gevallen waarin dat wel zo is, kan dit

als een vorm van veerkracht gezien worden. Strikt genomen is dit geen veerkracht op systeemniveau (het systeem, in de zin van de oorspronkelijke verzameling van biota en abiota in hun karakteristieke ordening, is in veel gevallen verdwenen) maar op landschapsniveau. Dit kan aangeduid worden met herstelsuccessie.

Er zijn ook vele voorbeelden van ecosystemen die zich bij eenzelfde uitgangssituatie langs meer dan één weg kunnen ontwikkelen. Dit verschijnsel wordt als multiple path-succession aangeduid (Horn, 1976) of meer algemeen als bifurcatie (splitsing van wegen) (Prigogine & Stengers, 1979; Harms & Smeets, 1988). In het geval van een verstoring of ingreep is het mogelijk dat de (secundaire) successie volgens een andere lijn verloopt, afhankelijk van de afstand waarover de successie wordt teruggezet. Bij deze vorm van veerkracht bestaat dus meer dan één evenwicht. Dit is als een tweede vorm van veerkracht op landschapsniveau te beschouwen.

Een voorbeeld van bifurcatie uit de aquatische ecologie betreft de ontwikkeling van de seizoenssuccessie van fytoplankton in de Maarsseveense Plassen (Van Donk, 1983). Hier is sprake van een jaarlijks terugkerende ontwikkeling, in feite een cyclisch proces dus. Van Donk vond dat naast fosfaat, ijzer, licht en temperatuur ook schimmelparasitisme een belangrijke rol speelde bij de successie van de verschillende soorten fytoplankton. Afhankelijk van kleine temperatuurverschillen van jaar tot jaar treedt er een meer of minder sterke infectie op van de diatomee *Asterionella formosa*. In jaren met een hoge infectie slaat de successie een geheel andere weg in dan in jaren met weinig infectie. Het is niet duidelijk of in dit geval de mogelijkheid bestaat om de successie 'terug te zetten' en anders te laten verlopen nadat hij eenmaal opgang gekomen is. In dat geval zou het een voorbeeld zijn van veerkracht in een systeem met multiële evenwichten.

3.4.5 Tussenconclusie

Uit de voorgaande paragraaf is het volgende naar voren gekomen:

- De veelbesproken hypothese dat diversiteit tot stabiliteit leidt, moet als onwaarschijnlijk worden beschouwd; omgekeerd is het wel aannemelijk dat een hoge mate van (omgevings)stabiliteit een gunstige voorwaarde is voor het ontstaan van diversiteit;
- Hoewel veerkracht en weerstand categorieën van mechanismen zijn waarmee een systeem externe invloeden kan opvangen die op heel verschillende mechanismen gebaseerd zijn, sluiten zij elkaar niet uit.
- Systemen kunnen zowel in als buiten evenwicht bestaan. Systemen in evenwicht kunnen bovendien meerdere evenwichtspunten hebben, waartussen al of niet frequent wordt gewisseld, afhankelijk van de intensiteit en frequentie van externe verstoringen. Zowel bij enkelvoudige als meervoudige evenwichten kan veerkracht een belangrijke rol spelen in de handhaving van het systeem.
- Systemen buiten evenwicht kennen geen stabiliteit in engere zin. Zij kunnen voortbestaan dankzij de combinatie van een fluctuerende (dynamische) omgeving en interne reactiemechanismen die een vorm van veerkracht inhouden.

- Bij successie, op het niveau van het systeem gezien, treedt veelal een zodanige mate van veranderlijkheid op, dat van persistentie van het systeem geen sprake is. Op het niveau van het landschap gezien is het echter als een vorm van veerkracht te beschouwen, die het mogelijk maakt dat er teruggekeerd wordt naar een oud evenwicht of dat een nieuw evenwicht gevonden wordt.

3.5 Factoren en mechanismen die het voortbestaan van systemen mogelijk maken

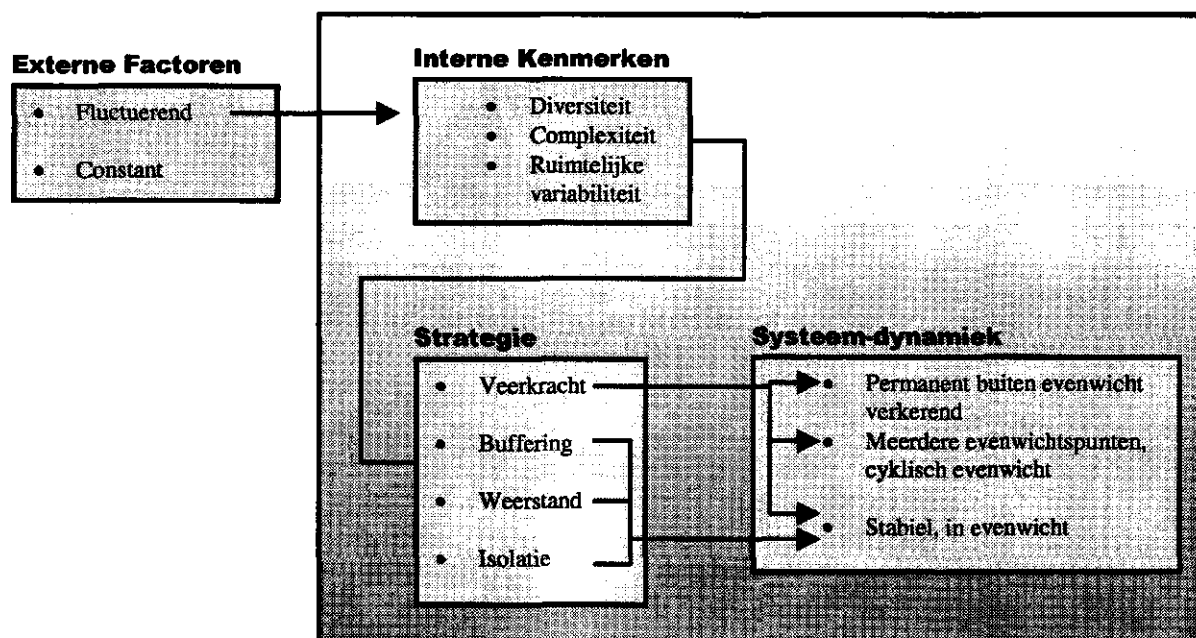
De bovengenoemde discussiethema's zijn van belang, omdat ze hebben bijgedragen aan het begrip van de relaties tussen belangrijke kenmerken van de natuur. De centrale vraag die ten grondslag ligt aan al het beschreven onderzoek en de discussies is: hoe komt het dat (complexe, diverse) levensgemeenschappen en systemen persistent zijn, dat wil zeggen: gedurende lange tijd voortbestaan. Dat veel systemen lang kunnen voortbestaan staat vast. Het betekent dat zij in staat zijn om interne en externe verstoringen het hoofd te bieden. Veerkracht is, zoals eerder gezegd, een van de strategieën die systemen daarbij kunnen aanwenden. Voor een betere positionering van veerkracht willen we daarom nu de materie vanuit een wat globaler perspectief benaderen.

De functionele aspecten die een rol spelen bij de persistentie van systemen zijn globaal in te delen in drie typen:

1. externe invloeden/verstoringen;
2. interne structuurkenmerken;
3. interne mechanismen (of strategieën) waarmee het systeem op externe invloeden/verstoringen reageert.

Figuur 6 geeft dit schematisch weer.

We zullen deze drie zaken in § 3.5.1 tot en met § 3.5.3 kort de revue laten passeren. Op basis hiervan komen we in § 3.6 tot een definitie van veerkracht en de verschillende vormen van veerkracht. In § 3.7 geven we hiervan de conclusies, in de vorm van een overzicht van de samenhang van de besproken aspecten en begrippen.



Figuur 6 Relaties tussen externe en interne factoren, de mechanismen waarmee systemen reageren en de aard van de interne dynamiek van het systeem. Toelichting in de tekst.

3.5.1 Externe invloeden

Onder externe invloeden verstaan we datgene wat van buiten het systeem komt, en invloed uitoefent op essentiële (voor het voortbestaan relevante) systeemeigenschappen. In natuurlijke situaties is het vaak lastig om deze helder af te grenzen van het systeem zelf, in cultuurlandschappen met multifunctioneel ruimtegebruik is dit nog veel moeilijker. Voor een heldere – theoretische – discussie is het echter van belang dit onderscheid te maken.

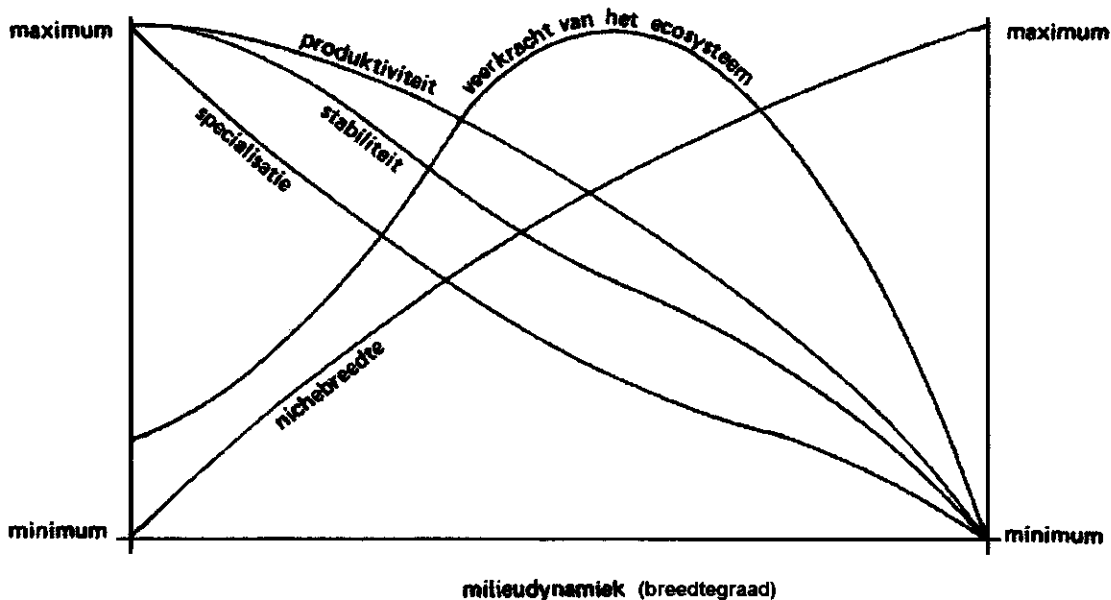
Externe invloeden kunnen betrekking hebben op immigratie van dieren en planten, transport van stoffen en water, van klimatologische of antropogene aard zijn. De precieze effecten hangen sterk af van het type invloed en systeem. Hier zijn vooral de temporele aspecten van externe invloeden van belang. We zagen al dat constante of volgens een regelmatig patroon optredende – dus voorspelbare – externe invloeden in principe een goed uitgangspunt zijn voor de ontwikkeling van stabiele, in evenwicht verkerende systemen. Ook zagen we dat er systemen zijn die wel inherent stabiel zijn – in de zin van het hebben van evenwichtspunten – maar die een deel van de tijd, of zelfs meestal buiten de evenwichten verkeren. Zij danken hun voortbestaan aan een grote mate van veerkracht.

