

Ecologische begrippen:

Veerkracht en verwante begrippen in het kader van
Beleid Ondersteuning Programmabureau Zuidwestelijke
Delta

Marijn Tangelder, Karin Troost, Douwe van den Ende
& Tom Ysebaert

Rapport C068/12



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Ministerie EL&I, Directie RRE
Postbus 6111
5600 HC Eindhoven

BO-11-015-004

Publicatiedatum:

Juni 2012

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

P.O. Box 68

1970 AB IJmuiden

Phone: +31 (0)317 480900

Fax: +31 (0)317 48 73 26

E-Mail: imares@wur.nl

www.imares.wur.nl

P.O. Box 77

4400 AB Yerseke

Phone: +31 (0)317 48 09 00

Fax: +31 (0)317 48 73 59

E-Mail: imares@wur.nl

www.imares.wur.nl

P.O. Box 57

1780 AB Den Helder

Phone: +31 (0)317 48 09 00

Fax: +31 (0)223 63 06 87

E-Mail: imares@wur.nl

www.imares.wur.nl

P.O. Box 167

1790 AD Den Burg Texel

Phone: +31 (0)317 48 09 00

Fax: +31 (0)317 48 73 62

E-Mail: imares@wur.nl

www.imares.wur.nl

© 2011 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO

KvK nr. 09098104,

IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V12.2

Inhoudsopgave

1.	Ecologische begrippen	7
1.1	Achtergrond	7
1.2	Focus.....	7
1.3	Doel	7
1.4	Werkwijze	7
1.5	Leeswijzer	8
2.	Beschrijving "veerkracht" en verwante begrippen	9
2.1	Evolutie van het concept veerkracht	9
2.2	Veerkracht van een estuarium: ecologie vs morfologie	10
2.3	Robuustheid	10
2.4	Estuariene dynamiek.....	10
2.5	Biodiversiteit en ecosysteem functioneren	12
2.6	Uniciteit	13
3.	Toepassing ecologische begrippen in de Zuidwestelijke Delta.....	14
3.1	Gebiedsbeschrijving	14
3.2	Ecologische begrippen in de Zuidwestelijke Delta	15
	Ecologische veerkracht	15
	Robuustheid.....	15
	Estuariene dynamiek.....	15
	Biodiversiteit en adaptief vermogen.....	16
	Uniciteit	19
4.	Trends in biodiversiteit in de Zuidwestelijke Delta	20
4.1	Inleiding	20
4.2	Methode.....	20
	Data inwinning & beschikbaarheid	20
	Indices voor biodiversiteit	21
	Statistische analyse	22
4.3	Resultaten.....	22
	Vogels.....	22
	Vissen.....	24
5.	Conclusie & discussie.....	25
5.1	Ecologische begrippen in de Zuidwestelijke Delta	25
5.2	Biodiversiteit analyse	26
5.3	Tot slot	27
6.	Referenties	28
7.	Kwaliteitsborging	30
8.	Verantwoording	31
9.	Bijlagen: Significantie tabellen.....	32

Samenvatting

Een veilige, veerkrachtige en vitale Zuidwestelijke Delta (ZW Delta), dat is het ideaalbeeld van de Stuurgroep Zuidwestelijke Delta. De term "veerkracht" of "ecologische veerkracht" wordt met toenemende mate gebruikt als een gewenste eigenschap van een deltasysteem. Maar wat is ecologische veerkracht precies en wanneer is een systeem veerkrachtig? Dit zijn centrale vragen in dit rapport, die een eerste aanzet is om de betekenis van het concept ecologische veerkracht en verwante begrippen te bediscussiëren en concretiseren. Daarnaast wordt ingegaan op de trend in biodiversiteit in de verschillende bekkens. Onder biodiversiteit wordt het aantal soorten, oftewel de soortenrijkdom verstaan. Inzicht hierin is belangrijk om de gevolgen van het waterbeheer op de biodiversiteit en het ecologisch functioneren van het systeem te begrijpen, zowel op niveau van verschillende bekkens als van de hele delta. Het doel van deze studie is daarom tweeledig en bestaat uit een theoretisch en toegepast deel:

- Afbakening van het begrip "ecologische veerkracht" en verwante begrippen "robuustheid", "estuariene dynamiek", "biodiversiteit" en "uniciteit" en bediscussiëring en concretisering van deze begrippen voor toepassing in de ZW Delta.
- Beknopte Analyse van veranderingen in biodiversiteit van vogels en vissen in de verschillende bekkens en op het niveau van de gehele ZW Delta in relatie tot de Deltawerken. Deze analyse wordt gebruikt om ecologische begrippen te illustreren en nader toepasbaar te maken op de ZW Delta.

Deze studie maakt onderdeel uit van Beleidsondersteunend onderzoek in het kader van EL&I-programma's en Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta (BO-11-015-004) en betreft taak 1 "ecologische begrippen".

Ecologische veerkracht is een relatief jong concept en kent meerdere definities. Een ecosysteem (zoals in de Zuidwestelijke Delta) en ook de wijze waarop deze in staat is goederen en diensten te leveren kan meestal niet los gezien worden van menselijke invloeden. De definitie voor ecologische veerkracht die we hier hanteren is ontwikkeld door de Resilience Alliance en gaat uit van de betekenis in Socio-Ecologische context:

The capacity of a system to absorb disturbance and reorganize while undergoing change so as to still retain essentially the same function, structure and feedbacks – and therefore the same identity (Walker and Meyers 2004).

Robuustheid en ecologische veerkracht worden vaak door elkaar gebruikt en hebben in wezen dezelfde betekenis, al wordt robuustheid vaak gebruikt als verwijzing naar omvang, connectiviteit en samenhang. Ecosystemen zijn van nature dynamisch en aan veranderingen onderhevig waardoor effecten van verstoringen vaak onzeker en lastig meetbaar zijn. Systemen kunnen soms lange tijd veerkracht vertonen als zich verstoringen voordoen totdat op een gegeven moment een drempelwaarde overschreden wordt (*tipping point*). Voor het voeren van beleid is het belangrijk om de omslagpunten vooraf te kennen.

Een ecologisch veerkrachtig estuarium is in staat om verstoringen zodanig op te kunnen vangen dat functie, structuur en terugkoppelmechanismen van het estuariene ecosysteem behouden blijven of zich kunnen herstellen. De Deltawerken hebben het estuariene ecosysteem vergaand beïnvloed door het stilleggen van getij, stroming en sediment- en zoutwater transport en grotendeels de rivierinvloed (zoet water, sediment, nutriënten). Als we estuariene ecosystemen beschouwen zoals in de ZW Delta is het ecologisch functioneren nauw verbonden met **estuariene dynamiek**: de benaming voor het samenspel van verschillende abiotische factoren karakteristiek voor een estuarien milieu met vele geleidelijke overgangen (gradiënten) en een grote variatie aan habitats. Om de ecologische veerkracht in de ZW Delta te versterken wordt er gedacht aan het herstellen van estuariene dynamiek.

Naast estuariene dynamiek is ook **biodiversiteit** en ecosysteem functioneren van belang in relatie tot ecologische veerkracht. Biodiversiteit is bepalend voor het adaptief vermogen van een ecosysteem. Adaptief vermogen is het vermogen van een ecosysteem functie, structuur en terugkoppelingsmechanismen kan behouden ondanks verstoringen (Kramer and Geijzendorffer 2009) en daarmee bepalend voor ecologische veerkracht. Biodiversiteit kan gezien worden als een maatstaf voor ecosysteem functioneren (behoud van functies en het leveren van ecosysteem goederen en diensten) en daarmee indirect ook voor ecologische veerkracht (behoud van structuur, functie en terugkoppel mechanismen van een ecosysteem ondanks veranderingen). Voor wat betreft biodiversiteit hebben soortengemeenschappen in de ZW Delta veranderingen doorgemaakt doordat zich naast getijdensystemen (Oosterschelde, Westerschelde en de Voordelta) nieuwe stagnante zoet-, brak- en zoutwater ecosystemen hebben gevormd als gevolg van de Deltawerken. Dit heeft ook grote gevolgen gehad voor de levensgemeenschappen van een estuarien milieu daar waar nieuwe milieus zijn ontstaan. In relatie tot robuustheid valt te concluderen dat het systeem is versnipperd en aan samenhang en connectiviteit verloren heeft. De **Uniciteit** (zeldzaamheid van soorten of soortengroepen) van de delta is ook verandert. Enerzijds is de estuariene dynamiek die ten grondslag ligt aan grote habitat en soorten verscheidenheid en unieke soorten weggevallen maar zijn ook nieuwe ecosystemen (zoet, brak, zout) ontstaan met uiteenlopende karakteristieken en soorten. Het is van belang om op te merken dat een bekken een lage biodiversiteit kan hebben, maar toch een hoge uniciteit door het voorkomen van bijvoorbeeld sterk aangepaste of gespecialiseerde zeldzame soorten. Zo is de brakwater zone in een estuarium van nature soorten arm ten opzichte van zoet- en zoutwatersystemen. Door de hoge dynamiek kunnen maar enkele, vaak zeldzame en gespecialiseerde soorten overleven.

Binnen deze studie is ook een beknopte biodiversiteitanalyse uitgevoerd van de trend van vogels en vissen in de verschillende bekkens. De resultaten laten zien dat van vogels en vissen de biodiversiteit van de gehele delta groter is dan die van afzonderlijke bekkens. Dit betekent dus dat in sommige bekkens soorten voorkomen die niet in andere bekkens voorkomen wat te maken heeft met de uiteenlopende karakteristieken van de bekkens. De resultaten laten zien dat voor beide soortengroepen soortenrijkdom van de hele delta hoger is als die in de afzonderlijke bekkens. Het aantal vogelsoorten in de delta stijgt van 94 in 1987 naar 111 in 2008. Het aantal vissoorten laat een lichte stijging zien in de zoute bekkens (Oosterschelde, Westerschelde en Grevelingen) van 26 in 1970 tot 28 vissoorten 1987 (periode van databeschikbaarheid). Voor de zoete bekkens geldt dat het aantal soorten in het Hollandsch Diep gelijk is met die van alle zoete bekkens. In de overige zoete bekkens is een significante afname van het aantal vissoorten te zien (1995-2008) van 78% in het Volkerak en 86% in het Zoommeer. Een belangrijke vraag is of de biodiversiteit in ZW Delta als geheel er op voor- of achteruit is gegaan na de bouw van de Deltawerken. De resultaten suggereren (met name voor vogels) dat de soortenrijkdom is gestegen, waar uit geconcludeerd kan worden dat de biodiversiteit van de gehele Delta is verbeterd. Anderzijds is ook zichtbaar dat de soortenrijkdom voor vogels in de zoete bekkens lager is dan in de zoute (Grevelingen en Veerse Meer) en dynamisch zoute bekkens (Westerschelde en Oosterschelde). Voor vissen geldt dat de soortenrijkdom in het Volkerak en Zoommeer sterk afneemt. Hier is waarschijnlijk sprake van een degeneratie van soortenrijkdom door het ontstaan van een eutroof milieu waarbij slechts enkele soorten karpersachtigen domineren. Vanuit deze invalshoek is te beredeneren dat de soortenrijkdom hier juist achteruit is gegaan doordat de kwaliteit in deze bekkens is verminderd.

Ecologische veerkracht van een estuariene ecosysteem wordt in grote mate bepaald door estuariene dynamiek en de biodiversiteit. Een belangrijke vraag is nu: leidt herstel van estuariene dynamiek tot meer ecologische veerkracht in de delta? De resultaten uit de analyse suggereren dat herstelmaatregelen gericht op het vergroten van estuariene dynamiek, mogelijk voor een daling in biodiversiteit zouden kunnen zorgen. Deze herstelmaatregelen maken de delta als estuariene ecosysteem als geheel ecologisch veerkrachtiger door het vergroten van estuariene dynamiek, maar leiden anderzijds tot een daling van karakteristieke soorten van de sub-ecosystemen (zoet/brak/zout) die zich na compartimentering gevormd hebben. In sommige bekkens zoals het Volkerak en Zoommeer waar een

verarming in vissoorten heeft opgetreden, zou herstel van estuariene dynamiek juist positieve gevolgen voor de soortenrijkdom kunnen hebben.

1. Ecologische begrippen

1.1 Achtergrond

De Zuidwestelijke Delta (ZW Delta) is misschien wel de best beveiligde delta ter wereld. Maar er zijn ook problemen met de waterkwaliteit, morfologische processen (bijv. erosie van getijdeplaten in de Oosterschelde) en de ecologie in en rondom de verschillende bekkens. Oplossingen worden gezocht in de richting van (gedempte) terugkeer van estuariene dynamiek. Op de langere termijn speelt de vraag of de regio flexibel om kan gaan met de gevolgen van klimaatverandering.

