

Begrippen rondom onzekerheid



Begrippen rondom onzekerheid

Marjolein J.P. Mens⁽¹⁾
Jan H. Kwakkel⁽²⁾
Arie de Jong⁽³⁾
Wil A.H. Thissen⁽²⁾
Jeroen P. van der Sluijs⁽³⁾



Universiteit Utrecht

⁽¹⁾ Deltares, Inland Water Systems

⁽²⁾ Delft University of Technology, Faculty of Technology, Policy and Management

⁽³⁾ University Utrecht, Department of Innovation and Environmental Sciences

KvK rapportnummer

049/2012

Dit rapport is geschreven in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (www.kennisvoorklimaat.nl). Dit onderzoeksprogramma wordt medegefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Copyright © 2012

Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (KvK). Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, in geautomatiseerde bestanden opgeslagen en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. In overeenstemming met artikel 15a van het Nederlandse auteursrecht is het toegestaan delen van deze publicatie te citeren, daarbij gebruik makend van een duidelijke referentie naar deze publicatie.

Aansprakelijkheid

Hoewel uiterste zorg is besteed aan de inhoud van deze publicatie aanvaarden de Stichting Kennis voor Klimaat, de leden van deze organisatie, de auteurs van deze publicatie en hun organisaties, noch de samenstellers enige aansprakelijkheid voor onvolledigheid, onjuistheid of de gevolgen daarvan. Gebruik van de inhoud van deze publicatie is voor de verantwoordelijkheid van de gebruiker.



Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Achtergrond.....	7
2.1	Een raamwerk voor systeemanalyse	7
2.2	Onzekerheid.....	9
2.3	Een nieuw paradigma voor het omgaan met onzekerheid	12
2.4	Invloed van tijd	13
3	Belangrijkste concepten	15
3.1	Adaptieve beleidsvorming (UK: adaptive policymaking).....	15
3.2	Flexibiliteit (UK: Flexibility)	16
3.3	Veerkracht (UK: Resilience)	17
3.4	Robuustheid (UK: Robustness)	18
3.5	Scenario (UK: Scenario).....	20
4	Begrippenlijst.....	23
4.1	Adaptatie (UK: Adaptation)	23
4.2	Adaptatiepad (UK: Adaptation pathway)	23
4.3	Adaptief beheer (UK: Adaptive management)	23
4.4	Adaptief vermogen (UK: Adaptive capacity).....	23
4.5	Adaptieve beleidsvorming (UK: Adaptive policymaking).....	24
4.6	Beleidsknippunt (UK: Policy tipping point)	24
4.7	Diepe onzekerheid (UK: Deep uncertainty).....	24
4.8	Doelbereikindicator (UK: Signpost).....	24
4.9	Drempelwaarde (UK: threshold value)	25
4.10	Flexibiliteit (UK: Flexibility)	25
4.11	Kwetsbaarheid (UK: Vulnerability).....	25
4.12	Robuustheid (UK: Robustness)	26
4.13	Scenario (UK: scenario).....	26
4.14	Strategie (UK: Strategy)	26
4.15	Onzekerheid (UK: Uncertainty).....	26
4.16	Veerkracht (UK: Resilience)	26
4.17	Weerstand (UK: Resistance)	27
5	Referenties (UK):.....	29



1 Inleiding

Dit document geeft een overzicht van de belangrijkste concepten op het gebied van onzekerheid. Het uitgangspunt hierbij is het belang van deze concepten voor werkpakket 5 van het Kennis voor Klimaat consortium 'climate-proof fresh water supply' (Thema 2). Voor veel van deze concepten worden verschillende en soms tegenstrijdige definities gegeven in de literatuur. In dit document ligt de nadruk op slechts een aantal van deze concepten, welke worden besproken in H3. Een uitgebreidere begrippenlijst met definities uit de literatuur volgt in H4.

5

Deze versie van het terminologiedocument is een vertaling van de Engelse versie (Kwakkel et al., 2011), aangevuld met voorbeelden. De Engelse versie wordt binnen het werkpakket als uitgangspunt gebruikt.



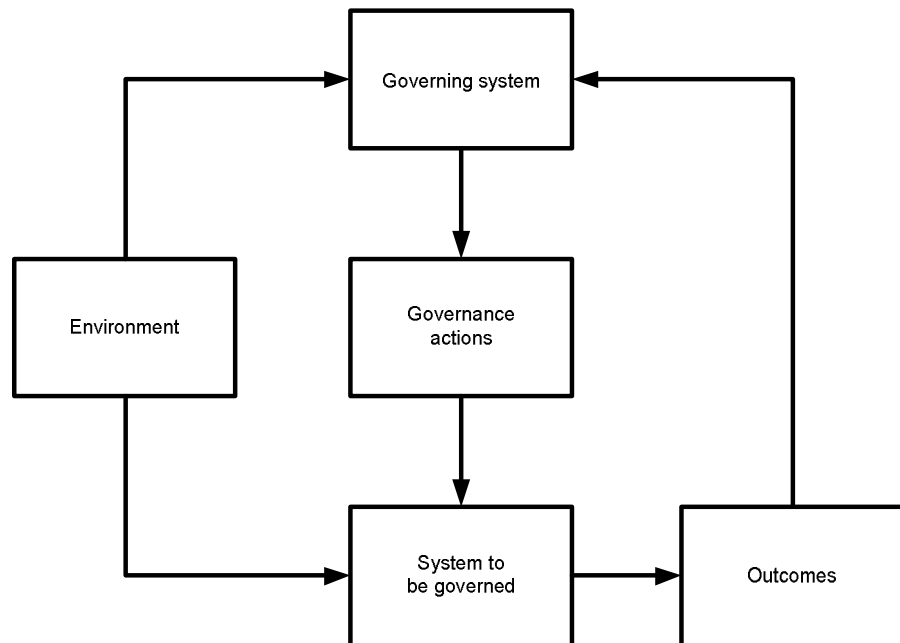
2 Achtergrond

In de afgelopen decennia is de interesse in het ondersteunen van overheidsbeleid op basis van wetenschappelijke kennis en instrumenten toegenomen. Kennis voor Klimaat richt zich op het ondersteunen van strategische lange-termijn beslissingen, welke typisch slecht gestructureerd zijn (Gorry and Morton 1971). Er zijn veel verschillende methoden en denkwijzen op het gebied van beleids-ondersteuning. De meeste hiervan zijn gebaseerd op een vorm van systeemdenken. Hierbij ligt de nadruk op het analyseren van een beslisprobleem binnen zijn context. Een groot deel van de concepten die in dit rapport worden gedefinieerd gaan uit van een systeembenadering. Daarom introduceren wij nu eerst enkele basisbegrippen uit het systeemdenken.

2.1 Een raamwerk voor systeemanalyse

Figuur 1 toont een systeemanalytisch raamwerk dat gebruikt kan worden om beslissingsondersteunende activiteiten te structureren. Deze weergave is slechts een van de vele mogelijkheden waarop een systeem geconceptualiseerd kan worden. Er wordt hier onderscheid gemaakt tussen het besturende orgaan ('governing system') en het te besturen systeem ('system to be governed'), waartussen een wisselwerking bestaat. Het besturende orgaan is hoofdzakelijk een sociaal systeem dat bestaat uit wetten en sturingsmechanismes, zoals organisaties en juridische wet- en regelgeving (Jentofts et al., 2007). Het te besturen systeem bestaat uit sociale, technische, fysieke en ecologische onderdelen (Jentofts et al., 2007). Het besturende orgaan bepaalt bestuurlijke acties voor het te besturen systeem, terwijl de resultaten van het te besturen systeem teruggekoppeld worden naar het besturend orgaan beïnvloeden. Bestuurlijke activiteiten worden in werking gezet door één of meer onderdelen van het besturende orgaan om zo het functioneren van het te besturen systeem in een meer gewenste richting te krijgen (Kooiman and Bavinck, 2005).