Er zijn ook systemen – en waarschijnlijk heel veel systemen – die kunnen persisteren dankzij een zekere mate van externe verstoringen (Huston, 1979; Levins, 1979). De essentie hiervan is als volgt. In een temporeel constante omgeving is te verwachten dat soorten met sterk overlappende niches elkaar in principe wegconcurreren. Ook predator-prooi-relaties kunnen instabiel zijn, zodat bijvoorbeeld een predator zijn

prooi uiteindelijk uitroeit. Het proces van wegconcurreren of uitroeien kost tijd. Onregelmatige fluctuaties in externe factoren die op de populaties van alle of de meeste betrokken soorten ingrijpen zonder deze compleet te vernietigen, kunnen deze processen verstoren. In veel gevallen zal de situatie zodanig veranderen dat een eventueel bijna uitsterven van een soort niet doorgaat. Het proces van wederzijds wegconcurreren krijgt eenvoudigweg geen tijd zich te voltrekken. Mits nu de externe beïnvloeding bovendien van plaats tot plaats verschilt ontstaat een mozaïek van in verschillende stadia verkerende concurrentie- of predatieprocessen (zie ook § 3.5.2). Op deze wijze kunnen op een onvoorspelbare wijze fluctuerende externe factoren systemen blijven bestaan die permanent buiten evenwicht functioneren en zijn soortencombinaties mogelijk die in een constante omgeving niet kunnen bestaan. Wij hebben dergelijke systemen veerkrachtig genoemd in de zin van Holling (1973). In het verlengde hiervan kunnen we stellen dat een fluctuerende omgeving goed kan samengaan met een systeemdynamiek met een hoge mate van veerkracht. Men kan zich zeer goed voorstellen dat dit aan de orde is in delen van het rivierengebied.

Figuur 7 illustreert het verband tussen milieudynamiek (hier gekoppeld aan breedtegraad) en onder andere de veerkracht van systemen. Hoewel de context van deze verbanden anders is dan in deze studie, illustreert de figuur wel de algemene ervaring bij ecologen dat er meerdere verbanden zijn tussen veerkracht en omgevingsvariabelen. Breedtegraad kan globaal gezien worden als een indicator van milieudynamiek. Bij een zeer sterke mate van dynamiek is de productiviteit van de primaire producenten beperkt. Dit geldt bijvoorbeeld in arctische gebieden. De veerkracht van systemen kan hier niet boven een bepaald niveau uitkomen, aangezien het ontbreekt aan 'groei'kracht⁵. Bij extreem lage mate van dynamiek (constante omgeving) en een hoge productiviteit kunnen zich systemen ontwikkelen die stabiel zijn dankzij inherente evenwichten. Hierin kan een hoge mate van nichedifferentiatie en specialisatie optreden, die (waarschijnlijk) grenzen stellen aan de maximale veerkracht. Een hoge mate van veerkracht is in dergelijke situaties ook niet nodig, omdat de omgeving weinig dynamisch is. De auteur van figuur 7 (Clapham, 1973) geeft hiermee aan dat er een optimum bestaat wat betreft veerkracht van systemen bij intermediaire waarden voor milieudynamiek. Anders gezegd: ecosystemen ontwikkelen een mate van veerkracht die aangepast is aan de mate van milieudynamiek, maar worden daarin beperkt door hun productiviteit.

⁵ De productiviteit is op hoge breedtegraden niet alleen laag door de hoge mate van milieudynamiek (opgevat als veranderlijkheid van het milieu) maar ook door de gemiddeld ongunstige condities voor biomassa-productie (geringe beschikbaarheid van zonne-energie en lage temperaturen). Beide factoren zijn beperkend voor de productiviteit. Voor een beter begrip van de relatie tussen veerkracht en milieudynamiek zouden zij eigenlijk gescheiden dienen te worden.



Figuur 7 Veronderstelde relaties tussen breedtegraad (hier opgevat als dynamiek) en een aantal kenmerken van ecosystemen (gewijzigd naar Clapham, 1973).

3.5.2 Interne structuurkenmerken die een rol spelen bij persistentie

Onder dit kopje vallen de eigenschappen van het systeem die betrekking hebben op de interne organisatie (ruimtelijk, temporeel en functioneel) en die medebepalend zijn voor de wijze waarop het systeem reageert op externe invloeden. Enkele van de belangrijkste zijn:

- Diversiteit van soorten, maar ook functionele groepen.
- Functionele structuur: relatiernetwerk van soorten die elkaar beconcurreren, prederen of faciliteren. Hieraan zijn een groot aantal parameters te onderscheiden, zoals complexiteit, trofische niveaus en connectiviteit.
- Biomassaproductie en de ruimtelijke verdeling ervan, alsmede hieraan gerelateerde parameters, zoals primaire en secundaire productie en turnover van mineralen.
- Ruimtelijke variabiliteit: mate van heterogeniteit of ruimtelijke differentiatie. Deze kan een semi-onveranderlijke eigenschap van het abiotisch milieu zijn, maar ook ontstaan ten gevolge van systeemprocessen.

We zullen deze hier niet allemaal behandelen. Twee aspecten willen we er uitlichten in verband met hun relatie met persistentie en veerkracht

Interne diversiteit en interne complexiteit zijn eigenschappen die, zoals eerder genoemd, niet of niet zonder meer bijdragen aan stabiliteit. Onder voorwaarden kunnen ze echter wel samengaan met een hoge mate van persistentie, met name bij

systemen buiten evenwicht. Veerkracht is in dergelijke systemen een categorie van mechanismen die het bestaan van een zekere mate van diversiteit mogelijk maakt.

Ruimtelijke variabiliteit is een uiterst belangrijk fenomeen in relatie tot stabiliteit en persistentie van al dan niet diverse systemen. Ruimtelijke compartimentering kan ertoe leiden dat processen die in een homogene omgeving overal (nagenoeg) synchroon zouden verlopen van plek tot plek in een andere fase kunnen verkeren. Daardoor kunnen toevalsprocessen alleen plaatselijk effect hebben en bovendien op verschillende tijdstippen (Crowley, 1983; Caswell, 1982). Zo kan het lokaal uitroeien van een prooidier door een predator, of het lokaal uitsterven van een herbivoor door voedselgebrek, gecompenseerd worden door immigratie uit andere delen. Het functioneren van metapopulaties (Verboom et al., 1991) is in feite op hetzelfde principe gestoeld. Hierop wordt in § 4.2.2 uitgebreider ingegaan. Ruimtelijke verschillen binnen het systeem met betrekking tot relevante milieufactoren voegen daar aan toe dat er van plaats tot plaats verschillende krachtenverhoudingen zijn tussen interacterende soorten en factoren. Daardoor zijn er meer mogelijkheden voor verschillende soorten om voor hen gunstige omstandigheden te benutten. Gradiënten zijn als het ware een optimalisatie van dit principe. Omdat het milieu langs de gradiënt steeds verandert, zijn steeds andere soorten in het voordeel en wordt competitieve exclusie voorkomen.

Ruimtelijke variabiliteit in brede zin is een systeemeigenschap die aanzienlijk kan bijdragen aan de persistentie van niet in evenwicht verkerende systemen. Dit kan gezien worden als een positieve conditie voor veerkracht.

3.5.3 Mechanismen waarmee systemen op verstoring reageren

In § 2.3.3 zijn veerkracht en weerstand naast elkaar gezet als in principe verschillende categorieën van mechanismen waarmee het systeem een verstoring opvangt. We hebben ook gezien dat ze elkaar niet uitsluiten en ook kunnen aanvullen. Naast veerkracht en weerstand willen we nog twee andere categorieën van mechanisme bespreken, die in § 3.2 ook al besproken zijn. Zij zijn met name relevant vanuit een beheersinvalshoek.

Buffering

Dit begrip speelt in de theoretische discussies die beschreven zijn in § 3.3 nauwelijks een rol. De reden hiervoor is niet geheel duidelijk. Buffering is ook een vorm waarmee externe invloeden worden opgevangen die ertoe kan leiden dat het systeem als geheel niet bedreigd wordt en daarmee kan persisteren. Ook hierbij geldt dat er grenzen zijn aan wat het systeem kan hebben. Buffering houdt immers altijd een (kinetische, chemische, vorm-, volume-)verandering van het systeem of zijn directe omgeving in, die blijvende gevolgen kan hebben. Alleen indien de essentiële systeemeigenschappen niet veranderen is er sprake van buffering. Dat is echter een arbitraire aangelegenheid. Het bufferend vermogen van een bodem ten opzichte van verzurende stoffen, bijvoorbeeld, is eindig en elke belasting leidt in principe tot een reductie van het bufferend vermogen. De pH blijft weliswaar over een lang traject

constant maar wijzigt abrupt als alle bufferende stoffen zijn uitgeput. De algemene vraag of er sprake is van persistentie – in de zin dat het systeem zichzelf blijft – zou daarom in het geval van buffering, althans in sommige gevallen, negatief kunnen uitvallen.