Het Uitvoeringsprogramma Zuidwestelijke Delta ontwikkelt plannen om in te kunnen spelen op deze problemen en kansen. Deze studie maakt onderdeel uit van Beleidsondersteunend onderzoek in het kader van EL&I-programma's en Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta (BO-11-015-004) en betreft taak 1 "ecologische begrippen".

1.2 Focus

Een veilige, veerkrachtige en vitale ZW Delta, dat is het ideaalbeeld van de Stuurgroep Zuidwestelijke Delta. Met een veerkrachtigere delta wordt hier bedoeld: *"een gezond watermilieu en ruimte voor de belangrijkste schoonheid van de delta, de overgangen tussen zoet en zout en tussen nat en droog (Zuidwestelijke Delta 2010)."*

De term "veerkracht" of "ecologische veerkracht" wordt met toenemende mate gebruikt als een gewenste eigenschap van een deltasysteem. Veerkracht in zijn algemeenheid verwijst naar soepelheid, flexibiliteit of het vermogen om "terug te veren" na een verstoring. Zeker in het licht van een onzekere toekomst als gevolg van een veranderend klimaat en groeiende menselijke impact op het estuariene ecosysteem is de bestendigheid tegen verstoringen van toenemend belang. Vaak wordt dit begrip toegepast zonder scherp afgebakende betekenis. Wat is ecologische veerkracht precies? Wanneer is een systeem veerkrachtig? Welke factoren zijn hierop van invloed? Dit zijn centrale vragen in dit rapport, die een eerste aanzet is om de betekenis van het concept ecologische veerkracht en verwante begrippen als een van de drie pijlers van het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta te bediscussiëren en concretiseren.

De effecten van de Deltawerken in zijn algemeenheid zijn goed bekend en beschreven, maar kennis over hoe de biodiversiteit zich daarna heeft ontwikkeld in de verschillende bekkens is slechts in beperkte mate bekend en vaak versnipperd (op niveau van individuele watersystemen en/of afzonderlijke groepen organismen). Inzicht hierin is echter belangrijk om de gevolgen van het waterbeheer op de biodiversiteit en het ecologisch functioneren van het systeem te begrijpen, zowel op niveau van verschillende bekkens als van de hele delta.

1.3 Doel

Het doel van deze studie is tweeledig en bestaat uit een theoretisch en toegepast deel:

- Afbakening van het begrip "ecologische veerkracht" en verwante begrippen "robuustheid", "estuariene dynamiek", "biodiversiteit" en "uniciteit" en bediscussiëring en concretisering van deze begrippen voor toepassing in de ZW Delta.
- Beknopte Analyse van veranderingen in biodiversiteit van vogels en vissen in de verschillende bekkens en op het niveau van de gehele ZW Delta in relatie tot de Deltawerken. Deze analyse wordt gebruikt om ecologische begrippen te illustreren en nader toepasbaar te maken op de ZW Delta.

1.4 Werkwijze

Ecologische begrippen

Voor het uitdiepen van de ecologische begrippen is allereerst een overzicht gemaakt van verschillende definities van ecologische veerkracht in de literatuur, maar ook hoe hier invulling aan wordt gegeven in het huidige beleid. Het Uitvoeringsprogramma Zuidwestelijke Delta 2010 heeft hiervoor als basis gediend. Vervolgens zijn op basis van relevante literatuur, beschikbare onderzoeksrapporten, verschillende websites het begrip "ecologische veerkracht" en de verwante begrippen verder uitgediept.

Analyse biodiversiteit

Voor verschillende datasets van vogels en vissen zijn de volgende biodiversiteits indices berekend: Shannon-Wiener index voor biodiversiteit, Pilon's index voor Evenness (relatieve aantallen van de soorten) en de soortenrijkdom (het aantal soorten). In Hoofdstuk 4 wordt de werkwijze uitgelegd.

1.5 Leeswijzer

Allereerst wordt het concept ecologische veerkracht en verwante ecologische begrippen robuustheid, estuariene dynamiek, biodiversiteit en uniciteit verder uitgediept en besproken in Hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 bespreekt de relevantie en toepassing van deze begrippen in de ZW Delta. Om deze begrippen te illustreren en nader toepasbaar te maken bespreekt hoofdstuk 4 een beknopte biodiversiteit analyse van vogels en vissen. Hier wordt ingegaan op de biodiversiteitstrend in de tijd in de verschillende bekkens en in relatie tot de biodiversiteit in de gehele delta.

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het EL&I-programma Beleidsondersteunend Onderzoek thema Gebiedsgerichte Deltaprogramma's

2. Beschrijving “veerkracht” en verwante begrippen

2.1 Evolutie van het concept veerkracht

Veerkracht is een relatief jong concept in de ecologie. Het werd in 1973 voor het eerst geïntroduceerd door Holling als: “de maximale verstoring die een ecosysteem kan ondergaan waarbij het zich nog steeds kan herstellen in de richting van de vroegere situatie” (Holling 1973). Daarnaast wordt veerkracht ook wel gedefinieerd als: “De snelheid waarmee een systeem, na een verstoring, kan terugkeren naar het evenwicht” (Pimm 1991; Neubert and Caswell 1997). Door Holling werd deze definitie ook wel benoemd als “toegepaste veerkracht” (“engineering resilience”, (Holling 1996)).

De afgelopen decennia is “veerkracht” meerdere malen opnieuw gedefinieerd en heeft het een bredere betekenis gekregen die betrekking heeft op meerdere disciplines naast ecologie (Brand and Jax 2011). Door bredere toepassing van het begrip veerkracht vervaagt de afbakening en heeft het verschillende betekenissen afhankelijk van de context waarin het wordt toegepast.

De “Resilience Alliance” (Resilience Alliance 2011) is een team van vooraanstaande wetenschappers en mensen uit de praktijk uit verschillende disciplines die samenwerken aan het bundelen en ontwikkelen van kennis over veerkracht en duurzaamheid. De Resilience Alliance benoemt de relatie tussen mens en natuur in de context van veerkracht als een “Socio-Ecological System” (SES), gedefinieerd als: *A multi-scale pattern of resource use around which humans have organized themselves in a particular social structure (distribution of people, resource management, consumption patterns, and associated norms and rules*

Het gaat hierbij dus om een systeembenadering waarbij interacties tussen maatschappij en het ecosysteem beschouwd worden. Enerzijds voedt het ecosysteem de maatschappij (ecosysteem goederen en diensten) en anderzijds voedt de maatschappij het ecosysteem (reststromen, afval etc.). Als het gaat om de gezondheid van een ecosysteem en waarop het in staat is goederen (bv. voedsel in de vorm van vissen en schelpdieren) en diensten (bv. afbraak van afvalstoffen) te leveren, kunnen mens en natuur niet los van elkaar worden gezien. Dit geldt ook voor de ZW Delta waar het functioneren van het estuarium als ecosysteem niet los kan worden gezien van de socio-economische context van de gehele delta. In dit rapport beschouwen we de ZW Delta daarom als één Socio-Ecologisch Systeem. In deze context wordt ecologische veerkracht gedefinieerd als:

The capacity of a system to absorb disturbance and reorganize while undergoing change so as to still retain essentially the same function, structure and feedbacks – and therefore the same identity (Walker and Meyers 2004).

Dus hoewel er veranderingen plaatsvinden als gevolg van een verstoring of ingreep blijven structuur, functie en terugkoppelingsmechanismen in wezen behouden. Deze definitie van ecologische veerkracht is het uitgangspunt voor deze studie.

De laatste jaren is er veel (theoretisch) onderzoek gedaan naar de veerkracht van ecosystemen en hoe verstoringen hier op inwerken. Hierbij zijn ook heel wat nieuwe inzichten/concepten tot stand gekomen die te maken hebben met hoe systemen reageren op verstoringen en er eventueel van herstellen (bijv. van (Nes and Scheffer 2007; Scheffer 2009; Carpenter, Cole et al. 2011)). De effecten van verstoringen op ecosystemen zijn vaak onzeker omdat tussen verschillende soorten en functies/processen binnen een ecosysteem vaak complexe, niet-lineaire relaties bestaan. Dat betekent soms dat systemen lange tijd veerkracht kunnen vertonen als zich verstoringen in het systeem voordoen, maar dat op een gegeven moment een drempelwaarde overschreden kan worden, waardoor een abrupte verandering in het ecosysteem kan optreden (tipping point). Deze verandering kan zichzelf versterken (positieve feedback), of er kan een vertraging in de tijd zijn tussen de activiteiten die de omslag veroorzaken en het omslagpunt zelf. In beide gevallen is het zeer moeilijk om deze systeemveranderingen weer terug te draaien. Voorbeelden van omslagpunten zijn de massale degradatie van koraalriffen als gevolg van overbevissing, verstoring van meren door eutrofiëring, vegetatieveranderingen als gevolg van veranderende neerslagpatronen, en waarschijnlijk de vorming van de Saharawoestijn (Scheffer 2009).

Voor het voeren van beleid is het belangrijk om de omslagpunten vooraf te kennen: waar liggen de drempelwaarden en wanneer worden deze overschreden? Er is echter (nog) te weinig kennis beschikbaar om voorspellend iets te kunnen zeggen over deze mogelijke omslagpunten.

2.2 Veerkracht van een estuarium: ecologie vs morfologie

Voor de realisatie van de Deltawerken was de ZW Delta een netwerk van estuaria waar rivieren in zee uitmondden. Een estuarium is een riviermond die gedeeltelijk door land is ingesloten, waar zoet water afkomstig van land mengt met zeewater in een getijdegebied (Pritchard 1967). Estuaria worden primair gedomineerd door hydro-morfologische en chemische processen die bepalend zijn voor biotische processen (ontwikkeling van soorten en levensgemeenschappen). In een estuarium kunnen we daarom niet enkel spreken van ecologische veerkracht omdat deze, onlosmakelijk verbonden is met morfologische veerkracht (Klein, Smit et al. 1998; Nicholls and Branson 1998): de balans tussen opbouw en afbraak van de bodem. Dit ligt ten grondslag aan diversiteit in landschappen (platen, slikken, stranden, duinen etc.) die zorgen voor biologische diversiteit. Met name de vorming van lagere en hogere slikken in de intergetijde zone is daarbij van belang. Deze vormen de basis voor ontwikkeling van levensgemeenschappen op de slikken en ontwikkeling van schorren wanneer de hogere delen begroeid raken met schorplanten. Slikken en schorren zijn van cruciaal belang voor het mariene voedselweb evenals voor (migrerende) vogels en spelen daarmee een belangrijke rol in het behoud van biodiversiteit. Daarnaast ondersteunen slikken en schorren een breed scala aan goederen en diensten als kustverdediging (demping van golven), oogst van economische soorten (vis, schelpdieren, schaaldieren etc.), bioremediatie (omzetten verontreinigingen), waterzuivering (opname van nutriënten) en hebben ze ook culturele en esthetische waarden (recreatie en landschap) (King and Lester 1995; Boorman 1999; Möller, Spencer et al. 2001; Boyd 2002; Beaumont, Austen et al. 2008). Een voorbeeld van verminderde morfologische veerkracht in de ZW Delta is het veranderende morfologische evenwicht in de Westerschelde. Het evenwicht en stabiliteit van het meergeulensysteem wordt hier in belangrijke mate beïnvloed door het baggeren en storten van sediment voor vaargeulonderhoud en delfstofwinning. Deze activiteiten leiden echter tot een verandering in de stabiliteit van het geulensysteem waarbij een meergeulensysteem kan veranderen naar een eengeulensysteem (Mulder, Cleveringa et al. 2010). Verminderde morfologische veerkracht leidt in dit geval tot minder habitatdiversiteit voor levensgemeenschappen. Door deze verandering, vermindert mogelijk ook het ecologisch functioneren van het systeem.

2.3 Robuustheid

De termen "robuustheid" en "veerkracht" worden vaak door elkaar gebruikt. In het beleid over de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en Natura 2000 wordt robuustheid ook gerelateerd aan samenhang en omvang van een gebied. Zo is een "robuuste ecologische verbinding", zoals benoemd in de Nota Ruimte: een uitzonderlijk brede verbinding tussen natuurgebieden met als doel om de samenhang en connectiviteit te vergroten om te komen tot een systeem dat veranderingen (bv klimaatverandering) kan opvangen (Ministerie van LNV 2006). Robuuste ecologische verbindingen worden enkel op het land toegepast, maar geven wel het belang van connectiviteit en samenhang aan voor de ecologische veerkracht van een systeem. In het Uitvoeringsprogramma Zuidwestelijke Delta wordt robuustheid van de delta gerelateerd aan samenhang en draagkracht. In het Nationaal Waterplan staat dat een watersysteem veerkrachtiger is wanneer natuurlijke processen worden benut of de ruimte krijgen.