Figuur 1: Voorbeeld van een systeemanalytisch raamwerk



Actoren in het te besturen systeem en het besturende orgaan kunnen overlappen. De regering speelt bijvoorbeeld een belangrijke rol als besturend orgaan. In debatten over het beperken van het aantal ministers blijkt de regering echter ook het te besturen systeem te zijn. Analytisch gezien is het belangrijk in dergelijke gevallen de verschillende rollen van een actor duidelijk te onderscheiden.

Bestuurlijke acties worden ook wel beleid, tactiek, strategie, management actie, maatregel of plan genoemd. Wij onderscheiden bestuur, beleid of strategie, en management. Bestuur is de meest omvattende term en is gericht op de maatschappelijke behoefte op de lange termijn. Beleid of strategie is gericht op het oplossen van een specifiek probleem met betrekking tot een bepaalde functie van het te besturen systeem. Ten slotte zijn management activiteiten operationeel in karakter (Kooiman and Bavinck, 2005).

Zowel het besturende orgaan als het te besturen systeem staan niet op zichzelf. Ze zijn onderdeel van een grotere omgeving en worden hierdoor beïnvloed. De omgeving van het te besturen systeem bestaat uit een combinatie van sociale, technische en ecologische krachten, terwijl het besturende orgaan in de eerste plaats, maar niet alleen, door de maatschappelijke omgeving wordt beïnvloed (Jentofts et al., 2007).

Het te besturen systeem produceert uitkomsten die op hun beurt weer teruggekoppeld worden op het besturende orgaan. Het gaat daarbij om die uitkomsten – of prestatie-indicatoren – die relevant zijn voor de actoren in het besturende orgaan (Walker, 2000). Bij besturing van maatschappelijke systemen gaat het dus om grootheden die representatief zijn voor de mate waarin het te be-



sturen systeem een of meerdere maatschappelijke behoeften vervult (de Haan, 2010).

Het in [Figuur 1](#) afgebeelde raamwerk is nogal algemeen. In de literatuur worden meer specifieke varianten beschreven. Zo gebruikt Walker (2000) een beleidsanalytisch raamwerk waarin de nadruk voornamelijk ligt op het te besturen systeem, haar omgeving, haar uitkomsten, en de acties die overwogen worden voor het oplossen van een specifiek beleidsprobleem.

Het is cruciaal om het te besturen systeem en het besturende orgaan duidelijk af te bakenen. Deze afbakening kan grote gevolgen hebben voor de interpretatie van de in de analyse gebruikte termen, zoals robuustheid en weerstand van een systeem. Verwarring over de precieze betekenis van dergelijke termen kan alleen voorkomen worden door de grenzen van het bedoelde systeem expliciet te maken.

2.2 Onzekerheid

Onzekerheid en hoe daarmee om te gaan speelt een belangrijke rol bij beslissingsondersteuning. Onzekerheid kan omschreven worden als het geheel aan beperkingen van onze kennis en begrip van het bestudeerde systeem of verschijnsel. Dit omvat verschillende dimensies, waaronder onnauwkeurigheid, onbetrouwbaarheid en incompleet begrip. Een toename van kennis kan ook leiden tot een toename van kennis over wat we niet weten, waardoor de onzekerheid juist toeneemt.

Gezien het belang van onzekerheid bij beleidsvorming, hebben de verschillende wetenschappelijke disciplines elk hun eigen terminologie voor het benoemen van aspecten van onzekerheid ontwikkeld. In een poging om deze begrippen te harmoniseren, hebben Walker et al. (2003) een onzekerheidsraamwerk voor modelgebaseerde beslissingsondersteuning opgesteld. Dit raamwerk gaat uit van een onderscheid tussen het onzekerheidsperspectief van een analist en dat van een beleidsmaker (van Asselt, 2000). Vervolgens richt het raamwerk zich alleen op het perspectief van de analist. Het raamwerk van Walker et al. is in de loop van de tijd op verschillende manieren gebruikt en aangepast. Kwakkel et al. (2010b) presenteren een overzicht en synthese hiervan. In deze synthese worden drie dimensies onderscheiden: de locatie van de onzekerheid, de aard van de onzekerheid, en het niveau of de ernst van de onzekerheid.

Alle drie de dimensies zijn van belang bij het kiezen van de juiste manier van omgaan met onzekerheid. Niveau is hierbij echter de belangrijkste dimensie. Het niveau van de onzekerheid heeft te maken met de mate waarin waarschijnlijkheden kunnen worden toegekend aan zaken of gebeurtenissen. In sommige gevallen wordt deze waarschijnlijkheid in getallen uitgedrukt. In andere gevallen worden onnauwkeuriger kwalificaties gebruikt, zoals meer of minder of even waarschijnlijk.

Het niveau van onzekerheid varieert van complete zekerheid tot absolute onwetendheid. We onderscheiden vijf tussenliggende niveaus (Kwakkel et al., 2010b; [Tabel 1](#)):

1. Niveau 1 onzekerheid, of onderkende onzekerheid. Men erkent dat men niet absoluut zeker is, maar wil de mate van onzekerheid niet expliciet meten (Hillier and Lieberman, 2001);
2. Niveau 2 onzekerheid, of ondiepe onzekerheid. Men is in staat om meerdere mogelijkheden op te sommen en wil/kan hieraan kansen toekennen;
3. Niveau 3 onzekerheid, of gematigde onzekerheid. Men is in staat om een opsomming van mogelijkheden te geven en kan deze ordenen op basis van de mate van waarschijnlijkheid. Hoeveel meer of minder waarschijnlijk de ene mogelijkheid is ten opzichte van de andere kan hierbij niet worden aangegeven;
4. Niveau 4 onzekerheid, of diepe onzekerheid. Men is in staat om een opsomming van mogelijkheden te geven, maar een ordening op basis van waarschijnlijkheid is niet aan te brengen;
5. Niveau 5 onzekerheid, of onderkende onwetendheid. Men is niet in staat om een opsomming van mogelijkheden te geven, maar houdt wel de mogelijkheid van verrassingen open.