Isolatie en afscherming

De ogenschijnlijk eenvoudigste manier om (ongewenste) externe invloeden het hoofd te bieden, is deze te vermijden. Bij mobiele 'systemen' zoals dieren zijn vluchten, verstopping, ingraven, etc. veelvoorkomende strategieën. Bij hogere orde systemen is dit niet mogelijk maar er zijn wel degelijk allerlei systemen die een deel van hun karakteristieke eigenschappen behouden dankzij het feit dat zij geïsoleerd zijn ten opzichte van hun omgevende mogelijke beïnvloeding. Er zijn veel voorbeelden van flora en fauna op eilanden die alleen kan bestaan bij de gratie van de afwezigheid van concurrenten of predatoren. Introductie van concurrenten of predatoren kan desastreuze gevolgen hebben voor de hele levensgemeenschap (bijv. zoogdieren in Australië die de inheemse buideldieren wegconcurrerden). Op systeemniveau moet dit wellicht beschouwd worden als een mechanisme dat het systeem niet zozeer zelf 'toepast' als wel een gegevenheid van de externe omgeving. Een voorbeeld van isolatie is wellicht het ontstaan van een mantel- en zoomvegetatie aan de rand van een bos, bijvoorbeeld nadat een deel gekapt is. Daarmee wordt het interne gedeelte van het bos beschermd tegen verlies van vocht en het doordringen van licht op de bodem (het bosklimaat blijft behouden). Splendid isolation komt meer in het algemeen – voor in extreme maar natuurlijke omstandigheden. Voorbeelden zijn stroming in een beek, de zuurgraad van hoogvenen en vennen en daaraan gebonden soorten, chloridegehalte van brakke wateren.

We hebben vier categorieën van mechanismen besproken veerkracht, weerstand, buffering en isolatie. Deze zijn in principe te beschouwen als strategieën waarmee een systeem omgevingsinvloeden tegemoet treedt. Het vermoeden bestaat dat het mogelijk is systeemtypen te karakteriseren op basis hiervan. Wij zullen ze in het vervolg aanduiden met systeemstrategieën. Dit naar analogie met de overlevingsstrategieën van Grime (1979) voor planten. Evenals bij de indeling van Grime zal voor een indeling van systemen gelden dat veel systemen intermediair zijn of een combinatie van strategieën hanteren, bijvoorbeeld afhankelijk van het type externe invloeden. Deze vier systeemstrategieën vormen even zoveel aangrijpingspunten voor het beheer. Hierop wordt in hoofdstuk 5 ingegaan.

3.6 Definitie en vormen van veerkracht

Voor het doel van deze studie hanteren wij de volgende definitie van veerkracht. Dit is uiteraard niet noodzakelijkerwijs de meest gangbare of algemeen geaccepteerde definitie.

'Veerkracht is het vermogen van systemen, of onderdelen daarvan, om op een zodanige wijze te reageren op uitwendige of inwendige storingen dat – na een periode van herstel – de essentiële kenmerken (abiotische en biotische eigen-

schappen, alsmede functionele relaties) behouden blijven. Veerkracht kan betrekking hebben op alle aggregatieniveaus van het individu tot het landschap, op abiotische en biotische componenten'.

De mate van veerkracht kan in principe afgeleid worden uit de snelheid waarmee het systeem terugkeert naar de oude toestand of een nieuwe toestand bereikt. Dit is uiteraard afhankelijk van de aard van de verstoring en de mate van verstoring. Bovendien moet het gerelateerd worden aan de aard van het systeem: alle processen verschillen in hun dynamiek. Het lijkt daarom verstandig om vergelijkingen van de mate van veerkracht alleen te maken tussen systemen van een zelfde orde.

In de voorgaande paragrafen is gebleken dat veerkracht bij levensgemeenschappen en ecosystemen een viertal vormen kan aannemen. Na een verstoring die leidt tot het tijdelijk uit evenwicht zijn van een systeem, kan dit op de volgende wijzen reageren:

1. Terugkeer naar een stabiel evenwichtspunt in een globaal stabiel of lokaal stabiel systeem.
2. Het bereiken van een ander (lokaal) stabiel evenwichtspunt in een systeem dat meer stabiele evenwichtpunten kent (Holling, 1973).
3. Het permanent op weg zijn tussen verschillende toestanden in een toestandsruimte waarin labiele evenwichtpunten wel of niet aanwezig kunnen zijn, maar een stabiel evenwichtspunt ontbreekt. Hierbij zijn de verstoringen noodzakelijk om te voorkomen dat het systeem 'tot rust komt' en vervolgens door inherente instabiliteit uitsterft.
4. Het vermogen tot secundaire successie, alsmede inslaan van een andere weg naar het eindstadium van successie dan de weg die oorspronkelijk gevolgd was. Dit zijn vormen van veerkracht op het niveau van het landschap.

Voor al deze vormen van veerkracht geldt dat zij:

1. theoretisch mogelijk zijn,
2. door meer auteurs beschreven zijn, en
3. door tenminste enige empirische basis in de literatuur ondersteund worden.

3.7 Conclusies: samenhang tussen de besproken begrippen

Ter afsluiting van dit hoofdstuk plaatsen we de belangrijkste besproken begrippen nogmaals op een rij, en in onderling verband.

De centrale vraag die in de besproken theoretische discussies steeds speelt is hoe is het mogelijk dat (zeer) complexe systemen gedurende lange tijd voortbestaan? Stabieleit is in deze context op te vatten als een verklaring voor de persistentie van systemen. Indien men de vraag stelt naar de ecologische betekenis van veerkracht, is deze vraag te herformuleren als: wat is de relatie tussen veerkracht en persistentie?

Uit bovenstaande is naar voren gekomen dat er, met betrekking tot de systeemdynamiek, zeer waarschijnlijk systemen bestaan die:

1. *stabiel* zijn – in de zin dat de systeemvariabelen meestal in een evenwichtstoestand verkeren; ofwel
2. meerdere evenwichtspunten kennen en gedurende een groot deel van de tijd onderweg zijn tussen deze punten, ofwel in stabiele limietcycli ronddraaien (in feite dus een continue reeks van evenwichtpunten doorlopen); ofwel
3. permanent buiten evenwicht verkeren en door externe invloeden ‘in de lucht gehouden worden’; deze systemen zijn in feite inherent instabiel.

In al deze gevallen leidt de dynamiek van het systeem tot een zekere mate van *persistentie*. Het is belangrijk om te constateren dat stabiliteit – in de zin van het bestaan in een of meer evenwichten – hierbij dus één van de vormen van systeemdynamiek die persistentie mogelijk maken, maar zeker niet de enige.

Veerkracht kan bij alledrie de genoemde situaties een rol spelen en is dan een strategie die persistentie mogelijk maakt. De mate waarin veerkracht bijdraagt aan de persistentie van systemen hangt af van:

- De overheersende systeemstrategie: deze kan op veerkracht maar ook op weerstand, buffering of isolatie/afscherming gebaseerd zijn.
- De aard van de systeemdynamiek: bij systemen die niet (permanent) in evenwicht verkeren (2e en 3e type) speelt veerkracht vermoedelijk altijd een zeer grote rol; bij stabiele, in evenwicht verkerende systemen hangt het af van de systeemstrategie.
- De intensiteit en frequentie van de verstoringen: in systemen met een veerkrachtstrategie is de benodigde veerkracht in principe groter naarmate de verstoringen groter of frequenter zijn.

Weerstand kan, in het geval van een systeem dat één of meer (lokaal) stabiele evenwichten kent, een vergelijkbare rol spelen als veerkracht: het draagt bij aan stabiliteit en daarmee aan persistentie. In permanent buiten evenwicht verkerende systemen (zoals beschreven in Kwa en Ringelberg, 1984) speelt weerstand geen rol in de interne dynamiek, sterker nog: het zou als ongewenst beschouwd kunnen worden.

Zowel *buffering* als *isolatie/afscherming* zijn categorieën van mechanismen die het doorwerken van externe invloeden op het systeem afvangen, respectievelijk voorkomen. Zij kunnen daarmee bijdragen aan de persistentie van met name stabiele systemen.

Veerkracht kan dus in principe een rol spelen bij alle drie de bovengenoemde vormen van systeemdynamiek. De drie overige strategieën zijn vooral van belang bij de eerstgenoemde vorm: het handhaven van (lokale of globale) stabiliteit. Veerkracht kan daarom wellicht gezien worden als de systeemstrategie die bij uitstek in dienst staat van de persistentie van systemen die tijdelijk of permanent buiten evenwicht verkeren. Anders gezegd: juist bij systemen met een hoge interne en externe dynamiek is het aannemelijk dat veerkracht een grote rol speelt. Met nadruk moet

echter gesteld worden dat veerkracht ook een rol kan spelen in systemen die in evenwicht verkeren.

Uiteraard zullen de genoemde strategieën vaak in aanvulling op elkaar werken. In de meeste gevallen zullen systemen op een lichte verstoring reageren met een zekere weerstand, met buffering of zal deze verstoring door isolatie/afscherming niet tot het systeem doordringen. Bij toenemende intensiteit van de verstoring kan dit gevolgd worden door een traject waarover het systeem veerkrachtig is, eventueel weer gevolgd door een laatste stuk weerstand, alvorens het systeem instort. Er zijn echter veel andere combinaties denkbaar.

Tot slot kan in relatie tot het beleidsconcept *duurzaamheid* nog het volgende worden gezegd. Als we duurzaamheid opvatten als een aspect van het handelen van mensen, kunnen we het voor het doel van deze studie wellicht vooral zien als: een doelbewuste wijze van omgaan met de natuur (w.o. planvorming, inrichting en beheer), die het voortbestaan van vormen van biodiversiteit (in brede zin) mogelijk maakt of tenminste niet in de weg staat. Zo bezien kan duurzaamheid wellicht gelden als de maatschappelijke evenknie van de systeemstrategieën die 'gericht zijn op' de persistentie van ecosystemen. Veerkracht en duurzaamheid zijn dus twee concepten die beleidsmatig goed op elkaar aansluiten. Echter, ook de andere besproken systeemstrategieën zijn verenigbaar met duurzaamheid. In hoofdstuk 5 wordt kort ingegaan op veerkracht in relatie tot de beleidsconcepten duurzaamheid, diversiteit en natuurlijkheid.

4 Voorbeelden van veerkrachtige processen

4.1 Inleiding

Om het begrip veerkracht te kunnen inzetten bij beleid en beheer dient het verder gebracht te worden dan een theoretisch begrip. Het zal gekoppeld moeten worden aan processen en eigenschappen van de natuur en vervolgens aan aangrijpingspunten voor sturing. Het laatste komt in hoofdstuk 5 aan de orde.

Binnen het bestek van deze studie is geen uitputtende opsomming mogelijk: We volstaan in dit hoofdstuk met het geven van enkele voorbeelden. Wij geven in het navolgende een aantal basale principes en mechanismen aan, waarover in de literatuur een redelijke consensus bestaat dat zij in meer of mindere mate bijdragen aan het herstel(vermogen) van systemen volgens de definitie van veerkracht. We gaan zowel in op de processen die leiden tot een herstel van (exacte) oorspronkelijke situaties, als op processen die ertoe bijdragen dat systemen – binnen een zekere variatie in toestandsvariabelen – blijven voortbestaan met behoud van de essentiële eigenschappen.