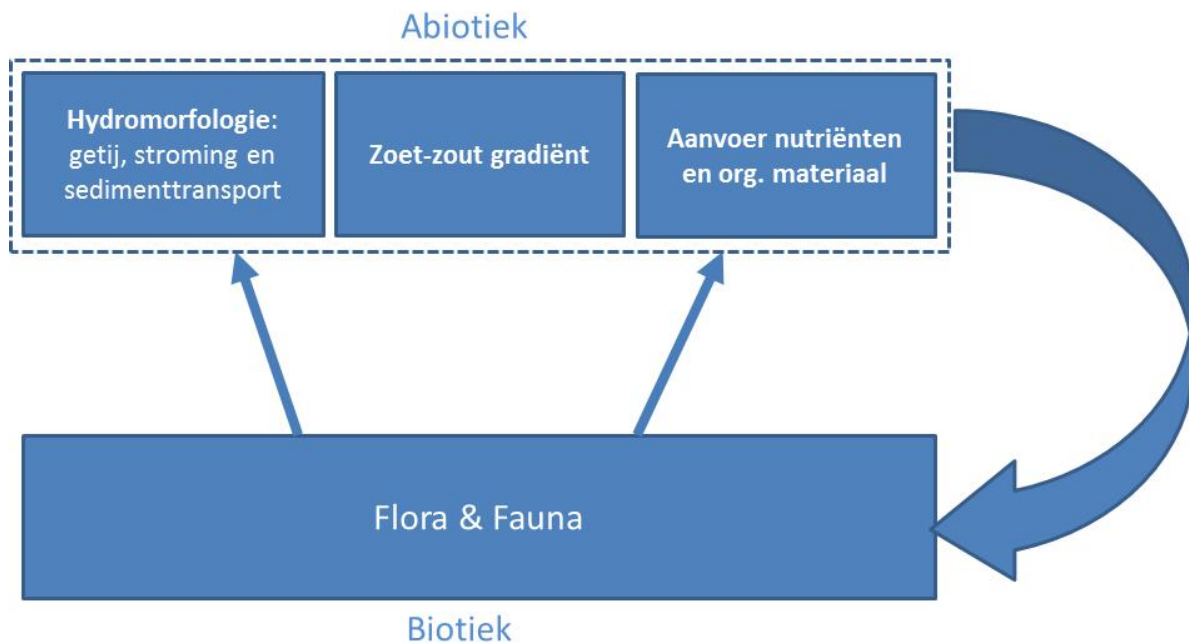
Samengevat verwijzen de toepassingen van het begrip "robuustheid" in het beleid naar systeembehoud of -herstel. In essentie betekenen robuustheid en ecologische veerkracht hetzelfde, uitgaande van de bredere definitie van ecologische veerkracht gericht op het vermogen om verstoringen te kunnen absorberen met behoud van ecologisch functioneren (goederen en diensten) van een systeem (Levin and Lubchenco 2008). In deze studie worden deze dus als synoniemen beschouwd.

2.4 Estuariene dynamiek

Het ecologisch functioneren van een estuarien ecosysteem zoals in de ZW Delta is sterk verbonden met estuariene dynamiek. In 2003 is de Integrale visie op de Deltawateren (Provincie Zeeland 2003) opgesteld met als doel oplossingsrichtingen te verkennen voor de problemen in de verschillende bekkens van de ZW Delta. Herstel van estuariene dynamiek wordt, als intrinsieke waarde van de Delta, als de

belangrijkste zoekrichting beschreven (zie ook Baptist et al. (2007), Haas & Tosserams (2005)). In het Uitvoeringsprogramma Zuidwestelijke Delta wordt het vergroten van estuariene dynamiek dan ook als hoofddoel gesteld om de ecologische problemen te verhelpen, voorwaardelijk voor een ecologisch veerkrachtig systeem: *"Meer estuariene dynamiek leidt tot een betere waterkwaliteit en een gezonder watermilieu, met als resultaat een ecologisch veerkrachtigere delta. Meer ecologische veerkracht is de basis voor het behouden en waar nodig verder ontwikkelen van de typerende deltanatuur. En dat heeft weer positieve effecten voor de leefomgeving en voor de regionale economie, waaronder wonen, visserij, recreatie en toerisme (Zuidwestelijke Delta 2010)."* Hier valt uit af te leiden dat meer estuariene dynamiek een middel is voor een ecologisch veerkrachtiger systeem.

Estuariene dynamiek is de benaming voor het samenspel van verschillende abiotische factoren karakteristiek voor een estuarien milieu met vele geleidelijke overgangen (gradiënten) en een grote variatie aan habitats. Estuariene gradiënten zijn geleidelijke overgangen tussen de zee en de rivier enerzijds en tussen het water en het land anderzijds, zoals die van nature in estuaria voorkomen, waarbij zowel het getij, als de afvoer van zoet water, de menging van zout en zoet water, de diversiteit in sedimentatie en de natuurlijke dynamiek een grote rol speelt (De Leeuw and Backx 2001). Abiotische aspecten in een estuarium kunnen op verschillende manieren worden ingedeeld. Omdat in het beleid de nadruk ligt op herstel van estuariene dynamiek wordt de indeling gehanteerd zoals in Figuur 1 is weergegeven: hydromorfologie, zoet-zout gradiënt en aanvoer nutriënten en organisch materiaal. Dit zijn abiotische sleutel aspecten van estuariene dynamiek voorwaardelijk voor de ontwikkeling van estuariene levensgemeenschappen. Met hydromorfologische processen wordt de waterbeweging bedoeld. Het getij (verticaal) en stroming (horizontaal) en het transport van sediment wat ten grondslag ligt aan sedimentatie en erosie processen, van belang voor het vormen van het estuariene landschap met slikken, platen, schorren, ondiepwatergebieden en diepe geulen. Een combinatie van wisselende rivierafvoeren en getij zorgt voor variabele zoutgehalten en een overgang van zoet water in de rivier naar brak in de overgangszone tot zout water nabij de monding en in zee (zoet-zout gradiënt). Tot slot zijn de aanvoer van nutriënten en organisch materiaal vanuit de rivieren een belangrijk aspect in een estuarium, omdat dit in grote mate de primaire productie en de doorwerking in het voedselweb bepaalt. De Oosterschelde een productief systeem is maar heeft geen aanvoer van nutriënten vanuit de rivieren. De combinatie van een relatief hoog doorzicht in combinatie met grote oppervlakte ondiep water zorgt ervoor dat de primaire productie nog relatief hoog is. Al deze abiotische aspecten bepalen in grote mate het voorkomen en de ontwikkeling van estuariene flora & fauna (Figuur 1). Tegelijkertijd kunnen abiotische processen in mindere mate ook beïnvloed worden door biotische processen bijvoorbeeld wanneer schorvegetatie zorgt voor bevordering van sedimentatie.



Figuur 1, een schematisatie van de relatie tussen abiotiek en biotiek in een estuarium.

2.5 Biodiversiteit en ecosysteem functioneren

Ecologische veerkracht hangt nauw samen met het adaptief vermogen van het ecosysteem (Kramer and Geijzendorffer 2009). Met adaptief vermogen wordt het vermogen bedoeld waarmee een ecosysteem haar functie, structuur en terugkoppelingsmechanismen kan behouden ondanks verstoringen. Een ecosysteem kan daarbij veranderen in soortensamenstelling en –abundantie als reactie op veranderende omstandigheden (bijvoorbeeld klimaatverandering) maar toch dezelfde ecosysteemfuncties vervullen (Kramer and Geijzendorffer 2009). Het adaptief vermogen wordt in grote mate bepaald door biodiversiteit. Onder biodiversiteit wordt hier de rijkdom aan soorten verstaan (“Species diversity”). Daarnaast is ook de genetische en ecosysteem diversiteit (“Genetic diversity” en “Ecosystem diversity”) van belang in de context van deze studie. Genetische diversiteit verwijst naar de variatie in genetische samenstelling van individuen van een populatie, soort of gemeenschap. Genetische diversiteit is een belangrijke voorwaarde voor evolutionaire aanpassing aan een veranderende omgeving en bepaald de mate van variatie tussen individuen hoe groter overlevingskansen (www.marbef.org). Ecosysteem diversiteit heeft betrekking op de diversiteit in levensgemeenschappen en ecosystemen. Deze wordt hier genoemd omdat deze relevant is in relatie tot de ZW Delta, doordat de bekkens van de delta met zeer uiteenlopende karakteristieken (zoutgehalte, rivierinvloed, nutriënten, primaire productie etc.) diverse ecosystemen vertegenwoordigen.

Biodiversiteit is van belang voor het voortbestaan van ecologische functies. Deze zorgen voor het in stand houden van ecosysteemfuncties waar de maatschappij van profiteert zoals zuivering van het water of het in stand houden van een gezonde vispopulatie voor de visserij. Hoe deze relatie tussen biodiversiteit en ecosysteem functioneren precies zit daar zijn wetenschappers het nog niet over eens. Er zijn uiteenlopende hypothesen die deze relatie verklaren. In een studie door Naeem et al. (2002) worden verschillende hypothesen besproken:

- De eerste theory beschrijft dat er een overvloed aan soorten is waardoor als de ene soort wegvalt deze vervangen kan worden door een andere soort met dezelfde functie (non lineair of asymptotische relatie). Elke soort heeft een eigen functie in het ecosysteem, bijvoorbeeld als producent (fotosynthese), detritivoor (afbreken organisch materiaal), herbivoor, carnivoor etc. Hoe meer verschillende soorten er zijn, hoe zekerder het voortbestaan van deze functies binnen het ecosysteem, want als de ene soort verdwijnt kan de functie door een andere soort worden overgenomen (Walker 1992; Peterson, Allen et al. 1998; Hart, Reader et al. 2001).

- De tweede theory stelt dat elke soort op zichzelf staat en dat iedere soort een unieke bijdrage levert aan ecosystem functioneren (lineaire relatie). Het verlies van elke soort betekent daarom ook een directe vermindering van het ecologisch functioneren.
- De derde theory gaat ervan uit dat invloed van soorten op het ecosysteem functioneren context afhankelijk is en daarom dus ook onvoorspelbaar (idiosyncratische relatie).

Het is niet duidelijk welk van deze hypothesen de relatie tussen biodiversiteit en ecosysteem functioneren het beste beschrijft. Dit komt doordat deze relatie zeer moeilijk te verklaren en te bewijzen is (Hart, Reader et al. 2001).

2.6 Uniciteit

Uniciteit heeft betrekking op de zeldzaamheid van een bepaald ecotoop, bepaalde soorten of soortengroepen. In de literatuur is beperkte informatie te vinden over de concrete afbakening van dit begrip. Lahr et al. (2007) beschrijft waardevolle ecotopen in termen van "biologische rijkdom" waarbij naast biodiversiteit en productiviteit (biomassa), de uniciteit ("de mate van uniekheid van de soorten in het gebied") van het ecotoop van belang is. Vanuit een uniciteitsoogpunt kunnen soortenarme, maar zeldzame gebieden nog steeds waardevol zijn als ze in belangrijke mate bijdragen aan het (geografische) verspreidingsgebied van zeldzame soorten of gemeenschappen waarmee ze bijdragen aan een verhoging van de mondiale biodiversiteit.

Estuaria herbergen door hun dynamiek een breed scala aan verschillende zoet-, brak- en zoutwater habitats. Daarnaast zijn ze van nature voedselrijk door aanvoer van nutriënten uit de rivieren, en door een hoge primaire productie in de uitgestrekte gebieden met ondiep water. Deze voedselrijkdom en specifieke fysische omstandigheden (zoals beschutting door troebelheid en ondiepte van het water waardoor het relatief snel opwarmt) maakt het gebied tot een belangrijke kraamkamer voor (trek)vissen. Daarnaast bieden de vele verschillende landschappen (duinen, strand, zand- en slikplaten, schorren) rust-, foerageer- en broedgebied voor vele verschillende vogels voor zowel lokale schaal, als op internationale schaal voor trekvogels. De grote dynamiek en daaraan gekoppelde verscheidenheid in habitats en soorten maken estuaria tot ecologische "hotspots". Deze grote verscheidenheid maakt van estuaria als geheel vrij unieke gebieden als je ze in relatie tot aangrenzende systemen (rivier, marien en terrestrische ecosystemen) beschouwd. De mate van uniekheid van de soorten in het gebied wereldwijd bepaald of de uniciteit hoog of laag is. In relatie tot ecologische veerkracht is uniciteit van een gebied alleen van ecologisch belang als het bijdraagt aan de totale biodiversiteit op grotere schaal door zeldzame soorten of soortengemeenschappen te herbergen. Een hogere biodiversiteit maakt een ecosysteem en ecologische functies stabiel en beter bestand tegen verstoringen.