Tabel 1: De vijf niveaus van onzekerheid (adapted from Kwakkel)

Niveau van onzekerheid	Beschrijving van de onzekerheid	Voorbeelden omgaan met onzekerheid
Niveau 1 (‘recognized uncertainty’)	Erkennen dat je niet absoluut zeker bent zonder in staat te zijn of van plan te zijn om de onzekerheid expliciet te meten.	Het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses door bepaalde randvoorwaarden met kleine stapjes te veranderen.
Niveau 2 (‘shallow uncertainty’)	In staat zijn om meerdere mogelijkheden op te sommen en aan deze mogelijkheden waarschijnlijkheden toe te kennen.	Het uitvoeren van een onzekerheidsanalyse, waarbij onzekerheid in invoer wordt doorvertaald naar onzekerheid in de uitvoer
Niveau 3 (‘medium uncertainty’)	In staat zijn om meerdere mogelijkheden op te sommen en daarbij wel de rangorde maar niet de omvang van waarschijnlijkheden kunnen geven.	Een voorbeeld hiervan is in klimaatverandering de toename van de gemiddelde jaarlijkse neerslag. We vinden het waarschijnlijker dat deze toeneemt dan dat hij niet toeneemt.
Niveau 4 (‘deep uncertainty’)	In staat zijn om meerdere mogelijkheden op te sommen maar daarbij niet de rangorde of waarschijnlijkheden bij kunnen geven.	Een voorbeeld hiervan zijn de in Nederland gebruikte KNMI06 klimaatscenario's waarin voor de zomer zowel een gelijkblijvende (G) als sterk toenemende droogte (W+) mogelijk is.
Niveau 5 (‘recognized ignorance’)	Niet in staat zijn om meerdere mogelijkheden op te sommen, maar wel weten dat er verrassingen kunnen zijn.	De mogelijkheid openhouden dat er zaken zijn die je niet weet en dat je verrast kan worden.

2.3 Een nieuw paradigma voor het omgaan met onzekerheid

Onzekerheid is een belangrijke uitdaging bij planning en besluitvorming. Gebruikelijke manieren waarop in de praktijk met onzekerheid wordt omgegaan zijn (Quade, 1982, Dempsey et al., 1997, Marchau et al., 2009, Van Geenhuizen et al., 2007, Van Geenhuizen and Thissen, 2007, McDaniel and Driebe, 2005):

- het negeren van de onzekerheid;
- het kwantificeren van de onzekerheid door middel van een foutmarge;
- het reduceren van de onzekerheid (bijvoorbeeld door meer onderzoek te doen); of
- het behandelen van alleen die onzekerheden die eenvoudig te kwantificeren zijn.

Een nadeel van deze benaderingen is dat men zich vooral richt op onzekerheden “waarover wij ons het minst druk zouden moeten maken. De effecten van deze onzekerheden zijn namelijk veel minder belangrijk dan die van de onzekerheden over de toestand in de wereld en menselijke factoren. Daarover weten we niets als het gaat om kansverdeling, en weinig meer als het gaat over mogelijke uitkomsten” (vrij vertaald uit Quade, 1982). Op een vergelijkbare manier melden Goodwin en Wright (2010) dat “alle bestaande voorspellingsmethoden – inclusief het gebruik van expertmeningen, statistische voorspelling, Delphi en voorspellingsmarkten – fundamentele zwakheden bevatten.” Popper et al (2009) stellen dat alle traditionele methoden vastlopen in hetzelfde moeras: het niet om kunnen gaan met de meervoudigheid van mogelijke toekomsten.

In reactie hierop zijn er verschillende nieuwe planningsaanpakken voorgesteld (e.g. Lempert et al., 2003, Walker et al., 2001, de Neufville, 2000, de Neufville, 2003, Dewar, 2002, Dewar et al., 1993, Holling, 1978, Lempert, 2002). Deze benaderingen leggen enerzijds de nadruk op diepgravende en geïntegreerde vooruitblikkende analyse van de onzekerheden (Swanson et al., 2010) door middel van methoden zoals verkennend modelleren (Agusdinata, 2008, Lempert et al., 2003), ‘bounce casting’ (Kahan et al., 2004), en scenario-analyse (Bradfield et al., 2005, Varum and Melo, 2010). Anderzijds, vanwege de beperkte mogelijkheden van dergelijke methoden om te anticiperen op unieke gebeurtenissen, zogenaamde zwarte zwanen (Goodwin and Wright, 2010), is er bij het plannen een toenemende interesse in flexibiliteit en adaptiviteit. Hierbij wordt een strategische visie voor de toekomst gekoppeld aan korte-termijn acties en een raamwerk dat toekomstige acties stuurt (Albrechts, 2004, Walker et al., 2001, Walker et al., 2010). Ten slotte zijn er ook veerkrachtstrategieën die zich richten op het aanpassen van het te besturen systeem zodat het zelf beter kan omgaan met verstoringen (bv. Wardekker et al., 2010).

Deze verschillende nieuwe methoden vormen onderdelen van een nieuw opkomend paradigma voor het anders omgaan met onzekerheid. Uitgangspunt is het accepteren van de onzekerheden en de gerichtheid op de vraag wat er nu



het beste gedaan kan worden in het besef dat we niet (kunnen) weten wat de toekomst zal brengen. De centrale concepten die in het volgende hoofdstuk besproken worden spelen allemaal een rol in dit paradigma (zie bijvoorbeeld Dessai en Van der Sluijs, 2007)

2.4 Invloed van tijd

Veel concepten rondom onzekerheid maken gebruik van termen zoals verandering, trend, verstoring, herstel, etc. Wat is het verschil tussen een verandering en een verstoring? Wat kan gezien worden als een redelijke termijn voor herstel? Een antwoord op dergelijke vragen vereist een heldere specificatie van de tijdshorizon die gebruikt wordt in de analyse. Als deze horizon bijvoorbeeld dertig jaar is, kan een gebeurtenis van een jaar als een verstoring worden beschouwd. Is de horizon veel korter, dan kun je spreken over een verandering of trend. Dit suggereert dat tijdgerelateerde concepten geïnterpreteerd moeten worden in het licht van de tijdshorizon van de analyse. Hetzelfde geldt ook voor concepten zoals herstel. Het is dan ook wezenlijk bij het gebruik van dergelijke termen ook de tijdshorizon expliciet te specificeren.

Een ander tijdsaspect is of men een systeem voor een enkel punt in de tijd analyseert of dat men kijkt naar de ontwikkeling van een systeem door de tijd heen. Dit geldt ook voor de systeemdefinitie. Deze kan exact gegeven worden op basis van de huidige situatie of in meer algemene termen, wat de mogelijkheid openlaat dat de exacte samenstelling verandert door de tijd. Ook in dit opzicht geldt de richtlijn dat analyses expliciet moeten zijn om misverstanden te voorkomen.



3 Belangrijkste concepten

3.1 Adaptieve beleidsvorming (UK: adaptive policymaking)

Beleid is adaptief als het aangepast kan worden zodra er nieuwe informatie beschikbaar komt. Beleidsmakers kunnen hierdoor reageren op *early warning signalen* en verrassingen zodra (en als) deze zich voordoen. Adaptieve beleidsvorming (Walker et al., 2001, Kwakkel et al., 2010a) is een stapsgewijze benadering voor het ontwikkelen van adaptief beleid waarbij rekening gehouden wordt met een grote verscheidenheid aan plausibele toekomst. In de literatuur over adaptieve beleidsvorming zijn de begrippen “plan” en “beleid” uitwisselbaar.

Adaptieve beleidsvorming is een aanpak die past bij het opkomende nieuwe paradigma over het omgaan met onzekerheden bij beleidsvorming (Albrechts, 2004). In vergelijking met adaptief beheer (‘adaptive management’; Holling, 1978; Lee, 1993) ligt bij adaptieve beleidsvorming de nadruk op het *vooraf* specificeren van een monitoringsysteem en van een reeks acties die genomen kunnen worden afhankelijk van toekomstige ontwikkelingen. Waar adaptief beheer volgens Holling zich richt op het in de loop van de tijd experimenteren met en leren over het te besturen systeem, richt adaptieve beleidsvorming zich op het vooraf ontwerpen van acties die het te besturen systeem afhankelijk van de ontwikkelingen in de richting sturen van een meer gewenst functioneren.