Van belang is daarbij het verschil tussen:

- mechanismen zelf (het geheel aan processen, dat bijdraagt aan herstel); en
- factoren en condities die het optreden van die processen mogelijk maken.

Onder factoren verstaan wij grootheden die een duidelijke invloed uitoefenen op andere grootheden (variabelen, kenmerken) of die processen en mechanismen veroorzaken of aansturen. Condities zijn toestandsvariabelen die als zodanig niet in de eerste plaats het optreden van processen veroorzaken of aansturen, maar modificerend werken op het verloop ervan.

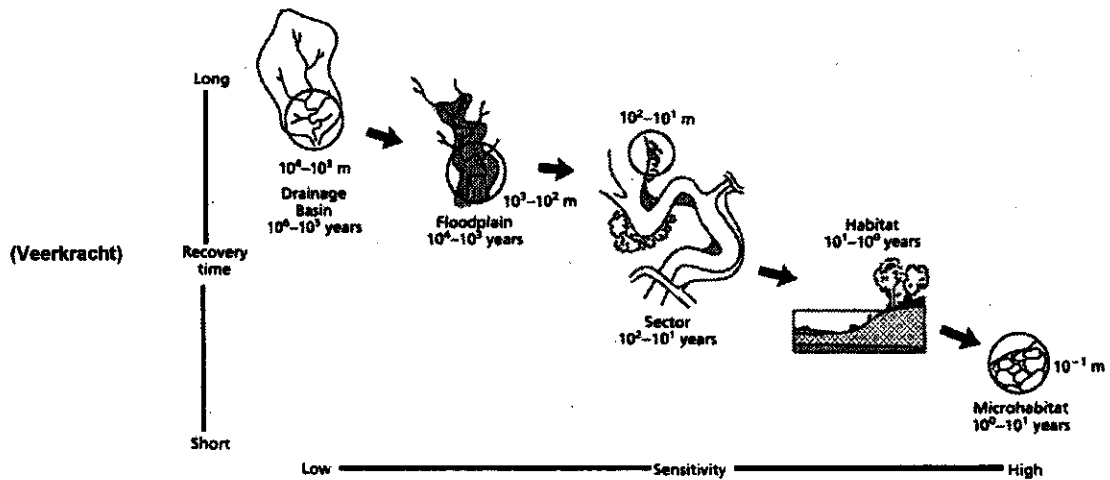
In de volgende paragraaf gaan we kort in op de schaal- en aggregatieniveaus die aan de orde zijn. In § 4.3 lichten we twee aspecten uit de veelheid van ecologische processen: de morfologische dynamiek van beken en rivieren en de dynamiek van populaties, in relatie tot hun omgeving.

4.2 Schaal- en aggregatieniveaus

In § 1.3 is aangegeven dat het ecosysteem wordt genomen als ijkpunt voor de beschrijving van de verschillende aggregatie- en schaalaspecten van zoete en brakke wateren. Dit is een abstract begrip, als concrete tegenhanger kan het ecotoop dienen (o.a. Wolfert, 1996). De voorbeelden die in dit hoofdstuk worden aangehaald, zullen zoveel mogelijk geassocieerd worden met ecosystemen of ecotopen.

Hiermee is echter nog niet in alle opzichten vastgelegd over welk ruimtelijk schaalniveau we spreken. Ook ecosysteemprocessen zijn werkbaar op heel

verschillende schaalniveaus. Als we de mate van veerkracht relateren aan de snelheid van de processen is er in principe een omgekeerd evenredig verband tussen veerkracht en schaalniveau. Hoe groter de verstoring, des te langer het duurt voordat de oorspronkelijke toestand weer bereikt wordt. Figuur 8 geeft hiervan een illustratie. Aangrijpingspunten voor beleid en beheer zijn enerzijds begrensd aan de onderkant van de schaal-as (het laagste schaalniveau is niet stuurbaar), anderzijds beperkt tot een zekere (in verhouding tot de meeste landschapsprocessen nogal korte) tijdschaal. Het is belangrijk om te realiseren dat de relatie van beleid en beheer enerzijds en veerkrachtige processen anderzijds niet een zuiver instrumentele is: er zijn processen die alleen toegelaten of (soms met grote inspanning) tegengehouden kunnen worden, andere die we kunnen stimuleren of sturen, en weer andere die er gewoon zijn mits het systeem er is.



Figuur 8 Verband tussen de snelheid van processen (en daarmee de veerkracht ervan) en de ruimtelijke schaal waarop ze spelen (naar Frisell et al., 1986).

4.3 Voorbeelden van veerkrachtige processen

Wij beperken ons tot het beschrijven van een tweetal aspecten, één abiotisch en één biotisch aspect. Het doel is slechts een indicatie te geven van de rol van veerkracht in een aantal fundamentele processen.

4.3.1 De morfologische dynamiek van kleine en grote rivieren

Figuur 8 is een illustratie van abiotische processen bij rivieren. We willen hiervan een aantal voorbeelden bespreken. We gaan daarbij van het schaalniveau van het rivierbed (de zgn. 'bedforms') naar dat van het riviertraject.

Herstel van 'bedforms'

De wijze waarop de bodem van een zandige rivier (klein of groot) reageert op een passerende vloedgolf is een voorbeeld van veerkracht: verstoring en terugkeer naar de oude situatie. Hierbij verandert het bodemoppervlak van ribbels naar duinen en

vervolgens – als de golf voorbij is – weer terug naar ribbels (Reineck & Singh, 1973). Dit kan geïnterpreteerd worden als een aanpassing aan de noodzaak om een verlaagde weerstand te hebben met het oog op het afvoeren van de vloedgolf (Wolfert, Staring Centrum mond. med.).

In kleine beken als de Hierdense Beek kunnen vergelijkbare processen waargenomen worden, waarbij door van plaats tot plaats wisselende stroomsnelheden verschillende bodemfracties (slib, fijn, grof zand en organisch materiaal) differentieel verplaatst worden. Hierbij lijkt op het eerste gezicht sprake te zijn van permanente verandering. Toch treden steeds weer - onderling vergelijkbare - ruststadia op die daarmee een voorspelbaar milieu voor de macrofauna vormen (Higler et al., 1993).

Zandbanken en meanders

In kleine rivieren kan gezien worden hoe bij een verhoogde afvoer in rivierbochten een profielaccentuering optreedt, waarbij de buitenbocht verder uitgesleten en steiler wordt, en op de binnenbocht zand wordt afgezet. Bij lagere afvoeren treedt tot op zekere hoogte het omgekeerde op, waardoor de oude vorm weer hersteld wordt. Hierbij 'wandelt' de beek of rivier in de loop der tijd zijwaarts. Dit is een vorm van morfologische veerkracht, waarvan aangenomen mag worden dat deze ook bijdraagt aan het herstel van het ecologisch functioneren van de rivier, voor bijvoorbeeld macrofauna en vissen.

Een bekend voorbeeld van morfologische veerkracht is het meanderen van beken en kleine rivieren. Dit is een natuurlijke neiging die optreedt bij bepaalde combinaties van verval, stroomsnelheid en waterafvoer. Het kanaliseren van dergelijke systemen kan in sommige gevallen door de natuurlijke 'meanderkracht' van de rivier weer ongedaan gemaakt worden, zodat de oevers aangetast worden. De meanders groeien veelal tot een lus, die vervolgens doorbreekt en daarmee tijdelijk rechtgetrokken wordt. Bezien op het niveau van de meanders is hier sprake van een veerkrachtig cyclisch proces. Bezien op het niveau van de rivier is er sprake van een dynamisch evenwicht omdat een situatie met meanders gehandhaafd blijft. Dit systeem is uitermate veerkrachtig in de zin dat het ondanks ingrepen en verstoringen (bv. ijssdammen) zijn oude vorm steeds weer weet te herstellen.

Delta's en stroomgordels

In piedmont zones en in delta's is het proces te zien van een rivier die voortdurend een ander stroombed zoekt binnen een zekere 'zoekruimte'. Dit is het gevolg van het feit dat de rivier zijn eigen bedding plus omgeving ophooft, daardoor boven de omgeving gaat stromen en uiteindelijk een lagere weg zoekt. Dit is, evenals het meanderen, een voorbeeld van een cyclische proces waarbij de essentiële eigenschappen van het systeem behouden blijven. Wellicht interessant is in dit verband een waarneming op de schaal van Nederland als delta van Wolfert (mond. med.; Staring Centrum, 1999). Hij meldt dat reeds in de zestiende eeuw kon worden geconstateerd dat de IJssel een rivier was die op zijn einde liep, door ophoging van het rivierbed en de uiterwaarden en dat de Waal 'de toekomst had'. Op een wat kleinere schaal zou het proces van 'stroombed wisselen' in principe kunnen plaatsvinden in de IJsselmonding, mits het daartoe de ruimte zou krijgen.

Zowel het meanderen als het bovenstaande proces zijn vormen van veerkracht die ruimte vragen. Het niet toestaan van die ruimte door bijvoorbeeld bedijkingen kan tot voorstelbare problemen leiden. Naast de bovengenoemde dramatische stroombedwijzigingen kunnen ook zogenaamde stroomgordels onderscheiden worden, waarbinnen de rivieren in de loop van de eeuwen van ligging veranderen. De oorzaken hiervan zijn een combinatie van het meanderen op zichzelf en de ophoging van de stroombedding. Op grond van historische analyses is het mogelijk aan te geven waar sprake is van een rivier die 'toe is' aan een andere bedding. Het is echter niet waarschijnlijk dat ergens in Nederland nog de ruimte gevonden kan worden om de rivier deze kans te bieden.

4.3.2 Populatiodynamische processen en biogeografie

Bij populatiodynamische processen en de daarmee samenhangende processen op het niveau van de levensgemeenschap en het landschap, zijn bij uitstek een aantal mechanismen aan te wijzen die veerkrachtig zijn. We zullen dit illustreren met zaken die spelen op het niveau van de lokale populatie, van populatienetwerken en van de biogeografie van levensgemeenschappen.

Groei van populaties

Het eenvoudigste en tevens meest gebruikt model voor de beschrijving van de dynamiek van populaties is de logistische groei. Hierbij is de groeisnelheid van de populatie $dN/dt = rN(1-K/N)$. Het eerste deel van de formule is te beschouwen als de intrinsieke, ongelimiteerde groei van de populatie. Het tweede deel zorgt voor een 'afremming' van de groei naarmate de populatie dichter bij K komt. Dit laatste wordt de zelflimiterende factor genoemd.