3. Toepassing ecologische begrippen in de Zuidwestelijke Delta

3.1 Gebiedsbeschrijving



Figuur 2, de bekkens van de Zuidwestelijk Delta en de Deltawerken: 1. Grevelingendam, 2. Volkerakdam, 3. Haringvlietdam, 4. Brouwersdam, 5. Oesterdam, 6. Markiezaatskade, 7. Zandkreekdam, 8. Philipsdam, 9. Bathse Spuisluis, 10. Oosterscheldekering, 11. Veerse Gatdam.

Al in de 11^e eeuw trokken de eerste mensen naar de delta. Sindsdien werden met toenemend succes stukken land bedijkt en bemalen. Voor de Deltawerken bestond de ZW Delta uit vijf zeearmen (Westerschelde, Oosterschelde/Veerse Meer, Grevelingen, Haringvliet en Nieuwe Waterweg) die de rivieren Rijn, Maas en Schelde met de Noordzee verbonden. Door de aanleg van de Deltawerken (1960-1986) veranderde het systeem in een serie (half-)afgesloten zoet, zout en brakwatermeren waardoor de estuariene dynamiek grotendeels verdween. De Westerschelde bleef als enige een volledig open estuarium. De andere drie zeearmen veranderde in vijf van elkaar gescheiden bekkens: Oosterschelde, Veerse Meer, Grevelingenmeer, Volkerak-Zoommeer en Haringvliet/Hollandsch Diep (Figuur 2). Het estuariene ecosysteem is daarmee nu opgeknipt in een serie kleinere ecosystemen met uiteenlopende karakteristieken. Als geheel zijn deze systemen geen estuarium meer omdat ze geen overgangsgebied vormen van rivier naar zee. De Nieuwe Waterweg bleef ook een open arm (weliswaar met een afsluitbare kering: Maeslantkering), echter is dit een gegraven verbinding tussen de Rijn/Maas en de Noordzee en wordt in deze studie buiten beschouwing gelaten.

De Deltawerken waarborgen de veiligheid en brachten tevens de voordelen van zoetwaterbekkens voor de landbouw en betere verbindingen tussen de eilanden met zich mee. Echter ontwikkelden zich ook ongewenste, onvoorziene morfologische en ecologische effecten zoals de zandhonger in de Oosterschelde. Dit is een proces waarbij de slikken en platen eroderen doordat stroomsnelheden in de Oosterschelde te gering zijn geworden om voldoende sediment aan te voeren na de bouw van de Oosterscheldekering (Van Zanten and Adriaanse 2008). Hierdoor neemt de geschiktheid van het gebied af voor steltlopers die bij laag water hun voedsel zoeken op de slikken en platen. De Oosterschelde is voor heel wat soorten steltlopers van internationaal belang en deze functie dreigt in de toekomst verloren te gaan. Een andere onvoorziene ontwikkelingen zijn de zuurstofloosheid in de onderste waterlaag van het Grevelingenmeer (Lengkeek, Bouma et al. 2007), zeesla in het Veerse Meer (Nolte 2002) en ontwikkeling van blauwalgen in het Volkerak-Zoommeer (www.volkerakzoommeer.nl).

Deze ecologische effecten hebben ook gevolgen voor verschillende gebruiksfuncties zoals natuur, visserij, landbouw en recreatie. De erkenning dat de mens een cruciaal onderdeel is van het ecosysteem en hiervan afhankelijk is voor zowel maatschappelijke als economische ontwikkeling heeft ervoor gezorgd dat de focus van beleid en beheer in watermanagement zich nu meer gaat richten op systeemherstel (zie Provincie Zeeland 2003, van mozaïk naar aquarel). Daarnaast is in de afgelopen decennia klimaatverandering aan het licht gekomen als nieuwe ontwikkeling. De gevolgen van klimaatverandering (extremere piekafvoeren vanuit de rivieren, zeespiegelstijging, extremere stormen, opwarming van het zeewater) zijn lastig voorspelbaar en onzeker. Op kortere termijn moet gereageerd worden op lange termijn onzekere effecten. Dit alles vraagt om een integrale aanpak zoals voorgesteld door de Stuurgroep Zuidwestelijke Delta.

3.2 Ecologische begrippen in de Zuidwestelijke Delta

Ecologische veerkracht

Ecologische veerkracht is één van de drie pijlers die het Deltaprogramma als ideaalbeeld voor ogen heeft voor de ZW Delta: Veilig, Veerkrachtig en Vitaal. Ecologische veerkracht in natuurbeleid is doorgaans gericht op behoud van een systeem in een bepaalde gewenste staat/conditie, zodat goederen en diensten zo goed als mogelijk gewaarborgd kunnen worden (Resilience Alliance 2011).

Ecologische veerkracht:

The capacity of a system to absorb disturbance and reorganize while undergoing change so as to still retain essentially the same function, structure and feedbacks – and therefore the same identity (Walker and Meyers 2004).

Volgens de hierboven beschreven definitie, zou een ecologisch veerkrachtig estuarium in staat moeten zijn om verstoringen zodanig op te kunnen vangen dat functie, structuur en terugkoppelmechanismen van het estuariene ecosysteem behouden blijven of zich kunnen herstellen. Zoals eerder besproken wordt ecologische veerkracht van een estuarium in grote mate bepaald door estuariene dynamiek en de biodiversiteit maar houdt het ook verband met robuustheid en uniciteit. Hierop volgend wordt de betekenis en toepassing van deze begrippen voor de ZW Delta verder uitgediept en bediscussieerd.

Robuustheid

Zoals in het vorige hoofdstuk besproken betekenen “robuustheid” en “veerkracht” in essentie hetzelfde. In het natuurbeleid (Ecologische Hoofdstructuur en Natura 2000) wordt de term “robuustheid” echter ook vaak gebruikt in relatie tot samenhang, omvang en connectiviteit van een gebied. Daarom wordt dit begrip toch apart benoemd. Als men de ZW Delta beschouwt in termen van samenhang, omvang en connectiviteit kan met zekerheid gezegd worden dat deze zijn afgenomen na de uitvoering van de Deltawerken. De aanleg van de dammen heeft ervoor gezorgd dat het estuariene ecosysteem als geheel is opgeknijpt. De verschillende bekkens die daarvoor één verbonden systeem waren, zijn nu volledig van elkaar afgesloten.

Estuariene dynamiek

Estuariene dynamiek ligt ten grondslag aan estuariene flora en fauna en ecologisch functioneren (goederen en diensten) in het algemeen (De Leeuw and Backx 2001; Provincie Zeeland 2003). De Deltawerken hebben ervoor gezorgd dat het estuariene ecosysteem is opgeknijpt. Doordat de afzonderlijke bekkens niet meer in open verbinding met de zee en/of rivieren staan zijn deze watersystemen veranderd in zoet, brak en zoutwater systemen: in wezen dus geheel nieuwe ecosystemen. Dit geldt niet voor de Westerschelde, dat een estuarium is gebleven met een natuurlijke overgang van zoet naar zout en open verbinding met de zee. De meesten systemen zijn stagnant, soms met beperkte verversing. In de Oosterschelde bleef het getij grotendeels gehandhaafd. Als de ZW Delta als één systeem beschouwd wordt zou het gezien kunnen worden als een estuarien ecosysteem wat in onbalans wordt gehouden door dammen of als meerdere afzonderlijke (zoet-, zout-, brak- en estuariene) ecosystemen (Figuur 2).

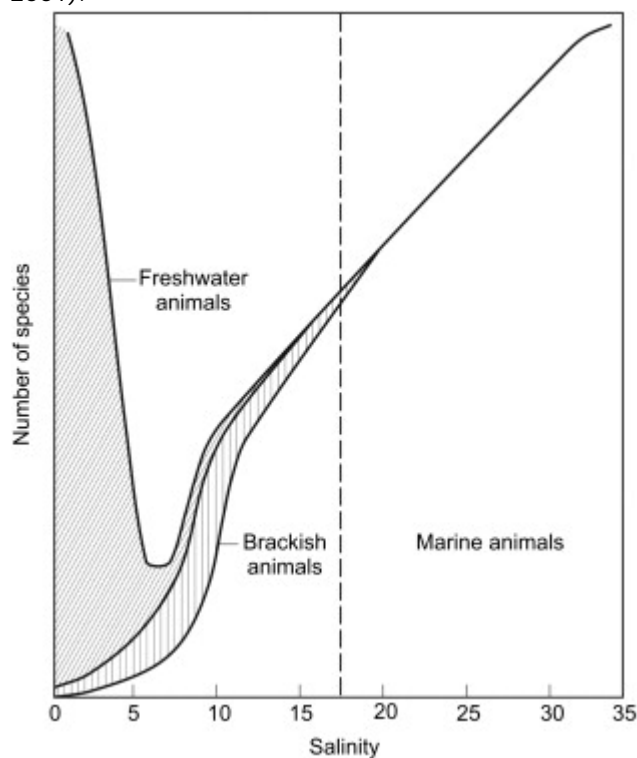
De beschrijving van estuariene dynamiek zoals besproken in het vorige hoofdstuk (Figuur 1), biedt een globale leidraad om de impact van de Deltawerken en de gevolgen van herstelmaatregelen te beschouwen. De abiotische aspecten (hydromorfologie, zoet-zout gradiënt en aanvoer van nutriënten en

organisch materiaal) staan aan de basis van het functioneren van een estuarien ecosysteem. Men kan dus stellen dat als er één of meer van deze aspecten in onbalans wordt gebracht, de mate van estuariene dynamiek afneemt of zelfs wegvalt. Dat werkt andersom voor herstelmaatregelen. Tabel 1 visualiseert de mogelijke impact van de Deltawerken op de abiotische aspecten van estuariene dynamiek. Daarnaast zijn ook de invloeden van een selectie van maatregelen zoals voorgesteld in het Uitvoeringsprogramma Zuidwestelijke Delta weergegeven. De tabel illustreert de negatieve invloed van de Deltawerken. De primaire dammen hebben vooral geleid tot het beperken of stilleggen van getij, stroming en sedimenttransport en het afsluiten van de invloed van zout water vanuit zee. Dankzij het "afsluitbaar-open" ontwerp van de Oosterscheldekering is de zoutwater invloed hier gehandhaafd gebleven. De secundaire dammen zijn niet primair verantwoordelijk voor effecten op het getij, maar beperken/eliminieren echter wel stroming, sedimenttransport, zoetwater invloed en aanvoer van nutriënten en organisch materiaal uit de rivieren. Herstelmaatregelen zijn voornamelijk gericht op verbetering van de waterkwaliteit door het terugbrengen van beperkt getij, de waterverversing te vergroten (stroming) en verbindingen tussen zoete en brakke/zoute bekken te herstellen.

Biodiversiteit en adaptief vermogen

Naast estuariene dynamiek hangt ecologische veerkracht nauw samen met het adaptief vermogen van het ecosysteem die in grote mate bepaald wordt door de biodiversiteit (Kramer and Geijzenorffer 2009). De biodiversiteit is van belang voor het zekerstellen van capaciteit die het ecosysteem heeft om goederen en diensten te leveren en te herstellen van verstoringen (Worm, Barbier et al. 2006).

De brakwaterzone in estuaria heeft van nature een lage biodiversiteit. Door de hoge dynamiek in de brakwaterzone is het soortenaantal ten opzichte van zoet- en zoutwater systemen relatief laag (Figuur 3). Dit is al begin vorige eeuw onderzocht door Remane (1934) in de Baltische Zee en later verder onderbouwd en breder toepasbaar gemaakt door Whitfield et al. (2011). Dit komt omdat maar enkele gespecialiseerde soorten kunnen overleven in dit dynamische milieu. Omdat estuaria over het geheel gezien zeer dynamische milieus zijn met vele geleidelijke overgangen bestaat er een grote verscheidenheid in habitats. Daarom is een natuurlijk estuarium toch soortenrijk (De Leeuw and Backx 2001).



Figuur 3, Deze grafiek uit Whitfield et al. (2011) laat het relatieve aantal zoet-, brak- en zoutwatersoorten zien bij verschillende zoutgehalten. De brakwaterzone heeft van nature een relatief lage soortenrijkdom. De stippellijn geeft de 50% waarde aan van het zoutgehalte van zeewater.