Gerelateerde concepten: adaptief management, diepe onzekerheid, flexibiliteit, adaptatiepaden

Tekstkader Adaptief Deltamanagement

Het deltaprogramma positioneert Adaptief Deltamanagement als een werkwijze om koersvast te zijn op het ‘wat’ en flexibel te zijn in het ‘hoe’ en ‘wanneer’ (Bloemen, 2011). Koersvast op het ‘wat’ wil zeggen dat er structureel wordt gewerkt aan de verbetering van de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening. Flexibel in het ‘hoe’ gaat ervan uit dat er verschillende adaptatiestrategieën mogelijk zijn en het ‘hoe’ niet vooraf vaststaat, in plaats daarvan groeien we mee met de klimaatverandering en sociaaleconomische verandering. Flexibel in het ‘wanneer’ doelt op de flexibiliteit in het tijdstip waarop de maatregelen worden geïmplementeerd. Enerzijds is dit afhankelijk van de actuele omstandigheden, bijvoorbeeld als klimaatverandering snel doorzet worden maatregelen eerder geïmplementeerd, anderzijds van investeringsagenda’s in de regio (zoals de gebiedsagenda’s en het MIRT). Adaptief Deltamanagement kan op verschillende manieren geoperationaliseerd worden. Adaptieve beleidsvorming is een voorbeeld hiervan.

3.2 Flexibiliteit (UK: Flexibility)

Er bestaan verschillende definities van flexibiliteit. Flexibiliteit is een maat voor het gemak waarmee een systeem of een beleid aangepast kan worden aan veranderende omstandigheden (Floodsite, 2005), of het vermogen van een organisatie, beleid of systeem om zich aan te passen aan substantiële, onzekere en snel plaatsvindende veranderingen die een belangrijke invloed hebben op het functioneren van de organisatie, het beleid of systeem. (Aaker and Mascarenhas, 1984). Voor beide definities valt iets te zeggen. De eerste is generiek en ziet flexibiliteit als een eigenschap die ervoor zorgt dat een systeem of beleid aangepast kan *worden*. De tweede omschrijving legt de nadruk op het belang van de reactietijd, en spreekt van een systeem dat *zichzelf* aanpast.

Wij stellen de volgende definitie voor: Flexibiliteit is een maat voor het gemak waarmee een systeem of beleid aangepast kan worden aan substantiële, onzekere en snel plaatsvindende veranderingen die een belangrijke invloed hebben op het functioneren van de organisatie, het beleid of systeem. Wat onder snel optredend wordt verstaan, hangt af van de tijdslijn die gebruikt wordt in de analyses.

Wanneer we het hebben over flexibiliteit is het belangrijk om aan te geven wat precies flexibel is (het beleid, een deel van het beleid, het systeem, of een onderdeel van het systeem), en voor wat voor soort veranderingen flexibiliteit gebruikt gaat worden.

Gerelateerde concepten: adaptief vermogen, robuustheid

Tekstkader Ruimtelijke reservering

Flexibiliteit maakt adaptief beleid mogelijk. Een voorbeeld van het creëren van flexibiliteit is het maken van een ruimtelijke reservering, zoals momenteel gedaan wordt bij Schiphol. Deze ruimtelijke reservering schept de mogelijkheid om in de toekomst een extra start- en landingsbaan toe te voegen aan het vliegveld indien dit nodig blijkt te zijn. Ook in de waterwereld kunnen ruimtelijke reserveringen gebruikt worden, bijvoorbeeld voor een toekomstige dijkverhoging of een toekomstig noodoverloopgebied.



3.3 Veerkracht (UK: Resilience)

In de literatuur treffen we veel verschillende definities voor het concept veerkracht aan. Een veelgebruikte definitie is veerkracht als het vermogen van een systeem om verstoring te absorberen en zich tijdens veranderingen te reorganiseren, zodat het in wezen dezelfde functies, structuur, identiteit en terugkoppelingen behoudt (Walker et al., 2004). Deze definitie wordt toegepast op sociaal-ecologische systemen. Daarnaast wordt deze definitie veel gebruikt binnen de academische wereld (zoals de Resilience Alliance, www.resalliance.org). Kenmerken van de veerkracht van sociaal-ecologische systemen zijn (Carpenter *et al.*, 2001):

- De hoeveelheid verandering die een systeem kan ondergaan waarbij het desondanks in wezen dezelfde functies en structuur behoudt;
- De mate waarin een systeem zichzelf kan organiseren;
- De capaciteit tot het opbouwen en uitbreiden van kennis en adaptief vermogen.

Het algemene idee over veerkracht in relatie tot klimaatadaptatie is dat deze eigenschap kan worden versterkt, ondanks dat er grote onzekerheden kunnen bestaan over de effecten van klimaatverandering. In het geval van klimaatadaptatie zijn enkele elementen uit de definitie van Walker *et al.* niet noodzakelijkerwijs onmisbaar om de veerkracht van een systeem te vergroten. Vooral de elementen structuur en identiteit kunnen op meer dan een manier uitgelegd worden en lijken niet essentieel te zijn om het concept veerkracht te operationaliseren. Ook de al bestaande terugkoppelingen van een systeem hoeven niet noodzakelijkerwijs te blijven bestaan in het geval van verstoring, en zouden zelfs (deels) vervangen kunnen worden door andere terugkoppelingen.

Een ander veelgenoemd aspect van een veerkrachtig systeem is het vermogen om na kortstondige (extreme) verstoringen snel terug te keren naar zijn oude (evenwichts)toestand ('bounce back').

Als werkdefinitie van veerkracht stellen we voor: het vermogen van een systeem om verstoring te absorberen en zich tijdens verandering te reorganiseren, zodat het systeem in wezen dezelfde functies behoudt.

Bij het opzetten van een veerkrachtstudie is het belangrijk aandacht te besteden aan het identificeren en vastleggen van de systeemgrenzen, en de interactie van het systeem met onder- en bovenliggende (sub)systemen. Het vaststellen van de systeemgrenzen dient gelijk op te gaan met het identificeren van de functies die door het systeem worden uitgevoerd en die gewaarborgd dienen te blijven bij toekomstige verstoring (veerkracht *van* wat en *voor* wat, zie bijvoorbeeld Carpenter *et al.*, 2001). De typen stress en verstoring waarvoor het

systeem veerkracht dient te hebben kunnen onderzocht worden door huidige en toekomstige trends te verkennen (door middel van statistische analyse en het uitwerken van verschillende scenario's), aangevuld met het gebruik van wildcards om verrassingen zo veel mogelijk te voorkomen (zie bijvoorbeeld Wardekker *et al.*, 2010). Bij het ontwikkelen van maatregelen die de veerkracht van een systeem dienen te bevorderen, is het belangrijk de tijdschaal waarop verstoringen zich voordoen in het oog te houden.