Deze formule heeft de eigenschap dat bij zeer lage waarden (de populatie is bijna uitgestorven) de groeisnelheid gelijk is aan r en dat deze afneemt tot 0 bij het bereiken van de draagkracht K . Als de populatie de waarde K heeft is er sprake van een globaal evenwicht zoals besproken in § 2.1. Dit is een prachtig voorbeeld van een veerkrachtig mechanisme. Nadat de populatie uit evenwicht is gebracht, keert hij altijd terug naar K . De snelheid van terugkeren is daarbij groter naarmate de populatie verder uit evenwicht is gebracht. Deze snelheid waarmee de populatie terugkeert naar evenwicht is evenredig met r . Ver uit evenwicht is deze $\approx r$, rondom het evenwicht (K) nadert hij naar 0. Kortom: dit systeem gedraagt zich vrijwel als een ideale (mechanische) veer.

De beide parameters r en K zijn in de loop van de tijd in de ecologische literatuur een eigen leven gaan leiden (o.a. May, 1974). Aan de hand ervan kan men namelijk onderscheid maken tussen soorten die een hoge groei- of voortplantingsnelheid hebben en daarom zeer snel kunnen reageren op veranderingen in hun omgeving en soorten die traag groeien en vooral rondom het evenwicht schommelen. De r -soorten kunnen positieve ontwikkelingen (verhoging van K) snel uitbuiten maar zullen verdwijnen als de omgeving in negatieve zin verandert. De K -soorten reageren

op allebei minder snel en kunnen daardoor korte-termijn-schommelingen negeren. Zij lopen aan de andere kant het gevaar door onvoldoende snelle aanpassing bij een serieuze verslechtering van de draagkracht hun bronnen uit te putten. In het algemeen worden r-soorten geassocieerd met dynamische, veranderlijke ('pionier')milieus en K-soorten met stabiele slechts weinig fluctuerende ('climax')situaties.

Om welke soorten gaat het hierbij? In het algemeen kan gesteld worden dat soorten met veel nakomelingen (en/of frequente reproductie) een hoge groeisnelheid kunnen behalen en daarmee een grote veerkracht (Pimm, 1991). Te denken valt aan veel kleine zangvogels (b.v. Winterkoning) en muis-achtigen. Kleine soorten vertonen in het algemeen een grotere groeisnelheid dan grote soorten, bijvoorbeeld indien men zoogdiersoorten onderling vergelijkt (Pimm, 1991).

Zowel de logistische groei als de stereotypen r- en K-soort zijn ongenueanceerd en vooral van belang voor het begrijpen van fundamentele mechanismen. Toch kunnen we uit bovenstaande iets afleiden voor beheer en beleid. Allereerst is het van belang om te constateren dat veerkrachtige soorten vermoedelijk veelal samengaan met veranderlijke (dynamische) milieus en andersom. Deze correlatie lijkt van belang als we kijken naar de maten van dynamiek van verschillende watersystemen. Kiezen of niet kiezen voor dynamiek betekent impliciet kiezen voor een bepaald type soorten.

De omgeving: concurrentie en predatie

We hebben laten zien dat de veerkracht van (op zichzelf staande) populaties waarschijnlijk in de eerste plaats bepaald wordt door de intrinsieke groeisnelheid van de soort. Maar elke soort heeft te maken met andere soorten, die hem bijvoorbeeld beconcurreren, parasiteren of prederen. Zowel concurrentie als predatie zijn factoren die de groei van populaties negatief beïnvloeden. Het lijkt daarom waarschijnlijk dat naarmate een soort meer interacties heeft in een levensgemeenschap, zijn inherente veerkracht sterker wordt teruggebracht. Dit komt overeen met het principe van May (1974), dat complexere systemen slechts onder stringentere voorwaarden stabiel kunnen zijn⁶. Als de algemene conclusie gecombineerd wordt met de indeling van Grime (1979) in Stress-tolerators, Competitors en Ruderals, kunnen we iets meer zeggen over de relatie tussen het type (planten)soort en de mate van veerkracht. Een hoge veerkracht mag verwacht worden bij Ruderals (die min of meer overeenkomen met r-soorten) en een minder hoge veerkracht bij Competitors. De laatste groep komt voor in productieve omgevingen, waar weinig storing optreedt. Zij hebben te maken met een zware concurrentie, hetgeen vermoedelijk – zoals we eerder zagen – ten koste gaat van hun veerkracht. Stress-tolerators hebben naar verwachting geen grote mate van veerkracht omdat hun groeisnelheid laag is, hetgeen een aanpassing is aan de geringe productiviteit van de omgeving.

⁶ Dat relatief eenvoudige systemen stabiliteit en veerkracht hebben, is fraai geïllustreerd door Ringelberg & Kersting (1978). Zij creëerden een systeem met bacteriën, algen en watervlooien. Hierin stelde zich een dynamisch evenwicht in, dat bij verstoringen steeds weer terugkeerde naar het zelfde evenwicht.

Een niveau hoger: de levensgemeenschap en het ecosysteem

Op grond van modelberekeningen is te verwachten dat ecosystemen met een geringer aantal trofieniveaus veerkrachtiger reageren op storingen dan systemen met een groter aantal trofieniveaus (langere voedselketens) (Pimm, 1991). Hiervoor is ook enige empirische ondersteuning aanwezig (Carpenter et al., 1992). Voor zover het soortenaantal van systemen medebepaald wordt door het aantal trofieniveaus, kan verwacht worden dat een soortenarmer systeem meer veerkracht bezit dan een soortenrijk systeem. Dit laatste lijkt ook een mondiale analogie te bezitten (o.a. Clapham, 1973).

In systemen waarin het aanbod van nutriënten in sterke mate beperkend is voor de primaire productie, is het goed voorstelbaar dat de veerkracht van de primaire producenten - en daardoor die van de consumenten - ook een afgeleide is van het nutriëntenaanbod. Hier is bij laag nutriëntenaanbod in feite sprake van stress aan de onderkant van de voedselketen. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat het vrijkomen van nutriënten niet slechts een autonoom proces is maar beïnvloed wordt door de aard van de vegetatie en andere systeemafhankelijke factoren. Denk hierbij aan het zogenaamde 'spiralling' van nutriënten op de oevers van beken door opname en bladval van planten (Higler, IBN-DLO, 1999, mond. med.).

Ruimtelijke aspecten: populatienetwerken en de soortensamenstelling van landschappen

Het functioneren van populaties in versnipperde landschappen heeft de laatste twee decennia grote belangstelling gehad van onderzoek en beleid. In toenemende mate staat hierin het concept van de metapopulatie centraal (Opdam, 1988; Verboom et al., 1991). In het kort komt dit neer op het volgende. Populaties in kleine leefgebieden lopen altijd een zekere kans uit te sterven tengevolge van externe of interne fluctuaties in bijvoorbeeld het weer of het voedselaanbod. De kans op uitsterven is sterk gerelateerd aan de grootte van de populatie, en in het algemeen ook aan de grootte van het leefgebied. Alleen van populaties die een voldoende omvang hebben kan verwacht worden dat zij gedurende lange tijd bestaan.

Het laatste is in het versnipperde West-Europese cultuurlandschap echter waarschijnlijk eerder uitzondering dan regel. Dat betekent dat afzonderlijke (kleine) populaties regelmatig uitsterven. Zou het daarbij blijven, dan zou de soortenrijkdom in het cultuurlandschap inmiddels bedroevend laag zijn, hetgeen op veel plaatsen het geval is. Waar dit echter niet zo is, is de persistentie van de betreffende soorten vermoedelijk te danken aan het feit dat leeggeraakte leefgebieden regelmatig opnieuw gekoloniseerd worden. Het uitsterven gebeurt niet overal tegelijk, het wordt bepaald door lokale (interne en externe) toevalsprocessen, in combinatie met de levensvatbaarheid van de populatie ter plaatse. Uitsterven en koloniseren zijn in principe onafhankelijke processen die elkaar - op het niveau van het landschap - in evenwicht kunnen houden. Mits voldaan wordt aan een aantal voorwaarden met betrekking tot uitwisselingsmogelijkheden, grootte van de deelpopulaties en geboorte/sterfte-verhoudingen, kunnen dergelijke systemen zeer persistent zijn (Verboom et al., 1991).

Als gevolg van bovenstaande processen kan dus een persistent ruimtelijk netwerk ontstaan van populaties die elk op zichzelf niet persistent zijn. Dit is een voorbeeld van het effect van compartimentatie (§ 3.5.2.) op het niveau van het landschap. Het is ook een goed voorbeeld van veerkracht op landschapniveau: het systeem (landschap) krijgt voortdurend klappen, reageert en vindt nieuwe toestanden, zonder de essentiële eigenschappen te verliezen. Die eigenschappen zijn in dit geval de aanwezigheid van de betreffende soorten en onder voorwaarden zelfs een redelijk constante dichtheid ervan. Zij kunnen soms zelfs persistenter zijn dan vergelijkbare systemen die bestaan uit eenzelfde totale oppervlakte aan habitat maar waarbij dit systeem een aaneengesloten geheel vormt.

Strikt genomen is het bovenstaande een proces op populatieniveau. Echter, als we leefgebieden van soorten voor het gemak gelijk stellen aan ecotopen (ruimtelijk begrensde ecosystemen), dan is duidelijk dat we het hier in veel gevallen hebben over de persistentie van stelsels van ecotopen, kortom landschappen⁷. Hiermee zijn we op het hoogste aggregatieniveau aan beland. De soortensamenstelling van landschappen is immers een wezenlijk kenmerk ervan. Het is aannemelijk – hoewel niet aangetoond – dat het metapopulatie-concept van toepassing is op een aanzienlijk deel van de soorten die tezamen de biotische component van landschappen vormen.

Dit mechanisme is een van de momenteel best onderzochte vormen van veerkracht op (boven-) systeemniveau. Het biedt ook hele duidelijke aangrijpingspunten voor beleid en beheer. De ruimtelijke configuratie van leefgebieden of ecotopen is hierbij de belangrijkste sturingsfactor.