De soortengemeenschappen in de ZW Delta hebben grote veranderingen doorgemaakt doordat zich naast getijdensystemen (Oosterschelde, Westerschelde en de Voordelta) nieuwe stagnante zoet-, brak- en zoutwater ecosystemen hebben gevormd als gevolg van de Deltawerken. Dit heeft ook grote gevolgen gehad voor de levensgemeenschappen van een estuarien milieu daar waar nieuwe milieus zijn ontstaan. De verandering van biodiversiteit in de ZW Delta over de afgelopen decennia wordt in het volgende hoofdstuk beschouwd en geïllustreerd aan de hand van een beknopte data analyse.

Tabel 1, een visualisatie van de mogelijke invloed van de Deltawerken op estuariene dynamiek en het mogelijke effect van voorgestelde herstelmaatregelen (groen= positief effect, rood = negatief effect, grijs = onbekend).

	Primaire dammen t.b.v. de veiligheid	Secundaire dammen t.b.v. zoetwatervoorziening & scheepvaart	Herstelmaatregelen uit de Gebiedsprogramma's ZW Delta																
			Haringvliet, Hol. Diep, Biesbosch	Volkerak, West- Brabant, Oostflakkee	Bergen op Zoom aan Zee	Grevelingen en Brouwersdam	Oosterschelde en Veerse Meer	Westerschelde	Kust en Voordelta										
	Veerse Gatdam (1961)	Oosterscheldedekering (1986)	Zandkreekdam (1960)	Grevelingendam (1965)	Volkerakdam (1969)	Oesterdam (1986)	Philipsdam (1987)	Zout water beperkt toelaten via kier in Harinvlietstulzen	Toelaten zout water en beperkt getij in Volkerak-Zoommeer	Aansluiten Binnenschelde op Zoommeer en/of Oosterschelde	Verbinden Grevelingen en Volkerak-Zoommeer	Voorkeursalternatief voor toelaten getij	"zandhonger" ontwikkelen	Oplossingen voor de dijkbekleding ecologie/gebruik	Benutten innovaties	Uitvoeren peilbesluit Veerse Meer ¹	Herstel toevoer voedingsstoffen van rivieren naar Oosterschelde	Herstel estuariumnatuur ²	Benutten natuurlijke processen voor kustbeheer
Hydrologie	getij												4						
	stroming																		
	sedimenttransport								5	6									
Zoet-zout gradiënt										3									
Aanvoer nutriënten/org. mat.																			

¹ Het uitvoeren van het Peilbesluit Veerse Meer heeft met name effecten op de ecologie. Door het winterpeil te verhogen kan vegetatie en een stabiel bodemleven ontwikkelen op de delen die nu bij een laag peil droogvallen.

² Herstel van estuariumnatuur door het creëren van extra intergetijdengebied heeft met name een positief effect op de ecologie.

³ Getij, stroming en sedimenttransport zijn nog steeds mogelijk via de doorlaten in de kering, maar zijn wel gereduceerd.

⁴ De effecten op estuariene dynamiek zijn afhankelijk van de specifieke maatregel

⁵ Sedimenttransport is met name afhankelijk van het type doorlaatmiddel.

⁶ Indien wordt aangesloten op de Oosterschelde.

Uniciteit

Uniciteit heeft betrekking op de zeldzaamheid van een bepaald ecotoop, bepaalde soorten of soortengroepen. Voor de Deltawerken was de ZW Delta een uitgestrekt netwerk van estuaria met een hoge dynamiek en verscheidenheid aan habitats waar verschillende rivieren zoals de Rijn, Maas en Schelde (ook kleinere riviertjes zoals de Dintel en de Steenbergse Vliet) in zee uitmonden. De Deltawerken hebben ervoor gezorgd dat het gebied nu is opgeknipt in meerdere bekkens met uiteenlopende karakteristieken en de Westerschelde als enig overgebleven estuarium. De estuariene dynamiek die ten grondslag ligt aan de verscheidenheid in habitats en soorten is in grote mate gereduceerd. Anderzijds zijn er ook nieuwe habitats en ecotopen voor in de plaats gekomen waarvan sommigen zeldzaam. Zo is het Grevelingenmeer het grootste zout water meer van Europa. Ook de Oosterschelde als half afgesloten zoutwater baai met getij en verharde oevers (dijkwaluds) is vrij uniek. Eigenlijk is de hele delta, bestaande uit compartimenten, uniek in de wereld.

Schaub et al. (2003) beschrijft de soortenrijkdom en unieke soorten van macrobenthos in de Oosterschelde, Westerschelde, Veerse meer en Grevelingen. Tabel 2 laat zien dat van alle soorten macrobenthos in deze bekkens, de Oosterschelde het hoogste aantal unieke soorten herbergt. De meerderheid van die unieke soorten zijn Crustacea (30 soorten) (Schaub, 2003).

De harde substraten in de Oosterschelde, zoals de steenlaag aan de dijkvoet en de betonnen pilaren van waterstaatkundige kunstwerken, worden door diverse biologen en amateur duikers als de biologisch rijkste en meest diverse plaatsen aangegeven (www.anemoon.org). Daarnaast zijn Japanse oesterbanken als locaties van verhoogde biodiversiteit aangemerkt hoewel daar relatief weinig kwantitatief onderzoek in de Oosterschelde naar is gedaan.

Tabel 2, de soortenrijkdom en hoeveelheid unieke soorten macrobenthos in verschillende bekkens.

	Aantal aangetoonde soorten	% van totaal aantal soorten	Aantal unieke soorten
Westerschelde	137	56.6	16
Oosterschelde	210	86.8	52
Veerse Meer	86	35.5	4
Grevelingen	130	53.7	5
Totaal	242		

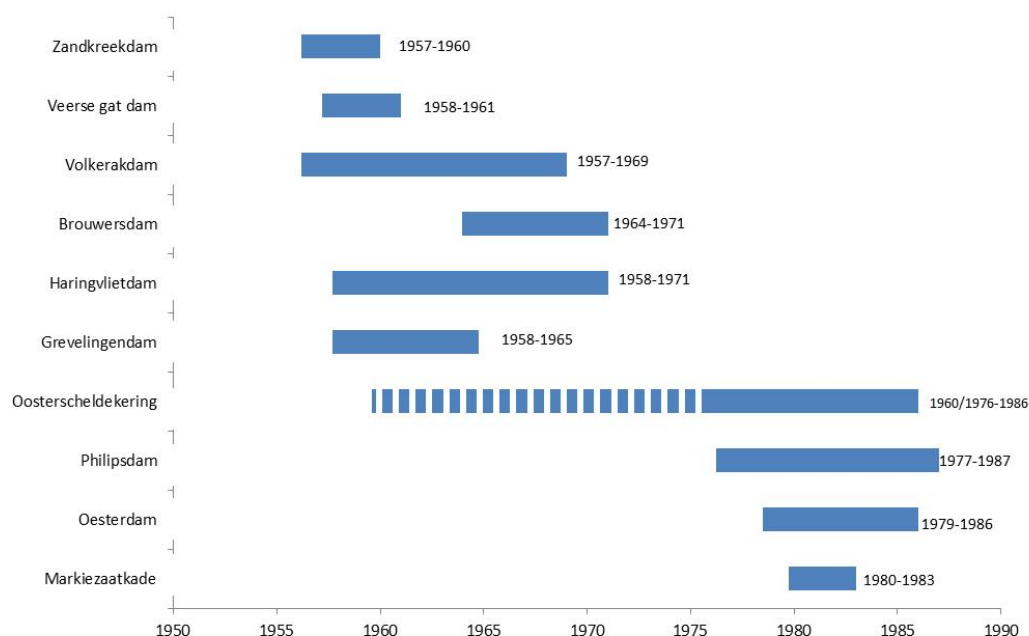
Het is van belang om hier te benoemen dat de Oosterschelde ook veel exoten soorten herbergt. Dit heeft onder andere te maken met import van schelpdieren en meegevoerde soorten (Wijsman and De Mesel 2009). Over de effecten van exoten op het ecosysteem is veel discussie en (nog) geen eenduidigheid. Ze zorgen enerzijds voor een hoge biodiversiteit en betreffen vaak voor een gebied unieke soorten omdat ze uitheems zijn, maar anderzijds verspreiden deze exoten zich naar steeds mee plekken op de wereld en verdringen ze soms ook lokale soorten. Een studie van Wijnhoven & Hummel (2009) beschrijft de ontwikkeling van exoten in de ZW Delta en gaat ook dieper in op mogelijke effecten.

4. Trends in biodiversiteit in de Zuidwestelijke Delta

4.1 Inleiding

De ZW Delta is veranderd van een uitgestrekt estuarium naar kleinere opgeknijpte gebieden met uiteenlopende karakteristieken als gevolg van de Deltawerken. De stapsgewijze constructie van de dammen (Figuur 4) heeft ervoor gezorgd dat de met elkaar verbonden riviermondingen geleidelijk veranderde in strikt van elkaar gescheiden bekkens. Als men de delta beschouwt vanuit het oogpunt van ecologische veerkracht, is het daarom interessant de verandering in biodiversiteit, die hier nauw mee samenhangt, te analyseren. Binnen dit onderzoek is hiervoor een globale analyse uitgevoerd die de verandering in biodiversiteit onderzoekt.

Doel is om de trend in biodiversiteit van vogels en vissen in de ZW Delta te relateren aan de fragmentatie van de delta als gevolg van de Deltawerken en de uitkomsten te verbinden aan de gevolgen voor de ecologische veerkracht van de hele delta als estuarium in het algemeen.



Figuur 4, Een overzicht van de bouwperiodes van de Deltawerken in de ZW Delta (exclusief de werken ten noorden van het Haringvliet). De bouw van de Oosterscheldekering was lange tijd in voorbereiding waarbij geen fysieke actie werd ondernomen (tot 1976) doordat de discussie speelde of de Oosterschelde (gedeeltelijk) open zou blijven of gesloten moest worden.

4.2 Methode

Data inwinning & beschikbaarheid

De data over het voorkomen van vogels en vissen die gebruikt zijn voor dit onderzoek zijn afkomstig van verschillende datasets. De databeschikbaarheid is niet voor alle bekkens gelijk. Tabel 3 geeft aan welke bekkens voor vogels en vissen zijn geanalyseerd). Vogeldata zijn afkomstig uit het MWTL monitoringsprogramma (MWTL: "Monitoring van de Waterstaatkundige Toestand des Lands"; in opdracht van het ministerie van I&M) en beschikbaar gesteld door de Waterdienst. Vogels in de zoute wateren in de ZW Delta worden geteld in de periode juli-juni (seizoen gemiddelden). Meeuwen in de Westerschelde, Grevelingen, Oosterschelde en Veerse Meer worden geteld in januari. Tellingen vinden plaats sinds 1978/1979 (voor meeuwen vanaf 1988) en worden sinds 1990 uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat. Incomplete jaren zijn geschat op basis van imputing (Strucker, Arts et al. 2008).

Data van vogels in zoetwaterbekkens (Haringvliet, Hollandsch Diep, Volkerak en Zoommeer) zijn afkomstig van SOVON. In deze bekkens worden tellingen van alle watervogels gedurende het hele jaar maandelijks uitgevoerd zoals beschreven in de jaarlijkse monitoringsrapportage van SOVON (Hornman, Hustings et al. 2011).

Visdata voor de zoute wateren zijn afkomstig uit de Demersal Fish Surveys (door IMARES i.o.v. het ministerie van EL&I) die de Nederlandse kustwateren inclusief Oosterschelde, Westerschelde en Grevelingen bemonsteren. De bemonsteringen vinden plaats in de periode van september-oktober en worden uitgevoerd sinds 1970. Voor het Grevelingen is tot en met 1986 bemonstert. Voor bemonstering van Oosterschelde, Westerschelde en Grevelingen is een 3m boomkor gebruikt met een maaswijdte van 20mm en een oppervlak van 80m². Data in de zoete bekkens (Hollandsch Diep, Volkerak en Zoommeer) zijn afkomstig van de Passieve Monitoring Grote Rivieren (IMARES i.o.v. EL&I). De data die gebruikt zijn voor dit onderzoek zijn bepaald met hokfuiken en staanfuiken. In de analyse zijn de Oosterschelde, Westerschelde en Grevelingen waar bemonstert is met een boomkor gescheiden gehouden van de data van Hollandsch Diep, Volkerak en Zoommeer waar vissen met fuiken zijn gevangen (Tabel 2). Deze data zijn gescheiden gehouden omdat bemonsteringen die met een boomkor gedaan zijn in aantal/ha worden uitgedrukt en fuik bemonsteringen met aantal/uur. Deze data kun je niet combineren en daarom is ook alleen soortenrijkdom bepaald en geen biodiversiteit en Evenness.