Gerelateerde concepten: adaptieve capaciteit, adaptief vermogen

Tekstkader Veerkracht van waterplanten voor zout

Het hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK) heeft zich de vraag gesteld wat de effecten voor de aquatische ecologie zijn van snel afwisselende externe verzilting en verzoeting in het watersysteem in en rondom het boezemstelsel van Schieland. In deze vraagstelling zit een veerkracht dimensie: wat is de veerkracht van aquatische macrofyten voor hoge chloridegehalten van het water? De vervolgvraag is of een verruiming van de chloridenorm (>200 mg/l) een kansrijke klimaatadaptatiestrategie is voor het waterbeheer en hierbij moeten ook de gevolgen voor de ecologie in ogenschouw genomen worden.

Goodman *et al.* (2010) hebben in een experiment vier Australische waterplanten (*Triglochin procerum*, *Myriophyllum simulans*, *Cotulacoronopifolia*, *Baumea Arthropphylla*), 3 tot 6 weken blootgesteld aan water met een saliniteit van respectievelijk 1000, 4000 en 8000 mg/l, gevolgd door een herstelperiode in zoetwater. De auteurs komen tot de conclusie dat bij deze planten fysiologische stress (beoordeeld op afname groeisnelheid e.d.) bij deze 3 concentraties waarneembaar is, maar ook dat deze vier soorten zich na een blootstelling van 3 tot 6 weken zich grotendeels kunnen herstellen.

De 'zoutschok' in het boezemstelsel van Schieland (augustus 2003) is, qua concentratie en duur, met enige extrapolatie vergelijkbaar met het Australische experiment van 1000 mg/l saliniteit (\approx 550 mg/l chloride). In augustus is de waterplantengemeenschap volgroeid in het Nederlandse klimaat. De volwassen waterplanten hebben genoeg veerkracht om, in deze fase van hun levenscyclus, een dergelijke 'zoutpuls' te overleven.

3.4 Robuustheid (UK: Robustness)

Robuustheid is een eigenschap van een systeem of beleid en verwijst naar de mate waarin de prestatie van een systeem of de uitkomst van beleid gevoelig is voor variaties of veranderende omstandigheden. Het kan gezien worden als omgekeerde van kwetsbaarheid (zie ook Pasztor and Bosch, 2011). Om dit begrip verder te definiëren is het nuttig om onderscheid te maken tussen ro-



buustheid als eigenschap van het systeem en robuustheid als eigenschap van beleid (Mens et al., 2011).

Systeemrobuustheid is de mate waarin een systeem goed blijft functioneren onder variërende en/of veranderende omstandigheden.

Een systeem dat robuust is voor variaties heeft de volgende eigenschappen (Mens et al., 2011):

- Pas bij een grote verstoring treedt schade op;
- De gevolgen van een verstoring zijn relatief klein, bijvoorbeeld uitgedrukt in economische schade;
- De gevolgen zijn relatief ongevoelig voor de grootte van de verstoring;
- De gevolgen van de verstoring zijn van korte duur, doordat het systeem snel weer op de gewenste wijze functioneert.

De uitwerking in de praktijk zal afhangen van het soort systeem en op welke schaal de robuustheid geanalyseerd wordt. De mate van systeemrobuustheid hangt ook af van hoe "functioneren van het systeem" wordt gedefinieerd en beoordeeld en onder welke omstandigheden het robuust moet zijn.

De twee voorbeelden in het tekstkader laten zien dat de betekenis van systeemrobuustheid afhankelijk is van: (1) hoe het systeem wordt afgebakend; (2) hoe "functioneren van het systeem" wordt gedefinieerd en beoordeeld; en (3) onder wat voor omstandigheden het systeem robuust moet zijn.

Tekstkader Robuustheid versus betrouwbaarheid

Stel je een fysisch watersysteem voor dat bestaat uit een netwerk van kanalen die zorg moeten dragen voor de levering van voldoende zoet water naar de gebruikers. Een robuust watersysteem zal in staat zijn om toch voldoende zoet water te leveren, ook al is er tijdelijk geen neerslag of afvoer. Dit kan bijvoorbeeld door een buffer aan te leggen in de vorm van een reservoir. In dit voorbeeld worden de economische gevolgen van een watertekort niet meegenomen. Hierdoor gaat robuustheid erg lijken op 'betrouwbaarheid': hoe vaak, gemiddeld gezien, kan het aanbod aan de vraag voldoen. Het beoordelen van een systeem op basis van betrouwbaarheid (ofwel leveringszekerheid) is gebruikelijk bij reservoirbeheer, maar redeneert sterk vanuit de leverancier die aan een bepaalde vraag moet voldoen. Het is interessanter om ook te analyseren wat de sociaaleconomische gevolgen zijn van een wateraanbodtekort voor de gebruikers van zoet water (scheepvaart, landbouw, drinkwater).

Bij een gekoppeld fysisch en sociaaleconomisch systeem is een tekort aan zoet water niet noodzakelijkerwijs een systeemfalen. Is dit systeem robuust, dan hebben de gebruikers bij wateraanbodtekort een alternatieve bron van zoetwater, een alternatief om geld te verdienen of een alternatief om opbrengst-derving op te vangen.

Tekstkader Robuustheid door redundantie en diversificatie

Redundantie is het dubbel uitvoeren van een systeemonderdeel met dezelfde functie, zodat als de een faalt de ander het over kan nemen. Redundantie is een middel om systeemrobustheid te vergroten, omdat hierdoor de schade door falen beperkt blijft. Tuinders zorgen er bijvoorbeeld vaak voor dat ze meerdere waterbronnen ter beschikking hebben (bijv. gietwater, oppervlaktewater en ontzilt grondwater).

Beleid is robuust als het gewenste resultaat onder een scala aan omstandigheden en veronderstellingen bereikt wordt (vrij naar Lempert et al., 2003).

Om dit om te zetten naar de praktijk moeten de termen "omstandigheden", "veronderstellingen" en "gewenst resultaat" duidelijk omschreven worden. Vaak worden toekomstige omstandigheden weergegeven door middel van scenario's (klimaatveranderingsscenario's, scenario's voor landgebruiksveranderingen, enz.). Een robuuste maatregel werkt goed onder verschillende scenario's. Veronderstellingen kunnen betrekking hebben op de systeemwerking (bijvoorbeeld vervat in onzekerheden in de gebruikte modellen), en wat gewenst is hangt natuurlijk af van de gekozen criteria voor besluitvorming, bv. de kosten/baten- verhouding.

Een manier waarop we robuust beleid kunnen ontwikkelen is het inbouwen van flexibiliteit, ofwel het vermogen om het systeem aan te passen aan veranderende toekomstige omstandigheden (bijvoorbeeld het reserveren van een stuk grond dat mogelijk gebruikt kan worden voor het versterken van dijken in de toekomst). De robuustheid van het *systeem* verandert hierdoor niet direct, omdat de verscheidenheid aan omstandigheden die het systeem momenteel aankan niet verandert. Het beleid maakt het echter eenvoudig om dijken in de toekomst te versterken indien nodig, en dus zal het beter functioneren onder een verscheidenheid aan toekomstige veranderingen dan een beleid zonder deze ingebouwde flexibiliteit. Flexibiliteit is dus een middel om robuust beleid te maken.

Gerelateerde concepten: (diepe) onzekerheid, flexibiliteit, aanpassing, adaptieve beleidsvorming, scenario.