Soortensamenstelling van geïsoleerde systemen

Voorafgaand aan het huidige onderzoek aan metapopulaties, is er in de theoretische literatuur een tijd hevige belangstelling geweest voor de zogenaamde 'eilandentheorie'. Het daarmee samenhangende concept van 'ecologische infrastructuur' is nog steeds, zij het ten dele onder andere namen, een belangrijk thema in onderzoek en beleid. De essentie van de theorie van MacArthur & Wilson (1967) gaat ook uit van een veerkrachtig model, dat is gebaseerd op de processen immigratie en extinctie van soorten op echte of habitat-eilanden. Hierbij stelt zich een dynamisch evenwicht in tussen deze processen. Het niveau waarop het evenwicht zich instelt hangt af van de factoren die de immigratie en extinctie bepalen. Op echte eilanden zouden deze kunnen worden benaderd door de afstand (isolatie) en de oppervlakte van het eiland. Bij verstoringen stelt zich op veerkrachtige wijze een nieuw evenwicht in. Er is veel te zeggen en al reeds gezegd over deze theorie (o.a. Gilbert, 1983; Dekker & Knaapen, 1986). Hier willen we volstaan met de constatering dat de essentie achter de theorie nog steeds hout snijdt en zeker aangrijpingspunten kan bieden voor de operationalisatie van het begrip veerkracht.

⁷ Dit hangt echter af van de actieradius van de soort en van de ruimtelijke schaal waarop we ecotopen willen begrenzen.

5 Enkele implicaties voor beleid en beheer

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt op basis de bevindingen uit de hoofdstukken 2, 3 en 4 geprobeerd te komen tot enkele algemene aanbevelingen.

In hoofdstuk 3 is veerkracht vooral verkend in relatie tot het aggregatieniveau van de levensgemeenschap of het ecosysteem. Dit hangt samen met het feit dat het meeste theoretische werk op het gebied van veerkracht op dit niveau is verricht. De besproken literatuur is grotendeels theoretisch van aard en de aangetroffen empirische onderbouwing heeft betrekking op allerlei uiteenlopende levensgemeenschappen en systemen. Hieruit zijn nog nauwelijks specifieke conclusies over zoete en brakke wateren afgeleid. Op grond hiervan zijn daarom slechts vrij algemene uitspraken te doen over beheer en beleid.

In hoofdstuk 4 zijn een tweetal ecologische thema's besproken, die echter geen van beide uitputtend behandeld zijn. Daarom is het binnen het bestek van deze studie slechts mogelijk een korte opsomming te geven van de implicaties voor beheer en beleid, voor zover die uit het besprokene zijn af te leiden. Daarbij dient in acht genomen te worden dat een groot aantal aspecten of aandachtsvelden in het geheel niet besproken zijn. Denk aan milieuaspecten, nutriëntenhuishouding, de invloed van hydro- en morfodynamiek op vegetatie en fauna, enz.

Wel zijn hieruit een aantal punten naar voren gekomen die in algemene zin van belang zijn voor het beheer en beleid.

5.2 Schaal in ruimte en tijd, specificatie en begrenzing van het systeem

De Vierde Nota Waterhuishouding heeft als doelstelling: het hebben van een veilig en bewoonbaar land en het instandhouden en versterken van gezonde en veerkrachtige watersystemen, waarmee een duurzaam gebruik blijft gegarandeerd. Veerkracht wordt dus gezien als een eigenschap van de natuur (de watersystemen) die bijdraagt aan (duurzame) gebruiksmogelijkheden. Alvorens de vraag beantwoord kan worden of, en zo ja onder welke omstandigheden, (delen van) de watersystemen deze bijdrage kunnen leveren, is een specificatie en begrenzing nodig van:

- De watersystemen, beschreven als ecosystemen, levensgemeenschappen of ecotopen.
- Het gebruik: in termen van ingrepen en invloeden op de watersystemen.

5.2.1 De systemen

Alle besproken ecologische aspecten vragen specificatie van aggregatieniveau, ruimte- en tijdschalen:

- Hebben we het over organismen, populaties, levensgemeenschappen of systemen?
- Over welk ruimtelijk systeem (ecotoop) hebben we het? Wat bepaalt de grenzen?
- Over welke periode wordt het systeem onderzocht, gebruikt of beheerd en binnen welke tijdsperiode is er sprake van herstel?
- Inhoudelijke, ecologische specificatie: welke systemen worden onderscheiden; wanneer wordt een (eco)systeem als ongewijzigd beschouwd: bij dezelfde soortensamenstelling of structureigenschappen, bij gelijkblijvend functioneren maar gewijzigde samenstelling?
- Idem, met betrekking tot invloeden en verstoring: welke factoren zijn extern, welke intern? Welke mate van externe dynamiek behoort bij het systeem, wat zijn verstoringen?

Bovenstaande gaat impliciet uit van het constant houden van ecosystemen of hun kenmerken. Gelijk blijven en herstel op zichzelf zijn echter niet altijd en alleen positief te beoordelen. Natuurlijke successie verandert ecosystemen immers ook zowel naar structuur, samenstelling als functioneren zonder dat dit enig probleem behoeft op te leveren. Integendeel, die ontwikkeling kan vaak gewenst worden. Meer algemeen geldt dat niet elke verandering een verslechtering is, en veerkracht kan veranderingen in de weg staan.

Suggestie: In een vervolgstudie zou op basis van de bestaande ecotopenstelsels voor zoete wateren (Wolfert, 1996) een verkenning kunnen worden gedaan naar de kenmerkende interne eigenschappen, de externe bepalende factoren en de relatie tussen beide, voor een aantal ecotopen van verschillende aard. Vervolgens zou kunnen worden nagegaan in hoeverre hierbij sprake is van veerkrachtige processen: welke dit zijn en binnen welke randvoorwaarden (externe condities) deze veerkracht kan functioneren.

5.2.2 Het ruimtegebruik

De veerkracht van ecosystemen is grotendeels het gevolg van processen die zich afspelen op een aggregatieniveau onder dat van het systeem. Denk aan groeiprocessen, soort-soortinteracties en bodemchemische processen. Wil men zicht krijgen op de wijze waarop het ruimtegebruik de veerkracht van systemen beïnvloedt, dan zal men ook aan de kant van het ruimtegebruik moeten afdalen tot dit niveau. Dat betekent het in kaart brengen van de aangrijpingspunten en functionele invloeden van de mens-natuurinteractie. Ook hierbij dienen uiteraard de schaalbegrenzings in ruimte en tijd in acht genomen te worden.

Suggestie: In een vervolgstudie zou, op basis van de belangrijkste vormen van ruimtegebruik in de zoete en brakke wateren, een set van elementaire ingrepen of invloeden gedefinieerd kunnen worden. Deze set zou

geconfronteerd moeten worden met de bovengenoemde veerkrachtige processen in verschillende ecotopen (§ 5.2.2). Op grond hiervan kan een eerste opzet gemaakt worden voor een compatibiliteit-matrix van ecotopen en functies. Een dergelijke tabel geeft zicht op de vraag welke ecotopen op grond van hun veerkracht goed verenigbaar zijn met (of zelfs gesteund worden door) welke functies en welke combinaties elkaar juist niet verdragen.

5.3 Algemene aandachtspunten

Spatio-temporele variatie is een kernthema voor het begrijpen van persistente maar inherent niet-stabiele ecosystemen. Juist - maar niet alleen - in dit verband kan verwacht worden dat veerkracht als mechanisme een belangrijke rol speelt in het voortbestaan van systemen.

Hoewel dit geen basis is voor concrete beheersadviezen, lijkt het aanbevelenswaardig aandacht te besteden aan de aanwezigheid van voldoende ruimte en ruimtelijke variatie in de uitgangssituatie (m.n. wat abiotiek betreft) van (natuur)gebieden, alsmede de variatie van de belangrijkste externe factoren - waaronder beheer - in de tijd een kans te geven. Beide impliceren een voldoende oppervlakte van de systemen in kwestie. Waarschijnlijk geldt hier: hoe groter, hoe beter.

Met betrekking tot populatiedynamische processen is daarnaast gewezen op het mogelijke belang van gedeeltelijke compartimentatie of milieuheterogeniteit voor de persistentie van populaties en soort-soortrelaties. Hierbij doen zich keuzemogelijkheden voor tussen enerzijds grotere geïsoleerde en eventueel gebufferde systemen die hun kwaliteit aan de omgevingsstabiliteit danken, en anderzijds kleinere, niet-geïsoleerde systemen die kwetsbaar zijn voor uitwendige invloeden maar dankzij de risicospreiding in ruimte en tijd blijven voortbestaan. Dit principe kan onder andere toegepast worden op populaties van planten- en diersoorten, op overstromingsgevoelige stagnante wateren en rivierduinen.

Ook indien stabiliteit van ecosystemen verondersteld en nagestreefd wordt, mag men aannemen dat de betreffende evenwichten - althans voor een groot deel - van dynamisch aard zijn. Dat wil zeggen dat er een evenwicht is van processen (energie- en materiestromen, in zowel fysisch-chemisch als biologisch processen), niet zozeer van krachten. Deze processen zijn slechts ten dele van interne aard. Ecosystemen zijn altijd min of meer open systemen, met een externe input en output.

Schaalniveaus kunnen verschillen in dynamiek: stabiliteit op het niveau van het systeem impliceert geen stabiliteit op de lagere aggregatieniveaus (de levensgemeenschap of de populatie), maar kan daar wel mee samengaan (O'Neill, 1976; DeAngelis, 1980). Doelen en aangrijpingsniveau dienen dus afgestemd te worden.

De reactie van ecosystemen en landschappen op externe veranderingen zal bijna altijd een combinatie zijn van abiotische en biotische processen en toestands-

variabelen, systeemcomponenten, vaak in interactie met elkaar. Het verdient aanbeveling na te gaan wat de dominante processen zijn en op welke tijd-ruimteschaal deze spelen.

Veel van wat als systeemkenmerken beschouwd wordt, kan verklaard worden op het niveau van de samenstellende componenten (bodem, water, soorten). De levensduur van de samenstellende organismen (maar ook abiotische componenten, d.a. rivierduinen) en hun reactietijd verklaren veelal voor een groot deel de dynamiek van het systeem. Het lijkt daarom van groot belang dit goed in de gaten te houden. Zo zou bij de analyse van systemen en hun veerkracht gelet kunnen worden op:

- de levensduur en reactietijd van de belangrijkste (sleutel)soorten en de systeembepalende abiotische componenten;
- idem van de soorten met de langste levensduur en reactietijd;
- idem van de soorten met de kortste levensduur en reactietijd.

