

Stuurbaarheid van kwelders

Alma V. de Groot (IMARES Wageningen UR)

Bregje K. van Wesenbeeck (Deltares)

Jantsje M. van Loon-Steensma (Wageningen Universiteit)

Rapportnummer: C004/13



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Ministerie van Economische Zaken
Deltaprogramma | Waddengebied
Zuidersingel 3 | 8911 AV | Leeuwarden |
Postbus 2003 | 8901 JA | Leeuwarden

BO-11-015-012 Deltaprogramma
Waddengebied

Publicatiedatum:

7 januari 2013

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
--	--	---	--

© 2012 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-V12.3

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	4
1. Inleiding	6
2. Kwelderontwikkeling.....	7
3. Maatregelen	10
3.1 Succesfactoren voor kweldervorming	10
3.2 Technieken	11
Werkingsmechanismen	11
Rijshoutdammen als bezinkvelden	13
Rijshoutdammen parallel aan kwelderrand	15
Rijshoutdammen en palenrijen dwars op kwelderrand	16
Stortstenen dam als luwtedam.....	17
Kribben dwars op kwelderrand (stortsteen).....	18
Stenen glooiing langs kwelderrand	19
Kleisuppletie langs kwelderrand	21
Zandsuppletie	22
Gronddammen	23
Geotextiel (geotubes).....	24
Riffen	25
Stuifdijken	26
Vegetatie langs kwelderrand bevorderen	27
Opbrengen grond/suppletie (baggerslib)	28
Afgraven/plaggen	30
Afwatering graven of dichten (kreken en greppels)	31
Ontpolderen/verkwelden	33
Vegetatie bevorderen (planten/zaaien)	35
Vegetatiebeheer: beweiden en maaien.....	36
4. Afwegingen.....	37
4.1 Welke techniek in welke situatie: beleid, doelen en functies	37
4.2 Welke techniek in welke situatie: abiotische omstandigheden.....	38
4.3 Waterveiligheid	40
4.4 Potentiele nieuwe technieken	41
4.5 Niet stuurbare processen en invloeden.....	42
4.6 Evaluatie van succes.....	43
5. Conclusies en aanbevelingen	44
Referenties	45
Verantwoording	45

Samenvatting

Kwelders (of schorren) zijn buitendijkse gebieden die dagelijks tot enkele malen per jaar door de zee worden overstroomd, en waar zouttolerante planten groeien op een meestal kleiige bodem. In Nederland komen ze voor aan de randen van de Waddenzee en Dollard, en in de Zuidwestelijke Delta. De kwelders in Nederland zijn in wisselende mate door de mens beïnvloed, vanuit bijvoorbeeld voormalige landaanwinning, agrarisch gebruik, en/of natuurbeheer.

Kwelders en de aanleg daarvan staan op dit moment vanuit meerdere oogpunten in de belangstelling, zoals voor natuurontwikkeling, kustverdediging en hergebruik van baggerslib. Dit rapport geeft een overzicht van beschikbare technieken en mogelijkheden om kwelderontwikkeling/aanleg te stimuleren en erosie te voorkomen. Daarnaast wordt aandacht besteed aan de relatie tussen beheer en functie van de kwelder.

De natuurlijke (autonome) ontwikkeling van kwelders is het referentiebeeld voor de stuurbaarheid van kwelders. Kwelders ontwikkelen zich als resultaat van de interactie tussen waterbeweging, beschikbaarheid van slib, en plantengroei. Bij het aanleggen of herstellen van kwelders blijkt het van groot belang te zijn om vooral de processen en voorwaarden daarvoor te herstellen die kwelderontwikkeling mogelijk maken: areaal, uitgangshoogte, hellingshoek, structuur van de bodem, sedimentaanvoer en -korrelgrootte, luwte, ontwatering, vegetatie, en een duidelijk streefbeeld. Echter, zelfs als kwelders worden hersteld met beperkt menselijk ingrijpen, is het verschil met natuurlijke kwelders zichtbaar, bijvoorbeeld in de vegetatiesamenstelling.