3.5 Scenario (UK: Scenario)

Een scenario is een vaak vereenvoudigde omschrijving van hoe de toekomst zich mogelijk kan ontwikkelen, gebaseerd op een samenhangende en intern consistente set van aannames over drijvende krachten en belangrijke relaties. Scenario's kunnen worden gezien als beelden van mogelijke toekomsten. Er is dus altijd meer dan één scenario (Goodwin and Wright, 2010). Scenario's laten zien wat er *mogelijk* gaat gebeuren. Dit in tegenstelling tot voorspellings-



technieken waarvan het doel is om zo precies mogelijk te voorspellen wat er *waarschijnlijk* gaat gebeuren (Enserink et al., 2010)

Indien de actuele wetenschappelijke kennisbasis het niet redelijkerwijs mogelijk maakt betrouwbare toekomstverwachtingen op te stellen, kunnen scenario's gebruikt worden om rekening te houden met een scala aan mogelijke toekomstige ontwikkelingen (Schwartz, 1991, Van der Heijden, 1996, Enserink, 2000). Scenario's kunnen betrekking hebben op diverse onderdelen die in het systeemraamwerk zijn omschreven. Ze kunnen dus de omgeving, het besturend orgaan, het te besturen systeem en of de uitkomsten omvatten.

Het werken met scenario's is de laatste decennia steeds populairder geworden, zowel bij de overheid als bij de handel en de industrie. Tegelijkertijd is een grote variatie aan typen scenario's en wijzen van gebruik ervan ontstaan. Het is dus niet verstandig om te spreken over *de* scenario-aanpak. Belangrijk is dat er onderscheid gemaakt wordt tussen het beschrijven van een toekomstbeeld of het beschrijven van een pad naar de toekomst; tussen omgevings-, beleids-, en strategische scenario's; en tussen normatieve (of gewenste) en beschrijvende scenario's (Enserink et al., 2010). We leggen het verschil tussen omgevingsscenario's, beleidsscenario's en strategische scenario's verder uit.

Omgevings scenario's leveren beelden op van een mogelijke toekomstige ontwikkelingen van de omgeving van het systeem. Het gaat dan om factoren in die omgeving die niet beïnvloed kunnen worden door de beleidsmaker(s), maar wel een duidelijke invloed kunnen hebben op het resultaat van het beleid. Van der Heijden (1996) heeft het over externe scenario's: "externe scenario's [...] worden opgezet als intern consistente en uitdagende omschrijvingen van mogelijke toekomstige [...]". Wat in deze scenario's gebeurt valt in wezen buiten onze invloedssfeer". Ze worden voornamelijk gebruikt om uitspraken te doen over de robuustheid van mogelijk beleid. .

Bij beleidsscenario's worden aannames gedaan over de beleidskeuzes in de loop van de tijd, en de ontwikkelingen van het probleem of systeem onder invloed daarvan. . Bij beleidsscenario's wordt verondersteld dat de context van het beleid min of meer constant is.

Strategische scenario's combineren aannames over beleidsontwikkelingen met contextuele ontwikkelingen. Strategische scenario's worden gebruikt om de strategische keuze voor een (beperkt) aantal soorten ontwikkelingen of beleidsvarianten te verduidelijken of bespreekbaar te maken door inzicht te geven in de verwachte uitkomsten.

De voor Kennis voor Klimaat Thema 2 belangrijke klimaatscenario's die resulteren in uiteenlopende neerslag en verdampingspatronen zijn typische omgevingsscenario's.

Gerelateerde concepten: (Diepe)onzekerheid, adaptatie, robuustheid



4 Begrippenlijst

Deze lijst bevat termen die samenhangen met de belangrijkste concepten uit het voorgaande hoofdstuk, maar die in werkpakket 5 geen centrale rol spelen. Voor de volledigheid hebben wij de definities van de in hoofdstuk 3 beschreven concepten toegevoegd.

4.1 Adaptatie (UK: Adaptation)

Adaptatie is het zodanig aanpassen van een systeem aan (geanticiperde) veranderingen van omgevingsfactoren dat het in de tijd standhoudt.

4.2 Adaptatiepad (UK: Adaptation pathway)

Een adaptatiepad beschrijft een reeks van beslissingen in de tijd zodanig dat het beleid aangepast wordt aan veranderende omstandigheden.

Een adaptatiepad geeft een beschrijving van een mogelijke reeks van interventies over een bepaalde tijdsperiode. Een adaptatiepad omvat de effecten van beleidsmaatregelen, bijvoorbeeld beleid dat is ontwikkeld met het oog op aanpassing aan klimaatverandering. (vrij naar Haasnoot et al., 2009).

4.3 Adaptief beheer (UK: Adaptive management)

Adaptief beheer komt uit de ecologie en richt zich op het experimenteren met en leren van het te besturen systeem.

Adaptief beleid daarentegen is beleid dat zonder al te veel problemen aangepast kan worden zodra er nieuwe informatie beschikbaar komt. Dit hoort bij adaptieve beleidsvorming.

4.4 Adaptief vermogen (UK: Adaptive capacity)

Adaptief vermogen is het vermogen van een systeem om aanpassingmogelijkheden te plannen, voor te bereiden, te faciliteren en implementeren. Het begrip kan zowel betrekking hebben op een te besturen systeem, als op een besturend systeem.

Het adaptieve vermogen van een gemeenschap wordt bepaald door economische welvaart, technologie en infrastructuur, informatievoorziening, aanwezige kennis en kunde, het soort bedrijven, rechtvaardigheidsgevoel en sociaal kapitaal (Floodsite, 2005).

4.5 Adaptieve beleidsvorming (UK: Adaptive policymaking)

Adaptieve beleidsvorming (Walker et al., 2001, Kwakkel et al., 2010a) is een stapsgewijze benadering voor het ontwikkelen van adaptief beleid waarbij rekening gehouden wordt met een grote verscheidenheid aan plausibele toekomst. Beleidsmakers kunnen hierdoor reageren op verrassingen zodra (en als) deze zich voordoen.

4.6 Beleidsknippunt (UK: Policy tipping point)

Een beleidsknippunt of beleidsomslagpunt specificeert het tijdstip waarop of de omstandigheden waarin alternatieve strategieën nodig zijn, omdat het huidige beleid dan niet meer aan de eisen kan voldoen (Kwadijk et al., 2010).

Om de relatie met beleid te benadrukken en onderscheid te maken met de fysieke omslagpunten of knippunten ('tipping points') in de klimaatwetenschap of bij complex adaptieve systemen, wordt aanbevolen om het voorvoegsel "beleid" (of "Policy") te gebruiken.

4.7 Diepe onzekerheid (UK: Deep uncertainty)

Diepe onzekerheid is een situatie waarin beleidsmakers geen kennis hebben van of het niet eens zijn over het modelsysteem, de onzekerheid in de parameters in het modelsysteem en/of hoe de uitkomsten geëvalueerd moeten worden (Lempert et al., 2002). Er is sprake van diepe onzekerheid als meerdere mogelijkheden kunnen worden opgesomd, maar rangorde of waarschijnlijkheden niet beoordeeld kunnen worden. Bijvoorbeeld de in Nederland gebruikte KNMI06 klimaatscenario's waarin voor de zomer zowel een gelijkblijvende (G) als sterk toenemende droogte (W+) mogelijk is.

4.8 Doelbereikindicator (UK: Signpost)

Doelbereikindicators vormen een wezenlijk onderdeel van adaptief beleid. Het zijn variabelen waarvan de ontwikkeling gevolgd moet worden om zo te bepalen of het beleid zijn doelen nog kan bereiken (vrij naar Kwakkel et al.,



2010a). Bij elke indicator hoort een kritische waarde ('trigger') waarbij tot actie over moet worden gegaan. De indicator zelf hoeft niet de doelbereiking zelf te meten, maar kan betrekking hebben op het al of niet aanwezig zijn van een aanname onder welke het beleid effectief zou zijn.