Dit kunnen belangrijke verklaringsbronnen zijn voor de dynamiek en veerkracht van systemen en daarmee tevens aangrijpingspunten voor het beleid en het beheer. Zo kan een ogenschijnlijke stabiliteit van bossen het gevolg zijn van de langlevendheid van de dominante boomsoorten. Er kan bijvoorbeeld sprake zijn van een serieuze verstoring van de bodem, die niet direct zichtbaar is doordat de bomen (door bladval, lichtfiltering e.d.) nog steeds veel invloed op de bodem en bodemflora hebben. Als verjonging van de bomen uitblijft en de oude exemplaren sterven, wordt de reactie van het systeem goed zichtbaar. Dan is het wellicht te laat voor maatregelen.

5.4 Veerkracht in relatie tot duurzaamheid, diversiteit en natuurlijkheid

Tot slot willen we het begrip veerkracht als aankomend beleidsconcept eens naast een aantal verwante begrippen zetten die meer zijn ingeburgerd. Heeft veerkracht iets nieuws te bieden, en zo ja, wat? Kan veerkracht een aanvullende of zelfs een overkoepelende rol vervullen?

Duurzaamheid is een concept waarmee veerkracht zich goed laat verenigen. We zijn daar in § 3.6 al op ingegaan. Waar duurzaamheid een doelbewuste wijze van omgaan met de natuur vertegenwoordigt, die het voortbestaan van vormen van biodiversiteit mogelijk maakt, kan veerkracht gezien worden als een van de strategieën die de natuur zelf hanteert om zijn eigen voortbestaan te verzekeren. Het is wellicht ook een strategie die beïnvloeding en verstoring van buiten als een gegeven beschouwt en wellicht zelfs 'verwelkomt' (in het geval van sommige systemen die permanent buiten evenwicht zijn).

Diversiteit wordt in de wetenschappelijke literatuur meestal opgevat als de soortenrijkdom, betrokken op een ruimtelijk te begrenzen eenheid of een abstractie daarvan (ecosysteem). Daarbij gaat, evenals in het Nederlandse natuurbeleid, veel aandacht uit naar zeldzame soorten. De gedachte hierachter is, dat het voorkomen van het uitsterven van (zeldzame) soorten de meest efficiënte wijze is om de

soortenrijkdom op nationaal niveau te beschermen. Veerkracht heeft op het eerste gezicht geen duidelijke relatie met deze vormen van biodiversiteit. We hebben in § 4.2.2 gezien dat als soorten geselecteerd worden op hun veerkracht, de meest zeldzame soorten daar waarschijnlijk niet bijzitten. Zoals in § 3.4 is besproken is er op theoretische gronden ook geen eenduidig verband tussen de diversiteit en stabiliteit van ecosystemen. Voor zover veerkracht bijdraagt aan stabiliteit is dit dus niet duidelijk. Ook empirisch is, voor zover wij kunnen nagaan, geen algemeen verband gevonden tussen veerkracht en diversiteit. Dat neemt echter niet weg dat veerkracht een strategie is waarmee systemen, met name in een dynamische omgeving, een mate van diversiteit kunnen handhaven die zonder de veerkracht waarschijnlijk veel lager zou zijn. Kortom, daar waar de omstandigheden niet zodanig zijn dat een maximale diversiteit kan worden gerealiseerd, kan veerkracht wel in belangrijke mate bijdragen aan een onder de omstandigheden optimale diversiteit.

Natuurlijkheid is wellicht de meest voor de hand liggende graadmeter voor de beoordeling van natuur. Het is de basis voor de hoofdindeling in natuurdoeltypen (Bal et al., 1995). Het grote bezwaar tegen het gebruik van dit begrip in de Nederlandse context is uiteraard dat natuurlijke natuur niet of nauwelijks meer voorkomt en in de meeste situaties ook niet gewenst is, gezien het meervoudig ruimtegebruik. De vraag of er een verband is tussen natuurlijkheid en veerkracht kan niet eenduidig beantwoord worden. Onder de meer natuurlijke (d.w.z. minder antropogeen beïnvloede) systemen bevinden zich zowel systemen die onder zeer dynamische omstandigheden voorkomen (uiterwaarden) als systemen die uiterst weinig dynamiek kennen (hooggelegen oude bossen). Wel kan men vermoeden dat systemen die voorkomen bij een relatief hoge gebruiksdynamiek een hoge veerkracht aan de dag leggen.

Ten opzichte van de besproken begrippen kan veerkracht zeker niet als een koepelbegrip gezien worden. Daarvoor zijn de relaties met deze begrippen te onduidelijk en te variabel. Het heeft echter wel een nieuw aspect in zich, dat kan worden aangeduid als: aandacht voor de ontplooiingsmogelijkheden van de natuur in een situatie waar mensen de dienst uitmaken. Het is een realistischer beleidsdoel dan natuurlijkheid of diversiteit per se, omdat het niet uitgaat van ecosystemen als autonome, optimaal ontwikkelde stukken natuur. Het bestaan van externe invloeden en verstoringen is hierbij een gegeven en - onder voorwaarden - zelfs een bron van diversiteit.

6 Conclusies

6.1 Het belang van veerkracht voor de natuur

We hebben laten zien dat veerkracht een uiterst belangrijke categorie van mechanismen is waar een aanzienlijk deel van de ons omgevende abiotische en biodiversiteit zijn voortbestaan aan te danken heeft. Het speelt een rol bij een groot aantal processen in wateren, vooral in rivieren. Wij zijn in dit rapport niet toegekomen aan de systematische verkenning van alle relevante processen in alle typen van zoete en brakke wateren. Dit zou een studie op zichzelf zijn, die ons inziens heel nuttig zou zijn.

Wat de biotische kanten van biodiversiteit betreft, hebben we enerzijds geconstateerd dat sommige van de meest fundamentele processen in de natuur – namelijk die te maken hebben met de groei van populaties – in essentie veerkrachtig zijn. De mate waarin dat het geval is verschilt per soort en wordt mede bepaald door zijn omgeving. Wat betreft het belang van veerkracht voor levensgemeenschappen en ecosystemen bestaat er een grote hoeveelheid literatuur die impliciet of expliciet, op theoretische maar ook empirische gronden, aangeeft dat veerkracht één van de belangrijkste mechanismen is in de systeemdynamica van de levende natuur. Er kan ons inziens geconcludeerd worden dat een verscheidenheid aan systemen zijn voortbestaan dankt aan veerkrachtige processen. Met name in dynamische milieus lijkt veerkracht het mechanisme bij uitstek waarmee de onder dergelijke omstandigheden aanwezige kansen voor soorten en systemen kunnen worden gerealiseerd.

6.2 Ecologische veerkracht uit oogpunt van natuurbehoud

‘There is no shortcut to ecological understanding’ (Odum, 1983).

‘All we can say about everything is about nothing’ (Boulding, 1965).

Bovenstaande citaten spreken voor zichzelf: de natuur is complex, er zijn evenveel uitzonderingen als regels en ideale voorbeelden zijn er niet. Zoals bij herhaling gesteld, is veerkracht slechts één eigenschap van natuurlijke systemen (naast bijvoorbeeld buffering en weerstand), die stabiliteit of persistentie tot op zekere hoogte bevordert. Bovendien is het bewaren van de status-quo niet per definitie het hoogste goed. Ook is het duidelijk dat waardeoordelen over veerkracht afhankelijk zijn van de doelstellingen die de gebruikswaarde en andere waarden van ecosystemen of landschappen, bepalen. Daarvan is de natuurwaarde, en in engere zin de biodiversiteitswaarde van ecosystemen en landschappen een belangrijk criterium. De vraag is, in hoeverre veerkracht als eigenschap (mechanisme) of als strategie kan meehelpen die doelen te realiseren. Deze kan in zoverre positief beantwoord worden, dat er voldoende veerkrachtige mechanismen in de natuur voorhanden zijn, waarbij kan worden aangesloten.

Er zijn geen à priori redenen om aan te nemen dat veerkracht leidt tot een hoge mate van biodiversiteit. Ook het omgekeerde kan niet gesteld worden. Veerkracht gaat samen met een bepaald soort biodiversiteit, vermoedelijk soorten en systemen die zijn aangepast aan een relatief hoge maar niet extreme milieudynamiek. Het hangt daarnaast van de interne systeemkenmerken en externe factoren af, in welke mate veerkracht bijdraagt aan het bestaan of ontwikkelen van meer of minder bio-diverse systemen. Uit de besproken veerkrachtige processen is ook naar voren gekomen dat, als veerkracht het enige of belangrijkste criterium zou zijn voor het beheer en de ontwikkeling van natuurwaarden in zoete en brakke wateren, een eenzijdige natuur het gevolg zou kunnen zijn. Het risico is dan groot, dat we enkel soorten bevorderen die tot de groep van r-soorten, ruderales, ephemere of met dynamische situaties geassocieerde soorten behoren. Dit kan en zal echter niet de bedoeling zijn.

Hoe een op veerkracht gebaseerde strategie beoordeeld moet worden, gezien vanuit de andere ecologische functies van zoete en brakke wateren (zelfreinigend vermogen, biomassa-productie en opvang en vastlegging van sediment), is in het kader van deze studie niet verkend.

Wellicht het meest interessante aspect is veerkracht in relatie tot ruimtelijke aspecten, zoals metapopulatieprocessen. Hier doen zich keuzemogelijkheden voor tussen alternatieve toestanden en daarmee samenhangende beleidsopties.

Tot slot moet geconstateerd worden dat overal waar in het beheer gebruik gemaakt wordt van het vermogen van de natuur tot natuurlijke of secundaire successie, gewerkt wordt met veerkracht. Deze constatering zal op zichzelf niet tot een ander beheer leiden, maar is wellicht wel beleidsmatig van belang.