Tabel 3, Data beschikbaarheid van vogel-, vissoorten van de verschillende bekkens in de ZW Delta

Soortengroepen	Oosterschelde	Westerschelde	Grevelingen	Veerse Meer	Haringvliet	Hollandsch Diep	Volkerak	Zoommeer
Vogels	1987-2008	1987-2008	1987-2008	1987-2008	1975-2008	1975-2008	1975-2008	1986-2008
Vissen	1970-2009 (boomkor)	1970-2009 (boomkor)	1970-1986 (boomkor)	x	x	1994-2009 (fuiik)	1994-2009 (fuiik)	1995-2009 (fuiik)

Indices voor biodiversiteit

Op basis van de beschikbare data zijn de volgende indices berekend: 1) index voor biodiversiteit (Shannon Wiener index (SW-index)); 2) index voor Pilou's index voor 'evenness'; en 3) de soortenrijkdom (het aantal soorten). "Evenness", is de verhouding tussen hoeveelheid individuen per soort van alle soorten en geeft een lage waarde bij een hoge ongelijkheid (bijvoorbeeld wanneer een enkele soort heel dominant is) en een hoge waarde bij een gelijke verdeling. De Shannon Wiener index is een biodiversiteitsindex die veelal gebruikt wordt als maatstaf voor diversiteit van soortengroepen. De index waarde varieert van 0 (lage soortenrijkdom en Evenness) tot 3.5 (hoge soortenrijkdom en Evenness) hoewel sommige uitkomsten deze limieten overschrijden. Omdat de SW index (H) een maatstaf is van zowel de hoeveelheid verschillende soorten (soortenrijkdom) als de Evenness (J) per soort, geeft de uitkomst geen absolute waarde van biodiversiteit. Deze index is met name bruikbaar voor de vergelijking van verschillende ecosystemen of habitats omdat de uitkomst kan laten zien dat het ene systeem diverser en meer gelijk verdeeld is dan de ander. Hieronder staat de berekening van de indexen aangegeven.

Shannon Wiener index
$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \cdot \ln P_i$$

n_i = Aantal individuen van soort i ;

P_i = De relatieve aantallen van soort i (n_i/N)

N = Totaal aantal individuen

S = het aantal soorten (soortenrijkdom/biodiversiteit)

Evenness
$$J = \frac{H}{\ln S}$$

De SW-index en de Evenness zijn bepaald voor vogels en vissen per bekken en voor de gehele delta door alle beschikbare datasets samen te voegen en over de totalen de indices te berekenen. In de visdata is

er een onderscheid gemaakt tussen data verzameld met boomkor (in aantal per m²) en met fuiken (aantal gevangen per uur).

Statistische analyse

De tijdreeksen van vogels en vissen zijn geanalyseerd met behulp van Trendspotter versie 6.4. Dit is een programma dat is gebaseerd op structurele trend data analyse in combinatie met het Kalman filter. De grafieken geven gemodelleerde en gemeten (vissen) weer. Het programma identificeert perioden met significante toe- en afname van jaarlijkse fluctuaties. Een meer gedetailleerde beschrijving van deze methode is te vinden in Visser (2004) en Soldaat (2007). R versie 2.12.1 werd gebruikt voor statistische analyse en productie van grafieken.

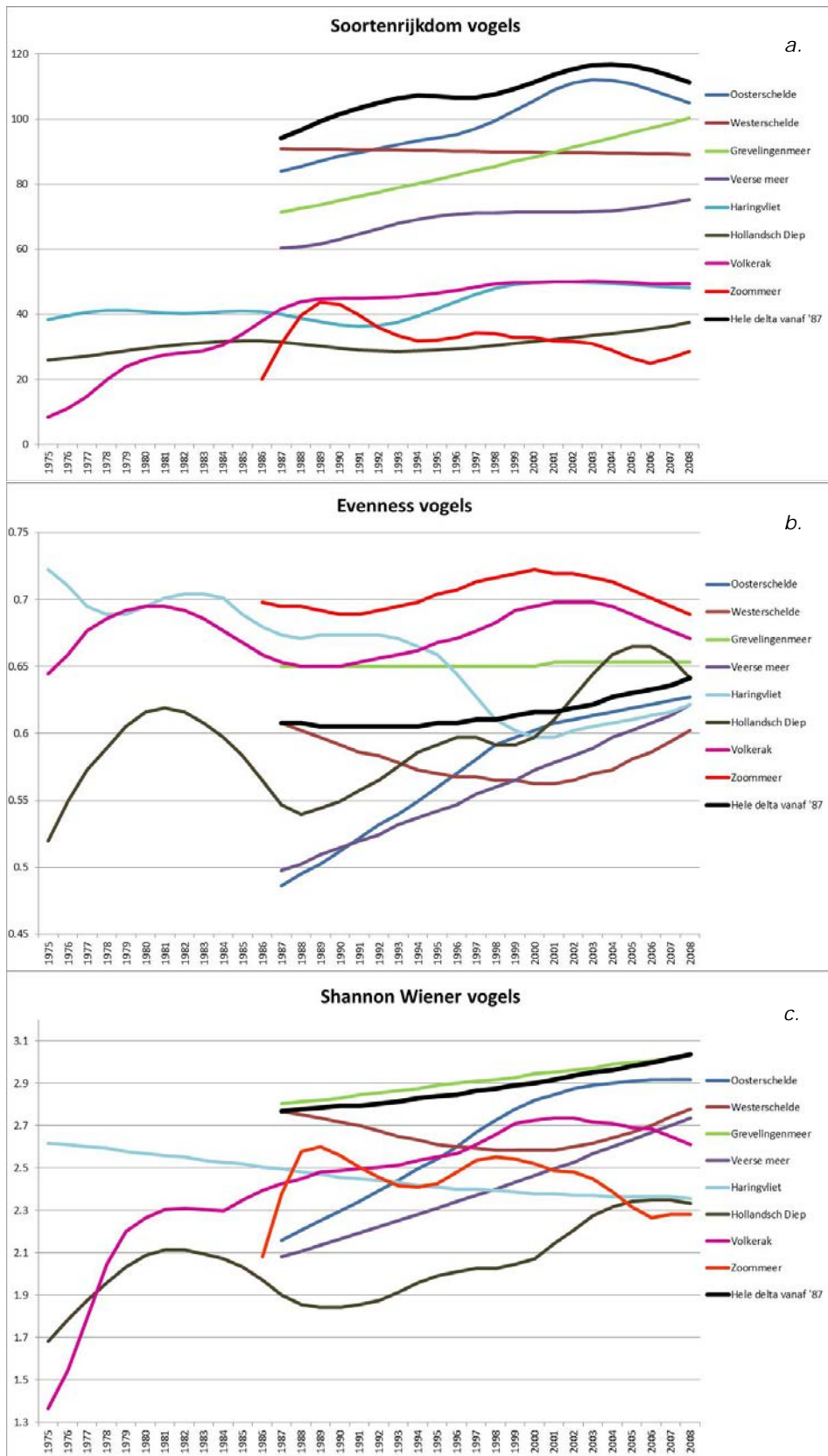
4.3 Resultaten

Vogels

Soortenrijkdom en indexen van vogels zijn bepaald voor acht verschillende bekkens waarvan drie zoute met getij (Oosterschelde, Westerschelde en Veerse Meer), een zoutwater meer zonder getij (Grevelingen) en vier zoetwater bekkens zonder getij (Volkerak, Zoommeer, Hollandsch Diep en Haringvliet) waarvan twee in open verbinding met elkaar en de grote rivieren Rijn en Maas (Haringvliet en Hollands Diep). Figuur 5 geeft resultaten weer van de tijdreeks analyse van vogels in deze bekkens en voor de gehele delta. In bijlage 1 zijn tabellen opgenomen die horen bij deze grafieken en die een significante toe- of afname of geen verandering laten zien.

De soortenrijkdom van vogels (Figuur 5a) van de gehele delta is hoger als die van afzonderlijke bekkens. De zoute bekkens scoren hoger (60-115 soorten) dan de zoete bekkens (<50 soorten). De Evenness (Figuur 5b) scoort in alle bekkens relatief laag 0.5-0.8. Dit betekent dat van sommige soorten zeer veel individuen voorkomen en van andere soorten maar weinig waardoor er veel ongelijkheid is en sommigen soorten dus domineren. De SW index (Figuur 5c) varieert van rond de 1.4-1.7 voor Volkerak en Hollandsch Diep in 1975 tot meer dan 3.0 voor Grevelingen in 2008. Grevelingen, Veerse Meer en Oosterschelde vertonen een significant stijgende trend voor relatief lange perioden (van 1988-2008 voor Grevelingen, Veerse Meer en van 1988-2002 voor Oosterschelde). De soortenrijkdom in Grevelingen neemt toe waardoor de SW-index stijgt. De toename in het Veerse Meer is te verklaren doordat de Evenness van de soorten gelijk zijn geworden (significante stijging in Evenness) waar de SW-index gevoelig voor is en daardoor een toename vertoont. De SW-index van het Haringvliet daarentegen vertoont een significante daling van 1981-1998 doordat de populaties hier relatief ongelijk zijn verdeeld (lage Evenness) terwijl de soortenrijkdom juist stijgt in 1994-1998. De SW-index in Westerschelde, Hollandsch Diep, Volkerak, Zoommeer en Markiezaat blijft redelijk gelijk, soms met korte significante stijgingen (zie significantie tabellen in Bijlage 1).

De SW-index van alle vogelsoorten van de geanalyseerde bekkens in de delta vertoont een significante stijging van 1992-2008. Dit komt doordat het aantal vogelsoorten als geheel is toegenomen en de populaties een gelijkere Evenness hebben gekregen.

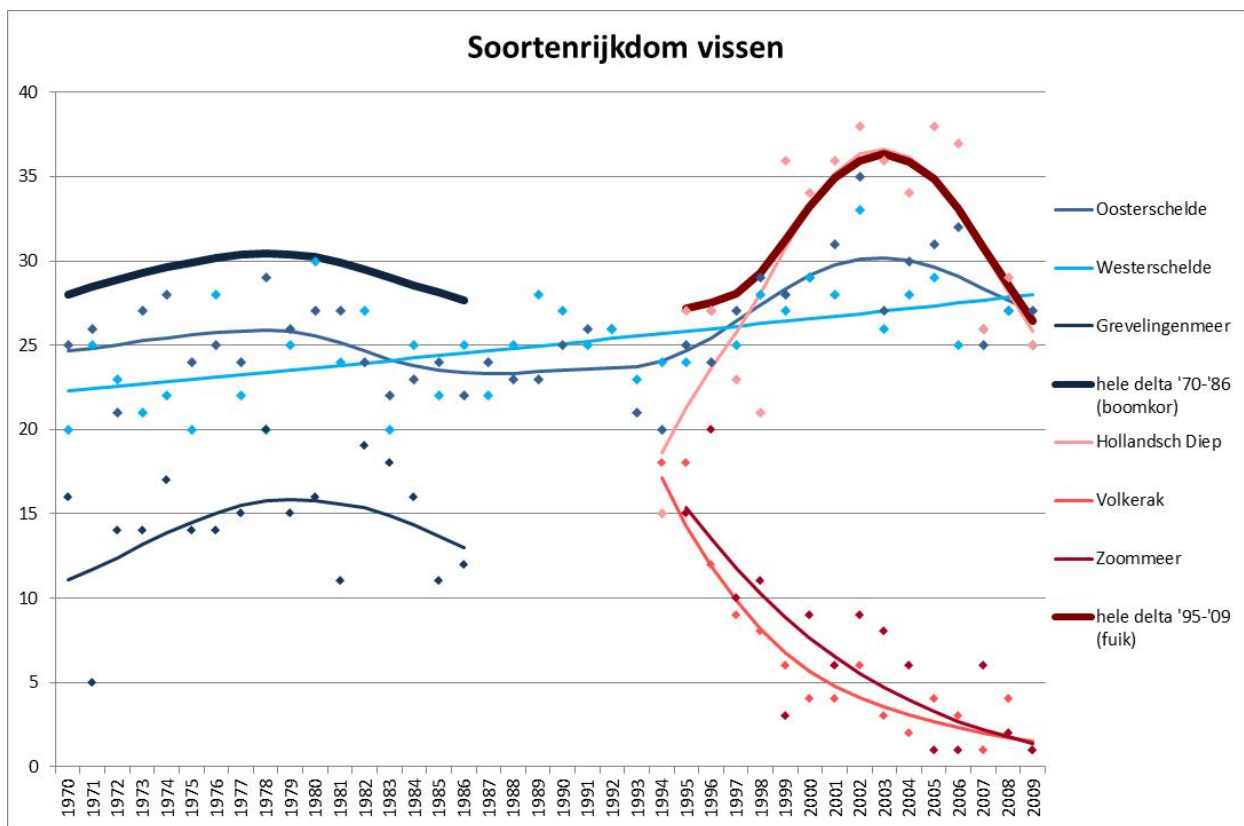


Figuur 5 Tijdreeks van vogels in de verschillende bekkens en in de hele delta (dikke lijn) a. soortenrijkdom, b. Evenness c. Shannon Wiener index

Vissen

Soortenrijkdom van vissen staat weergegeven in Figuur 6, zowel in de verschillende bekkens als in de delta als geheel. Opvallend zijn de verschillen tussen de soortenrijkdom in de zoute en zoete bekkens. Westerschelde vertoont een constante significante toename in het aantal soorten, daarnaast vertoont de Oosterschelde lichte stijgingen en blijft de soortenrijkdom in Grevelingen redelijk gelijk (geen significante verandering). De soortenrijkdom van alle zoute bekkens tezamen ligt hoger dan die van de afzonderlijke bekkens.