4.9 Drempelwaarde (UK: threshold value)

Een drempelwaarde is een cruciale waarde van de toestand van een systeem, waarbij een plotselinge verandering in het systeem optreedt. Een drempelwaarde kan verbonden zijn aan een verschuiving naar een ander regime. Een dergelijke verschuiving treedt op wanneer een kritische waarde van een cruciale variabele in een systeem wordt overschreden, op zo'n manier dat de aard of de omvang van de respons verandert en het systeem zelf van ontwikkelingsrichting verandert (Walker and Meyers, 2004). Als het bereiken van een drempelwaarde leidt tot een omslag naar een ander regime, wordt het ook wel knikpunt (tipping point) genoemd.

4.10 Flexibiliteit (UK: Flexibility)

Flexibiliteit is het gemak waarmee een systeem of beleid aangepast kan worden aan substantiële, onzekere en snel plaatsvindende veranderingen die een grote invloed hebben op het functioneren van de organisatie, het beleid of systeem.

4.11 Kwetsbaarheid (UK: Vulnerability)

Kwetsbaarheid is een systeemeigenschap die aangeeft in welke mate een systeem door veranderingen geschaad kan worden. Het is een combinatie van gevoeligheid en waarde (Floodsite, 2005).

Kwetsbaarheid hangt af van de variabele en het type veranderingen waarnaar gekeken wordt. Dit kan een klimaatvariabele zijn (neerslag, afvoer, temperatuur), maar dat hoeft niet. Bovendien is er onderscheid tussen kwetsbaar voor variabiliteit en kwetsbaar voor verandering. In de eerste betekenis kan kwetsbaarheid gezien worden als inverse van robuustheid. In de tweede betekenis wordt kwetsbaarheid veel gebruikt in relatie tot klimaatverandering. Het wordt dan gezien als een functie van de klimaatvariabele waaraan een systeem is blootgesteld, de gevoeligheid hiervoor en het vermogen om aan te passen (IPCC, 2001). In het Kennis voor Klimaat project 'climate proof cities' wordt kwetsbaarheid op deze manier gebruikt (Pasztor en Bosch, 2011).

4.12 Robuustheid (UK: Robustness)

Robuustheid is de mate waarin het functioneren van een systeem of de effectiviteit van beleid gevoelig is voor verstoringen of veranderende omstandigheden.

Systeemrobustheid is de mogelijkheid van een systeem om goed te blijven functioneren onder variërende en/of veranderende omstandigheden.

Robuustheid van beleid is de mate waarin een gewenst resultaat wordt bereikt onder verschillende (veranderende) omstandigheden.

4.13 Scenario (UK: scenario)

Een scenario is een vaak vereenvoudigde omschrijving van hoe de toekomst zich mogelijk kan ontwikkelen, gebaseerd op een samenhangende en intern consistente set van aannames over drijvende krachten en de belangrijkste relaties.

4.14 Strategie (UK: Strategy)

Onder strategie wordt verstaan een combinatie van langetermijndoelen, specifieke doelstellingen, technische maatregelen, beleidsinstrumenten en processen (Floodsite, 2005).

4.15 Onzekerheid (UK: Uncertainty)

Onzekerheid is het geheel aan beperkingen van onze kennis en ons begrip van het bestudeerde systeem of verschijnsel. Dit omvat verschillende dimensies, waaronder onnauwkeurigheid, onbetrouwbaarheid en incompleet begrip.

4.16 Veerkracht (UK: Resilience)

Het vermogen van een systeem om verstoring te absorberen en zich tijdens veranderingen te reorganiseren, zodat het in wezen dezelfde functies behoudt.



4.17 Weerstand (UK: Resistance)

Weerstand is het vermogen van het systeem om verstoringen of veranderingen buiten het systeem te houden (De Bruijn, 2004). Bijvoorbeeld, een stormvloedkering beschermt een gebied tegen hoogwater door te verhinderen dat het water in de achterliggende rivier wordt opgestuwd.



5 Referenties (UK):

AAKER, D. A. & MASCARENHAS, B. (1984) The need for strategic flexibility. *The Journal of Business Strategy*, 5, 74-82.

AGUSDINATA, D. B. (2008) Exploratory Modeling and Analysis: A promising method to deal with deep uncertainty. *Faculty of Technology, Policy, and Management*. Delft, Delft University of Technology.

ALBRECHTS, L. (2004) Strategic (spatial) planning reexamined. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31, 743-758.

BARNETT, J. (2001) Adapting to Climate Change in Pacific Island Countries: The Problem of Uncertainty. *World Development*, 26, 977-993.

BLOEMEN, P & VAN ALPHEN, J. (2011). Presentatie. Deltaprogramma (<http://www.deltaproof.nl/Upload/Deltaproof/denktank/20110204%20Adaptief%20deltamanagement%20-%20STOWA%20JvA.pdf>)

BRADFIELD, R., WRIGHT, G., BURT, G., CAIRNS, G. & VAN DER HEIJDEN, K. (2005) The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. *Futures*, 37, 795-812.

DE BRUIJN, K. M. (2004) Resilience and flood risk management. *Water Policy*, 6, 53-66.

DE HAAN, J. (2010) Towards Transition Theory. Rotterdam, Erasmus University.

DE NEUFVILLE, R. (2000) Dynamic Strategic Planning for Technology Policy. *International Journal of Technology Management*, 19, 225-245.

DE NEUFVILLE, R. (2003) Real Options: Dealing With Uncertainty in Systems Planning and Design. *Integrated Assessment*, 4, 26-34.

DEMPSEY, P. S., GOETZ, A. R. & SZYLLOWICZ, J. S. (1997) *Denver International Airport: Lessons Learned*, New York, McGraw-Hill.

S. DESSAI and J.P. VAN DER SLUIJS (2007), *Uncertainty and Climate Change Adaptation - a Scoping Study*, report NWS-E-2007-198, Copernicus Institute, Utrecht University. 95 pp.

DEWAR, J. A. (2002) *Assumption-Based Planning: A Tool for Reducing Avoidable Surprises*, Cambridge, Cambridge University Press.

DEWAR, J. A., BUILDER, C. H., HIX, W. M. & LEVIN, M. H. (1993) Assumption-Based Planning: A Planning Tool for Very Uncertain Times. Santa Monica, RAND.

ENSERINK, B. (2000) Building Scenarios for the University. *International Transactions in Operational Research*, 7, 569-584.

ENSERINK, B., HERMANS, L., KWAKKEL, J. H., THISSEN, W., KOPPENJAN, J. F. M. & BOTS, P. W. G. (2010) *Policy Analysis of Multi-Actor Systems*, Utrecht, Lemma.

FLOODSITE (2005) Language of Risk: project definitions.

GOODMAN, A. M., GANF, G. G., DANDY, G. C., MAIER, H. R., & GIBBS, M. S. (2010). The response of freshwater plants to salinity pulses. *Aquatic Botany*, 93(2), 59-67.

GOODWIN, P. & WRIGHT, G. (2010) The limits of forecasting methods in anticipating rare events. *Technological Forecasting and Social Change*, 77, 355-368.