Literatuur

- Baan, P.J.A., C.H. Hulsbergen & M. Marchand, 1997. Veerkracht van de kust: ontwikkeling en operationalisering van een 'veerkrachtmeter'. i.o.v. RIKZ, Waterloopkundig Laboratorium, Delft - 134 p.
- Bennet, R.J. & R.J. Chorley, 1978. Environmental systems; philosophy, analysis and control. Methuen and Co. London - 624 p.
- Bertalanffy, L. von, 1968. Zu einer allgemeiner Systemlehre; Eng. Transl: an outline of General Systems Theory. New York, Braziller
- Boulding, K.E., 1965. General systems theory: the skeletons of science. General Systems, Vol 1.
- Breure, A.M., H. Eijsackers, J.A Klijn, B.J.E. ten Brink, H.F. van Dobben & W.B. Harms, 1996. Wat en hoe met biodiversiteit : opgesteld ten behoeve van de onderbouwing van het beleidsstandpunt N59 'Omgevingskwaliteit voor biodiversiteit'. RIVM Bilthoven - 71 p.
- Brundtland, G.H. (ed.: World Commission on Environment and Development), 1987. Our common future. Oxford University Press, Oxford - 383 p.
- Carpenter, S.R & K. L. Cottingham. 1997. Resilience and restoration of lakes. Conservation Ecology [online]1(1): 2. Available from the Internet. URL: <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art2>.
- Carpenter, S.R., B. O. Jansson, D. Ludwig, J. Pastor, G. Peterson, & B. Walker, 1996. A comparative analysis of total system resilience. Notes from the Beijer Institute Resilience Network Planning Workshop April 10-16
- Carpenter, S.R., C.E. Kraft, R. Wright, X. He & P.A. Hodgson Jr, 1992. Resilience and resistance of a lake phosphorous cycle before and after food web manipulation. Am. Nat. 140: 781-789
- Caswell, H., 1982. Life history theory and the equilibrium status of populations. Am. Nat. 118: 372-383
- Chorley, R.J. & B.A. Kennedy, 1971. Physical geography. A systems approach. Prentice Hall, London - 370 p.
- Clapham W.B., 1973. Natural ecosystems. MacMillan, New York.
- Crowley, P., 1981. Dispersal and the stability of predator-prey interactions. Am. Nat. 118: 673-701
- DeAngelis, D.L., 1980. Energy flow, nutrient cycling and ecosystem resilience. Ecology 61: 764-771
- Dekker, J.N.M. & J.P. Knaapen. 1986. Dynamiek in de ecologische infrastructuur; over de politieke carrière van ecologische concepten. Landschap 4: 282-291
- Dobben, W.H. van & R.H. Lowe-McConnel (eds), 1975. Unifying concepts in ecology. Junk bv publishers The Hague/Pudoc Wageningen. The Hague, Wageningen - 302 p.
- Donk, E. van, 1983. Factors influencing phytoplankton growth and succession in Lake Maarsseveen. Thesis, Univ. van Amsterdam
- Fresco, L.O. & S.B. Kroonenberg, 1993. Time and scale in ecological sustainability. Land Use Policy 9: 155-168

- Frisell, C.A., W.J. Liss, C.E. Warren & M.D. Hurlley, 1986. A hierarchical framework for streams in a watershed context. *Env. Management*. 10, (2): 199-214
- Grime, J.P., 1979. *Plant Strategies and vegetation processes*. J. Wiley and Sons, 222 p.
- Harms, W.B. & P.J.A.M. Smeets, 1988. Dissipatieve structuren: theorie en implicatie voor de landschapsecologie. *Landschap* 2(1): 44-55
- Higler, L.W.G., N. Dankers, H.G.J.M. Koop & P.F.M. Opdam, 1993. Sustainability of ecosystems in north-west Europe. KNAW, Amsterdam - 41 p.
- Holling, C. S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Ann. Rev. Ecol. Systematics* 4: 1-23
- Horn, H.S., 1976. Succession. In: R.M. May (ed), 1976. *Theoretical ecology*. Saunders, Philadelphia: 187-190
- Huisman, P., W. Cramer & G. van Ee, 1998. *Water in the Netherlands*. Netherlands Hydrological Society (NHV-special ; 3), Delft - 186 p.
- Huston, M., 1979. A general hypothesis of species diversity. *Am. Nat.* 113: 137-146
- Hutchinson, G.E., 1961. The paradox of the plankton. *Am. Nat.* 95: 137-146
- Ives, A.R. 1995. Measuring resilience in stochastic systems. *Ecol Monographs* 65: 217-233.
- Klijn, J.A. 1987. Diversiteit en stabiliteit van landschappelijke ecosystemen: een handvol paradoxen? *Landschap* 1(4): 107-122
- Klijn, J.A., 1995. Hierarchical concepts in landscape and its underlying disciplines: the unbearable lightness of a theory? Wageningen: DLO-Staring Centrum. - 144 p.
- Klijn, J.A., 1996. Geïntegreerd onderzoek; mogelijkheden en moeilijkheden. In: SC-DLO, 1996. *Geïntegreerd onderzoek in het landelijk gebied; voordrachten*.
- Kramer, N.J.T.A. & J. de Smit, 1982. *Systeemdenken: inleiding tot de begrippen en concepten*. Stenfert Kroese. Leiden - 3e dr., 157 p.
- Kwa, C.L., 1987. Stabiliteit als metafoer. *Landschap* 1(4): 19-29
- Kwa, C.L. & J. Ringelberg, 1984. *Algemene ecologische begrippen en hun relaties met ecologisch beheer van oppervlaktewater. Een literatuurverkenning in opdracht van het Min. van VROM ten behoeve van de Commissie Ecologische Normen Waterbeheer*. Univ. van Amsterdam - 87 p.
- Levins, R., 1979. Coexistence in a variable environment. *Am. Nat.* 114: 765-783
- Ludwig, D., B. Walker & C. S. Holling, 1997. Sustainability, stability, and resilience. *Conservation Ecology* [online]1(1): 7. Available from the Internet. URL: <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art7>
- Ludwig, D., D. Jones & C. S. Holling, 1978. Qualitative analysis of insect outbreak systems: the spruce budworm and the forest. *J. Anim. Ecol.* 47: 315-332
- Maarel, E. van der & P.L. Dauvelier, 1978. *Naar een globaal ecologische model voor de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland*. 2 dln. Staatsuitgeverij, Den Haag - 314 p. / 166 p.
- Maarel, E. van der. 1993. Some remarks on disturbance and its relations to diversity and stability. *J. Veg. Sci.* 4: 733-736
- MacArthur, R. & E.O. Wilson, 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton Univ. press. Princeton New Jersey
- Marchand, M. & P.J.A. Baan, 1999. *Veerkrachtbepalende processen van estuaria en kustwatersystemen*. Referentierapport voor een veerkrachtiger beheer van de

- Nederlandse estuaria en kustwatersystemen. i.o.v. RIKZ, Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
- Margalef, R., 1968. *Perspectives in ecological theory*. The Univ. of Chicago Press, Chicago - 111 p.
- May, R.M. 1974a. *Stability and complexity in model ecosystems*. Second edition. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA
- May, R.M., 1975. *Stability in ecosystems: some comments*. In: Dobben, W.H. & R.H. Lowe-McConnel (eds), 1975. *Unifying concepts in ecology*. Junk bv publishers The Hague/Pudoc Wageningen. The Hague, Wageningen: 161-168
- Odum, E. P., 1993. *Ecology and our endangered life support systems*. Second edition. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA
- Odum, H.T., 1983. *Systems ecology. An introduction*. John Wiley and Sons - 644 p.
- O'Neill, R.V., 1976. *Ecosystem persistence and heterotrophic regulation*. *Ecology* 57: 1244-1253
- O'Neill, R.V., D.L. DeAngelis, J.B. Waide & T.F.H. Allen. 1986. *A hierarchical concept of ecosystems*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Opdam, P., 1988. *Populations in fragmented landscapes*. In: Schreiber, K.F. (ed.), *Connectivity in landscape ecology*. Proc. 2nd Int. Ass. Landscape Ecol., Münstersche Geografischen Arbeiten 29, Münster: 75-77
- Pimm, S. L. 1984. *The complexity and stability of ecosystems*. *Nature* 307: 321-326
- Pimm, S. L. 1991. *The balance of nature?* University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA
- Powell, Th. M., 1989. *Physical and biological scales of variability in lakes, estuaries and the coastal ocean*. Ch. 11. In Roughgarden et al., 1989: 157-176
- Prigogine, I. & I. Stengers, 1979. *Order out of chaos: man's new dialogue with nature*. Fontana Paperbacks, London. 349 p.
- Reineck, H.E. & I.B. Singh 1973. *Depositional sedimentary environments: with reference to terrigenous clastics*. Springer-Verlag, New York - 439 p.
- Ringelberg, J. & K. Kersting, 1978. *Properties of an aquatic microecosystem: I. General introduction to the prototypes*. *Arch. Hydrobiol.* 83: 47-68
- Risser, P.G., 1987. *Landscape ecology; the state of art*. In M.G. Turner 1987 (ed.): p. 1-14.
- Roughgarden, J., R.M. May & S. Levin, 1989. *Perspectives in ecological theory*. Princeton Univ. Pres, New Jersey - 394 p.
- Scheffer, M., 1990. *Simple models as useful tools for ecologists*. Thesis Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht - 119 p.
- Scheffer, M., S. H. Hopper, M.-L. Meijer, B. Moss & E. Jeppesen. 1993. *Alternative equilibria in shallow lakes*. *TREE* 8(8): 275-279
- Schindler, D.W. 1998. *Sustaining aquatic ecosystems in boreal regions*. *Conservation ecology* [online] 2(2): 18. Available from the Internet. URL: <http://www.consecol.org/vol2/iss2/art18>
- Tansley, A.G., 1935. *The use and abuse of vegetational concepts and terms*. *Ecology* 16: 284-306
- Turner, M.G., 1987. *Landscape heterogeneity and disturbance*. *Ecological Studies* 64, Springer-Verlag - 239 p.

- Turner, M.G., W.H. Romme, R.H. Gardner, R.V. O'Neill & T.K. Kratz, 1993. A revised concept of landscape equilibrium: Disturbance and stability on scaled landscapes. *Landscape Ecol.* 8 (3): 213-227
- Verboom, J., K. Lankester & J.A. Metz, 1991. Linking micro and macro levels in stochastic metapopulation models. *Biol. J. Linn. Soc.* 42: 39-55
- Wali, M.K., 1992. *Ecosystem rehabilitation: probable to sustainable development.* The Hague, SPB
- White, P.S. & S.T.A. Picket, 1985. Natural disturbance and Patch dynamics: an introduction. Picket and White (eds.), 1986.
- WLO-Werkgroep Integraal Waterbeheer, 1991. *Water in balans.* Pudoc, Wageningen - 120 p.
- Wolfert, H.P., 1996. *Rijkswateren - ecotopen - stelsels : uitgangspunten en plan van aanpak.* RIZA, Lelystad - 36 p.
- Zonneveld, I.S. & R.T.T Forman (eds.), 19xx . *Changing landscapes; an ecological perspective.* Springer-Verlag - 286 p.
- Zonneveld, I.S., 1989. Theorieën en concepten; een tussentijdse balans. *Landschap* (1): 65-77