De zoete bekkens daarentegen vertonen een afname aan soorten in het Volkerak en Zoommeer. Hier geldt dat de totale soortenrijkdom van de zoete bekkens niet hoger is dan de afzonderlijke bekkens. Dit suggereert dat de voorkomende soorten in de bekkens grotendeels gelijk zijn. De soortenrijkdom in het Hollandsch Diep vertoont een forse stijging, waar een forse daling op volgt. Voor het Haringvliet waren geen gegevens beschikbaar.



Figuur 6, tijdreeks van soortenrijkdom van vissen. De rode lijnen geven de soorten weer die met fuiken zijn gevangen en de blauwe data die met een boomkor. De dikke lijnen geven voor beide categorieën het totaal aantal soorten aan: rood, 1970-1986 en blauw, 1995-2009.

5. Conclusie & discussie

5.1 Ecologische begrippen in de Zuidwestelijke Delta

Ecologische veerkracht is een relatief jong concept en kent meerdere definities variërend van meer strikte definities (opvangen van verstoringen) tot bredere definities die ook betrekking hebben op de interactie tussen de mens en het ecosysteem (Brand and Jax 2011). Een goed functionerend ecosysteem (zoals in de Zuidwestelijke Delta) en ook de wijze waarop deze in staat is goederen en diensten te leveren kan meestal niet los gezien worden van menselijke invloeden. De definitie voor ecologische veerkracht die we hier hanteren is ontwikkeld door de Resilience Alliance en gaat uit van de betekenis in Socio-Ecologische context:

The capacity of a system to absorb disturbance and reorganize while undergoing change so as to still retain essentially the same function, structure and feedbacks – and therefore the same identity (Walker and Meyers 2004).

Ecosystemen zijn van nature dynamisch en aan veranderingen onderhevig. Dit maakt ook dat effecten van verstoringen op ecosystemen vaak onzeker zijn of lastig meetbaar, omdat tussen verschillende soorten en functies/processen binnen een ecosysteem vaak complexe, niet-lineaire relaties bestaan. Dat betekent soms dat systemen lange tijd veerkracht kunnen vertonen als zich verstoringen in het systeem voordoen, maar dat op een gegeven moment een drempelwaarde overschreden kan worden, waardoor een abrupte verandering in het ecosysteem kan optreden (*tipping point*). Voor het voeren van beleid is het belangrijk om de omslagpunten vooraf te kennen: waar liggen de drempelwaarden en wanneer worden deze overschreden? Kennis van deze mogelijke omslagpunten is nog volop in ontwikkeling en het is daarom lastig om voorspellingen te doen.

De termen **robuustheid** en ecologische veerkracht worden vaak door elkaar gebruikt en hebben in wezen dezelfde betekenis, al wordt robuustheid vaak gebruikt als verwijzing naar omvang, connectiviteit en samenhang van een systeem zoals een "Robuuste ecologische verbinding". Hierbij gaat het om een uitzonderlijk brede verbinding tussen natuurgebieden (Ministeries van VROM 2006).

Als we estuariene ecosystemen beschouwen zoals in de ZW Delta is het ecologisch functioneren nauw verbonden met **estuariene dynamiek**: de benaming voor het samenspel van verschillende abiotische factoren karakteristiek voor een estuarien milieu met vele geleidelijke overgangen (gradiënten) en een grote variatie aan habitats. Al deze abiotische aspecten (getij, stroming, zoet-zout etc.) bepalen in grote mate het voorkomen en de ontwikkeling van estuariene flora & fauna en worden door beleidsmakers gezien als intrinsieke waarde van de delta (Provincie Zeeland 2003; Zuidwestelijke Delta 2010) en als voorwaarde voor een veerkrachtig estuarien ecosysteem. Wat hier nauw mee samenhangt is dat men met betrekking tot een estuarium niet enkel kan spreken van biologische/ecologische veerkracht omdat deze, onlosmakelijk verbonden is met **morfologische veerkracht** (Klein, Smit et al. 1998; Nicholls and Branson 1998): de balans tussen opbouw en afbraak van de ondergrond. Met name het vormen van intergetijden gebied is zeer belangrijk voor het ontwikkelen van estuariene levensgemeenschappen (biodiversiteit) en het ecologisch functioneren (leveren van goederen en diensten, zie (King and Lester 1995; Boorman 1999; Möller, Spencer et al. 2001; Boyd 2002; Beaumont, Austen et al. 2008)).

In relatie tot ecologische veerkracht is ook **biodiversiteit** en ecosysteem functioneren van belang. Biodiversiteit is bepalend voor het adaptief vermogen van een ecosysteem: het vermogen van een ecosysteem om functie, structuur en terugkoppelingsmechanismen te kunnen behouden ondanks verstoringen (Kramer and Geijzendorffer 2009). Hierdoor is biodiversiteit dus bepalend voor ecologische veerkracht. Biodiversiteit kan gezien worden als een maatstaf voor ecosysteem functioneren (behoud van functies en het leveren van ecosysteem goederen en diensten) en daarmee indirect ook voor ecologische veerkracht (behoud van structuur, functie en terugkoppel mechanismen van een ecosysteem ondanks veranderingen). Over de relatie tussen biodiversiteit en ecosysteem functioneren zijn wetenschappers het (nog) niet eens omdat dit vanwege de hoge complexiteit moeilijk te verklaren en te bewijzen is (Hart, Reader et al. 2001). Maar men is het er wel over eens dat er een relatie is.

Het begrip **uniciteit** wordt ook besproken en heeft betrekking op de zeldzaamheid van een bepaald ecotoop, bepaalde soorten of soortengroepen. In relatie tot ecologische veerkracht is uniciteit van een gebied alleen van ecologisch belang als het bijdraagt aan de totale biodiversiteit op grotere schaal door zeldzame soorten of soortengemeenschappen te herbergen.

Ecologische veerkracht is één van de drie pijlers die het Deltaprogramma als ideaalbeeld voor ogen heeft voor de ZW Delta: klimaatbestendig en veilig, economisch vitaal en ecologisch veerkrachtig. Een ecologisch veerkrachtig estuarium is in staat om verstoringen zodanig op te kunnen vangen dat functie, structuur en terugkoppelmechanismen van het estuariene ecosysteem behouden blijven of zich kunnen herstellen. De Deltawerken hebben het estuariene ecosysteem vergaand beïnvloed door het stilleggen van getij, stroming en sediment- en zoutwater transport en het grotendeels stilleggen van de rivierinvloed (zoet water, sediment, nutriënten). De estuariene dynamiek die ten grondslag ligt aan variatie in estuariene habitats en soorten is daarmee drastisch gereduceerd. Om de ecologische veerkracht in de zuidwestelijke delta te versterken wordt er gedacht aan het herstellen van de natuurlijke dynamiek. Voor wat betreft biodiversiteit hebben soortengemeenschappen in de ZW Delta veranderingen doorgemaakt doordat zich naast getijdensystemen (Oosterschelde, Westerschelde en de Voordelta) nieuwe stagnante zoet-, brak- en zoutwater ecosystemen hebben gevormd als gevolg van de Deltawerken. Dit heeft ook grote gevolgen gehad voor de levensgemeenschappen van een estuarien milieu daar waar nieuwe milieus zijn ontstaan. In relatie tot robuustheid valt te concluderen dat het systeem is versnipperd en aan samenhang en connectiviteit verloren heeft. De uniciteit van de delta is ook veranderd: enerzijds is de estuariene dynamiek die ten grondslag ligt aan grote habitat en soorten verscheidenheid en het voorkomen van unieke soorten weggevallen maar zijn ook nieuwe ecosystemen (zoet, brak, zout) ontstaan met uiteenlopende karakteristieken en soorten.

5.2 Biodiversiteit analyse

Ook al is de biodiversiteit analyse beknopt en vrij algemeen, het is goede manier om de theoretische discussie over ecologische veerkracht in de ZW-Delta concreter te maken. De resultaten laten zien dat de biodiversiteit van vogels en vissen in de gehele delta groter is dan in de afzonderlijke bekkens. Dit betekent dus dat in sommigen bekkens soorten voorkomen die niet in andere bekkens voorkomen wat te maken heeft met de uiteenlopende karakteristieken van de bekkens. Al is het verschil tussen soorten aantal in de hele delta met de Oosterschelde niet heel groot (5-10 soorten). Dit suggereert dat dit bekken het grootste deel van de in de delta voorkomende vogelsoorten herbergt. De resultaten van vogels laten zien dat de soortenrijkdom in de gehele delta stijgt van 94 soorten in 1987 naar 111 soorten in 2008. In de getijdenwateren zullen meer soorten steltlopers (scholekster, bonte strandloper, kanoet) voorkomen terwijl de zoetwater bekkens gedomineerd worden door verschillende soorten eenden zoals de Wilde Eend, Kuifeend en de Smient maar ook verschillende soorten ganzen en de Meerkoet. Een discussiepunt hier is de verbeterde tel- en identificatie praktijken, wat mogelijk tot een betere onderscheiding van soorten heeft geleid. Voor de vissen geldt ook dat totale soortenrijkdom hoger is als die van de afzonderlijke bekkens.

De vraag is of de biodiversiteit in ZW Delta als geheel er op voor- of achteruit is gegaan na de bouw van de Deltawerken. De resultaten suggereren (met name voor vogels) dat de soortenrijkdom hoog is, doordat de bekkens uiteenlopende karakteristieken hebben. Hieruit zou men kunnen concluderen dat de biodiversiteit van de gehele Delta is verbeterd. Anderzijds is ook zichtbaar dat de soortenrijkdom voor vogels in de zoete bekkens (Volkerak, Zoommeer, Haringvliet en Hollandsch Diep) lager is dan in de zoute (Grevelingen en Veerse Meer) en dynamisch zoute bekkens (Westerschelde en Oosterschelde). Voor vissen geldt dat de soortenrijkdom in het Volkerak en Zoommeer sterk afneemt. Hier is waarschijnlijk sprake van een degeneratie van soortenrijkdom door het ontstaan van een eutroof milieu waarbij slechts enkele soorten karpertachtigen domineren. Vanuit deze invalshoek is te beredeneren dat de soortenrijkdom juist achteruit is gegaan doordat de kwaliteit in sommige bekkens is verminderd (Volkerak en Zoommeer). Een dalende trend in vogelsoorten voor deze bekkens is niet te zien. Dit is te

verklaren doordat vogels mobieler zijn en vissen zeer afhankelijk van lokale omstandigheden. Vogels kunnen van het ene naar het andere bekken migreren maar voor vissen is dit (bijna) onmogelijk. Voor vissen geldt dus in ieder geval dat je alle bekkens niet als één systeem kunt beschouwen maar als afzonderlijke ecosystemen moet zien. Voor een mogelijk vervolg zou het nuttig zijn om deze stijgende en dalende trends in biodiversiteit van te vergelijken met de visies van verschillende milieu- en natuurorganisaties (zoals Natuurmonumenten, het Zeeuwse Landschap, Wereld Natuur Fonds etc.) op biodiversiteit in de ZW Delta.