GORRY, G. A. & MORTON, M. S. (1971) A Framework for Management Information Systems. *Sloan Management Review*, 13, 55-70.

HAASNOOT, M., MIDDELKOOP, H., VAN BEEK, E., OFFERMANS, A. & VAN DEURSEN, W. P. A. (2009) A method to develop sustainable water management strategies for an uncertain future. *Sustainable Development*.

HILLIER, F. S. & LIEBERMAN, G. J. (2001) *Introduction to Operations Research*, New York, NY, Mc Graw Hill.

HOLLING, C. S. (1978) *Adaptive Environmental Assessment and Management*, New York, John Wiley & Sons.

IPCC (2001) Climate change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers, WMO.

JENTOFTS, S., VAN SON, T. C. & BJORKEN, M. (2007) Marine Protected areas: A Governance System Analysis. *Human Ecology*, 35, 611-622.

KAHAN, J. P., BOTTERMAN, M., CAVE, J., ROBINSON, N., SHOOB, R., THOMSON, R. & VALERI, L. (2004) Cyber Trust and Crime Prevention: Gaining Insight from Three Different Futures. Prepared for Foresight Directorate, Office of Science and Technology, UK.



KNOL, A. B., PETERSEN, A. C., VAN DER SLUIJS, J. & LEBRET, E. (2009) Dealing with uncertainties. The case of environmental burden of disease assessment. *Environmental Health*, 8.

KOOIMAN, J. & BAVINCK, M. (Eds.) (2005) *Fish for Life, Interactive Governance for Fisheries*, Amsterdam, Amsterdam University Press.

KWADIJK, J. C. J., HAASNOOT, M., MULDER, J. P. M., HOOGVLIET, M. M. C., JEUKEN, A. B. M., VAN DER KROGT, R. A. A., VAN OOSTROM, N. G. C., SCHELFHOUT, H. A., VAN VELZEN, E. H., VAN WAVEREN, H. & DE WIT, M. J. M. (2010) Using Adaptation Tipping Points to Prepare for Climate Change and Sea Level Rise: a case study in the Netherlands. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1, 729-740.

KWAKKEL, J. H., WALKER, W. E. & MARCHAU, V. A. W. J. (2010a) Adaptive Airport Strategic Planning. *European Journal of Transportation and Infrastructure Research*, 10, 227-250.

KWAKKEL, J. H., WALKER, W. E. & MARCHAU, V. A. W. J. (2010b) Classifying and communicating uncertainties in model-based policy analysis. *International Journal of Technology, Policy and Management*, 10, 299-315.

KWAKKEL, J. H., MENS, M. J. P., DE JONG, A., WARDEKKER, J. A., THISSEN, W. A. H., & VAN DER SLUIJS, J. P. (2011). Uncertainty Terminology. Knowledge for Climate report

LEE, K. (1993) *Compass and Gyroscope: Integrating Science and Politics for the Environment*, Washington, Island Press.

LEMPERT, R. J. (2002) A New Decision Sciences for Complex Systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 7309-7313.

LEMPERT, R. J., POPPER, S. & BANKES, S. (2002) Confronting Surprise. *Social Science Computer Review*, 20, 420-439.

LEMPERT, R. J., POPPER, S. & BANKES, S. (2003) Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long Term Policy Analysis. Santa Monica, RAND.

MARCHAU, V. A. W. J., WALKER, W. E. & VAN DUIN, R. (2009) An adaptive approach to implementing innovative urban transport solutions. *Transport Policy*, 15, 405-412.

MCDANIEL, R. R. & DRIEBE, D. J. (Eds.) (2005) *Uncertainty and Surprise in Complex Systems: Questions on Working the Unexpected*, Springer.

MENS, M. J. P., KLIJN, F., DE BRUIJN, K. & VAN BEEK, E. (2011) The meaning of system robustness for flood risk management. *Environmental Science and Policy*, 14, 1121-1131.

PASZTOR & BOSCH (2011) Guideline Vulnerability Terminology. Knowledge for Climate Climate Proof Cities Consortium. December 2011.

POPPER, S., GRIFFIN, J., BERREBI, C., LIGHT, T. & MIN, E. Y. (2009) Natural Gas and Israel's Energy Future: A Strategic Analysis Under Conditions of Deep Uncertainty. Santa Monica, California, RAND.

QUADE, E. S. (1982) *Analysis for Public Decisions*, New York, Elsevier Science Publishing Co.. Inc.

SCHWARTZ, P. (1991) *The Art of the Long View*.

SWANSON, D., BARG, S., TYLER, S., VENEMA, H., TOMAR, S., BHADWAL, S., NAIR, S., ROY, D. & DREXHAGE, J. (2010) Seven tools for creating adaptive policies. *Technological Forecasting and Social Change*, 77, 924-939.

VAN ASSELT, M. B. A. (2000) *Perspectives on Uncertainty and Risk*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

VAN DER HEIJDEN, K. (1996) *Scenarios: the Art of Strategic Conversation*, Wiley.

VAN GEENHUIZEN, M., REGGIANI, A. & RIETVELD, P. (2007) New Trends in Policymaking for Transport and Regional Network Integration. IN VAN GEENHUIZEN, M., REGGIANI, A. & RIETVELT, P. (Eds.) *Policy Analysis of Transport Networks*. Aldershot, Ashgate.

VAN GEENHUIZEN, M. & THISSEN, W. A. H. (2007) A Framework for Identifying and Qualifying Uncertainty in Policy Making: The Case Of Intelligent Transport Systems. IN VAN GEENHUIZEN, M., REGGIANI, A. & RIETVELT, P. (Eds.) *Policy Analysis of Transport Networks*. Aldershot, Ashgate.

VARUM, C. A. & MELO, C. (2010) Directions in scenario planning literature - A review of the past decades. *Futures*, 42, 355-369.

WALKER, B. & MEYERS, J. A. (2004) Thresholds in Ecological and Social Ecological Systems: A Developing Database. *Ecology and Society*, 9.

WALKER, W. E. (2000) Policy Analysis: A Systematic Approach to Supporting Policymaking in the Public Sector. *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, 9, 11-27.



WALKER, W. E., HARREMOËS, J., ROTMANS, J. P., VAN DER SLUIJS, J. P., VAN ASSELT, M. B. A., JANSSEN, P. H. M. & KRAYER VON KRAUSS, M. P. (2003) Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. *Integrated Assessment*, 4, 5-17.

WALKER, W. E., MARCHAU, V. A. W. J. & SWANSON, D. (2010) Addressing deep uncertainty using adaptive policies: Introduction to section 2. *Technological Forecasting and Social Change*, 77, 917-923.

WALKER, W. E., RAHMAN, S. A. & CAVE, J. (2001) Adaptive Policies, Policy Analysis, and Policymaking. *European Journal of Operational Research*, 128, 282-289.

WARDEKKER, J. A., DE JONG, A., KNOOP, J. M. & VAN DER SLUIJS, J. P. (2010) Operationalising a Resilience Approach to Adapting an Urban Delta to Uncertain Climate Changes. *Technological Forecasting and Social Change*, 77, 987-998.

The image features a solid blue background with three large, overlapping white circles. The circles are positioned in the upper left, lower left, and right-center areas of the frame. In the bottom right corner, the website address 'www.kennisvoorklimaat.nl' is written in white, sans-serif font.

www.kennisvoorklimaat.nl