5.3 Tot slot

Ecologische veerkracht van een estuariene ecosysteem wordt in grote mate bepaald door estuariene dynamiek en de biodiversiteit. Een belangrijke vraag is nu: leidt herstel van estuariene dynamiek tot een ecologische veerkracht in de delta? De resultaten uit de analyse suggereren dat herstelmaatregelen gericht op het vergroten van estuariene dynamiek, mogelijk voor een daling in biodiversiteit zouden kunnen zorgen. Deze herstelmaatregelen maken de delta als estuariene ecosysteem als geheel ecologisch veerkrachtiger door het vergroten van estuariene dynamiek, maar leiden anderzijds tot een daling van karakteristieke soorten van de sub-ecosystemen (zoet/brak/zout) die zich na compartimentering gevormd hebben. In sommige bekkens zoals het Volkerak en Zoommeer waar een verarming in vissoorten heeft opgetreden, zou herstel van estuariene dynamiek juist positieve gevolgen voor de soortenrijkdom kunnen hebben.

6. Referenties

- Baptist, M. J., I. De Mesel, et al. (2007). Herstel van estuariene dynamiek in de zuidwestelijke Delta. Texel, IMARES Wageningen UR: 172.
- Beaumont, N. J., M. C. Austen, et al. (2008). "Economic valuation for the conservation of marine biodiversity." Marine Pollution Bulletin **56**(3): 386-396.
- Boorman, L. A. (1999). "Salt marshes - present functioning and future change." Mangroves and Salt Marshes **3**: 227-241.
- Boyd (2002). "The economics of wetland ecosystem restoration and mitigation: Landscape indicators of ecosystem service benefits." American Journal of Agricultural Economics **84**(5): 1371-1378.
- Brand, F. S. and K. Jax (2011). "Focusing the Meaning(s) of Resilience: Resilience as a Descriptive Concept and a Boundary Object." Ecology and Society **12**(1).
- Carpenter, S. R., J. J. Cole, et al. (2011). "Early Warnings of Regime Shifts: A Whole-Ecosystem Experiment." Science(332): 1079-1082.
- De Leeuw, C. C. and J. J. G. M. Backx (2001). Naar een herstel van estuariene gradiënten in Nederland. Een literatuurstudie naar de algemene ecologische principes van estuarine gradiënten, ten behoeve van herstelmaatregelen voor de Nederlandse kust, RIKZ en RIZA: 169.
- Haas, H. A. and M. Tosserams (2005). Estuariene dynamiek in de Delta. Achtergronddocument en kanskaarten, RIKZ en RIZA: 44.
- Hart, M. M., R. J. Reader, et al. (2001). "Biodiversity and Ecosystem Function: Alternate Hypotheses or a Single Theory?" 82 **1**: 88-90.
- Holling, C. S. (1973). "Resilience and stability of ecological systems." Annual Review of Ecology and Systematics **4**: 1-23.
- Holling, C. S. (1996). Engineering Resilience vs Ecological Resilience. Engineering Within Ecological Constraints P. C. Schultze. Washington D.C.: 31-43.
- Hornman, M., F. Hustings, et al. (2011). Watervogels in Nederland in 2008/2009.
- King, S. E. and J. N. Lester (1995). "The value of salt marsh as sea defence." Marine Pollution Bulletin **30**(3): 180-189.
- Klein, R. J. T., M. J. Smit, et al. (1998). "Resilience and Vulnerability: Coastal Dynamics or Dutch Dikes." The Geographical Journal **164**(3): 259-268.
- Kramer, K. and I. Geijzendorffer (2009). Ecologische Veerkracht, concept voor natuurbeheer en natuurbeleid, KNNV.
- Lahr, J., H. J. De Lange, et al. (2007). Ecologische kwetsbaarheidskaarten bij oliecontaminatie in getijdenwateren. Methodebeschrijving en voorlopige kaarten voor Westerschelde, Oosterschelde, Waddenzee en Noordzee. Wageningen, Alterra: 62.
- Lengkeek, W., S. Bouma, et al. (2007). Het effect van zuurstofdeficiëntie op het bodemleven in het Grevelingenmeer. Een blik onder water. Culemborg, Bureau Waardenburg.
- Levin, S. A. and J. Lubchenco (2008). "Resilience, Robustness, and Marine Ecosystem-based Management." BioScience **58**(1).
- Ministerie van LNV (2006). Natura 2000 Doelendocument. Duidelijkheid bieden, richting geven en ruimte laten.: 228.
- Ministeries van VROM, L., VenW en EZ, (2006). Nota Ruimte. Ruimte voor ontwikkeling.
- Möller, I. I., T. Spencer, et al. (2001). "The sea defence value of salt marshes: field evidence from north Norfolk." Water and Environmental Management **15**(2): 109-116.
- Mulder, J. P. M., J. Cleveringa, et al. (2010). Sedimentperspectief voor de Zuidwestelijke Delta, Deltares.

- Naeem, S. (2002). "Ecosystem Consequences of Biodiversity Loss: The Evolution of a Paradigm." Ecology **83**(6): 1537-1552.
- Nes, E. H. and M. Scheffer (2007). "Slow recovery from perturbations as a generic indicator of a nearby catastrophic shift." American Naturalist(169): 738-747.
- Neubert, M. G. and H. Caswell (1997). "Alternatives to Resilience for Measuring the Responses of Ecological Systems to Perturbations." Ecology **78**(3): 653-665.
- Nicholls, R. J. and J. Branson (1998). "Coastal Resilience and Planning for an Uncertain Future: An Introduction." The Geographical Journal **164**(3): 255-258.
- Nolte, A. (2002). Onderzoek naar de toekomstige waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer: Toekomstige ontwikkeling en mogelijkheden. Delft, WL Delft Hydraulics: 40.
- Peterson, G., C. R. Allen, et al. (1998). "Ecological Resilience, Biodiversity and Scale." Ecosystems **1**: 6-18.
- Pimm, S. L. (1991). Balance of Nature? - Ecological Issues in the Conservation of Species and Communities. Chicago, University of Chicago Press.
- Pritchard, D. W. (1967). "What is an estuary: physical viewpoint." American Association for the Advancement of Science 3-5.
- Provincie Zeeland (2003). Delta in Zicht. Een integrale visie op de Deltawateren: 44.
- Remane, A. (1934). "Die Brackwasserfauna." Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft **36**: 34-74.
- Resilience Alliance (2011). "www.resalliance.org."
- Schaub, B. E. M., T. Ysebaert, et al. (2003). Macrobenthos dynamiek gekoppeld aan verandering in omgevingsvariabelen Oosterschelde (Periode 1992-2001). Yerseke, NIOO-CEME.
- Scheffer, M. (2009). "COMPLEX SYSTEMS: Foreseeing tipping points." Nature(467): 441-412.
- Soldaat, L., H. Visser, et al. (2007). "Smoothing and trend detection in waterbird monitoring data using structural time-series analysis and the Kalman filter." Journal of Ornithology **148**(2): 351-357.
- Strucker, R. C. W., F. A. Arts, et al. (2008). Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2006/2007, Rijkswaterstaat Waterdienst.
- Van Zanten, E. and L. Adriaanse (2008). "Verminderd getij. Verkenning naar mogelijke maatregelen om het verlies van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde te beperken." Hoofdrapport Rijkswaterstaat.
- Visser, H. (2004). "Estimation and detection of flexible trends." Atmospheric Environment **38**: 4135-4145.
- Walker, B. (1992). "Biodiversity and Ecological Redundancy." Conservation Biology **6**(1): 18-23.
- Walker, B. and J. A. Meyers (2004). "Thresholds in ecological and social-ecological systems: a developing database." Ecology and Society **9**(2): 3.
- Whitfield, A. K., M. Elliott, et al. (2011). "Paradigms in estuarine ecology - A review of the Remane diagram with a suggested revised model for estuaries." Estuarine Coastal and Shelf Science **97**: 78-90.
- Wijnhoven, S. and H. Hummel (2009). Historische analyse van exoten in de Zeeuwse delta. De opkomst, verspreiding, ontwikkeling en impact van exoten onder de macrofauna van het zachte substraat in e Zeeuwse brakke en zoute wateren. Yerseke, Monitor Taakgroep (KNAW/NIOO-CEME): 196.
- Wijsman, J. W. M. and I. De Mesel (2009). Duurzame schelpdiertransporten. Wageningen, IMARES: 111.
- Worm, B., E. Barbier, et al. (2006). "Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services." Science **314**(787).
- Zuidwestelijke Delta (2010). Veilig, Veerkrachtig en Vitaal, Ontwerp-Uitvoeringsprogramma Zuidwestelijke Delta 2010-2015+. S. Z. Delta, Stuurgroep Zuidwestelijke Delta: 87.

7. Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2012. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

8. Verantwoording

Rapportnummer : C068/12
Projectnummer : 4308302004

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Dr. J.W.M. Wijsman
Senior onderzoeker Delta

Handtekening:



Datum: 26 juni 2012

Akkoord: Dr. B.D. Dauwe
Afdelingshoofd Delta

Handtekening:



Datum: 26 juni 2012

9. Bijlagen: Significantie tabellen

Onderstaande significantie tabellen laten de significantie berekend in Trendspotter zien. Significante veranderingen staan aangegeven als + groen = significante toename, - rood= significante afname en 0 = geen (aantoonbare) veranderingen.

Vogels

year	SW vogels									hele delta vanaf '87
	OS	WS	GM	VM	HV	HD	VR	ZM	MZ	
1975					0	0	0			
1976					0	+	+			
1977					0	+	+			
1978					0	+	+			
1979					0	+	+			
1980					0	+	0			
1981					-	0	0			
1982					-	0	0			
1983					-	0	0		0	
1984					-	0	0		0	
1985					-	+	0		+	
1986					-	-	0	0	+	
1987	0	0	0	0	-	-	0	+	+	0
1988	+	0	+	+	-	0	0	+	+	0
1989	+	0	+	+	-	0	0	0	0	0
1990	+	-	+	+	-	0	0	0	0	0
1991	+	-	+	+	-	0	0	0	0	0
1992	+	-	+	+	-	0	0	0	0	+
1993	+	-	+	+	-	0	0	0	0	+
1994	+	-	+	+	-	0	0	0	0	+
1995	+	-	+	+	-	0	0	0	0	+
1996	+	0	+	+	-	0	0	0	0	+
1997	+	0	+	+	-	0	0	0	0	+
1998	+	0	+	+	-	0	0	0	0	+
1999	+	0	+	+	0	0	0	0	0	+
2000	+	0	+	+	0	0	0	0	0	+
2001	+	0	+	+	0	+	0	0	0	+
2002	+	0	+	+	0	+	0	0	0	+
2003	0	+	+	+	0	+	0	0	0	+
2004	0	+	+	+	0	0	0	0	0	+
2005	0	+	+	+	0	0	0	0	0	+
2006	0	+	+	+	0	0	0	0	0	+
2007	0	+	+	+	0	0	0	0	0	+
2008	0	+	+	+	0	0	0	0	0	+

Afkortingen:

OS=Oosterschelde
 WS=Westerschelde
 GM=Grevelingenmeer
 VM=Veerse Meer
 HV=Haringvliet
 HD=Hollandsch Diep
 VR=Volkerak
 ZM=Zoommeer
 MZ=Markiezaat

Shannon Wiener index vogels

year	Aantalsverdeling vogels									hele delta vanaf '87
	OS	WS	GM	VM	HV	HD	VR	ZM	MZ	
1975					0	0	0			
1976					0	+	+			
1977					-	+	+			
1978					0	+	+			
1979					0	0	0			
1980					0	0	0			
1981					0	0	0			
1982					0	0	0			
1983					0	0	0		0	
1984					0	0	-		0	
1985					0	0	-		+	
1986					0	-	-	0	+	
1987	0	0	0	0	0	-	-	0	+	0
1988	+	0	0	+	0	0	0	0	+	0
1989	+	0	0	+	0	0	0	0	1	0
1990	+	-	0	+	0	0	0	0	0	0
1991	+	-	0	+	0	0	0	0	0	0
1992	+	-	0	+	0	0	0	0	0	0
1993	+	-	0	+	0	0	0	0	0	0
1994	+	-	0	+	0	0	0	0	0	0
1995	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0
1996	+	0	0	+	-	0	0	0	0	0
1997	+	0	0	+	-	0	0	0	0	0
1998	+	0	0	+	-	0	0	0	0	0
1999	+	0	0	+	1	0	0	0	0	0
2000	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0
2001	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0
2002	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+
2003	0	0	0	+	0	0	0	0	0	+
2004	0	+	0	+	0	0	0	0	0	+
2005	0	+	0	+	0	0	0	0	0	+
2006	0	+	0	+	0	0	0	0	0	0
2007	0	+	0	+	0	0	0	0	0	0
2008	0	+	0	+	0	0	0	0	0	0

Evenness vogels