Er is in Nederland en daarbuiten al ruime ervaring met het beheer van kwelders, en het aantal technieken wordt nog steeds uitgebreid. Dit rapport geeft een overzicht van de technieken die in potentie geschikt zijn voor de Nederlandse situatie. De maatregelen worden besproken in factsheets:

- Rijshoutdammen als bezinkvelden
- Rijshoutdammen parallel aan kwelderrand
- Rijshoutdammen en palenrijen dwars op kwelderrand
- Stortstenen dam als luwtedam
- Kribben dwars op kwelderrand (stortsteen)
- Stenen glooiing langs kwelderrand
- Kleisuppletie langs kwelderrand
- Zandsuppletie
- Gronddammen
- Geotextiel (geotubes)
- Riffen
- Stuifdijken
- Vegetatie langs kwelderrand bevorderen
- Opbrengen grond/suppletie (baggerslib)
- Afgraven/plaggen
- Afwatering graven of dichten (krekens en greppels)
- Ontpolderen/verkwelderen
- Vegetatie bevorderen (planten/zaaien)
- Vegetatiebeheer: beweiden en maaien

Welke techniek, of combinatie van technieken, het beste waar gebruikt kan worden hangt ten eerste af van het doel, en is ten tweede maatwerk. Er is geen recept dat overal werkt, omdat de fysische omstandigheden en doelstellingen per locatie verschillen. Op deze manier kunnen maatregelen genoemd worden bij elk van de klassen die in de "Zoekkaart Kwelders en Waterveiligheid Waddengebied" (Van

Loon-Steensma et al., 2012) zijn geïdentificeerd: waar al een kwelder aanwezig is, waar kwelders zich op dit moment beginnen te vormen, waar met kleine aanleginspanning een kwelder kan worden gestimuleerd, waar dat alleen met grote aanleginspanning kan, en waar het gezien waterveiligheid en stabiliteit niet zinvol lijkt. Vanuit het uitgangspunt dat kwelders het product zijn van de interactie van natuurlijke processen, hebben maatregelen die de processen minimaal sturen de voorkeur. Dit is in lijn met het Nederlandse kustbeleid.

Er zijn ook processen en omstandigheden die niet of zeer moeilijk te sturen zijn, zoals versnelde zeespiegelstijging, sedimentbeschikbaarheid, veranderingen in windklimaat, en grootschalige geulverplaatsingen. Op de effecten daarvan op de kwelder is soms wel te sturen.

Het beheer van de kwelderwerken in de Nederlandse Waddenzee is dusdanig, dat snel ingegrepen kan worden als er ongewenste achteruitgang zou ontstaan. Echter, kwelders kunnen door hun karakteristieke dynamiek en terugkoppelingsmechanismen onverwacht (niet-lineair) reageren als bepaalde grenzen van sturende factoren worden overschreden. Daarom is het belangrijk om de ontwikkeling van kwelders te blijven monitoren en het systeembegrip op orde te hebben, zodat er ingegrepen kan worden wanneer het nodig is. De stuurbaarheid is afhankelijk van de mate waarin de mens wil ingrijpen en vinger aan de pols wil houden. De Waddenzee is een internationaal erkend natuurgebied. Daarmee zal bij de afweging voor technieken voor kwelderbeheer en -vorming altijd rekening gehouden moeten worden.

1. Inleiding

Kwelders (of schorren) zijn buitendijkse gebieden die afhankelijk van hun hoogte dagelijks tot vijf maal per jaar door de zee worden overstroomd, en waar zouttolerante planten groeien op een meestal kleiige bodem. Kwelders zijn te vinden op beschutte plekken langs kusten met een gematigd klimaat. Ze beginnen rond gemiddeld hoogwater en lopen door tot aan de zone die jaarlijks slechts enkele keren overstroomt. In Nederland wordt de zeewaartse grens gevormd door onbegroeid wad/slik (afgezien van sporadisch voorkomend zeegras), en de landwaartse grens door een duin of dijk. Kwelders komen in Nederland voor aan de randen van de Waddenzee en soms Noordzee, zowel aan de vastelandskust als op de eilanden, in de Eems-Dollard, en in de Zeeuws-Hollandse delta, waar ze schorren worden genoemd.

Kwelders zijn dynamische gebieden, die in de loop van hun ontwikkeling in de hoogte groeien, zich zijwaarts en zeewaarts kunnen uitbreiden, en die vaak van vorm veranderen. Ze hebben een hoge natuurwaarde vanwege de specifieke zouttolerante planten en dieren die er voorkomen (Doody, 2008; Esselink et al., 2009). Daarom zijn kwelders op grond van de Vogel- en Habitatrichtlijn aangewezen als Natura2000-gebied en worden ze met de Natuurbeschermingswet beschermd. Verder breken kwelders de golven en beschermen daarmee het achterliggende duin of de dijk (Brampton et al., 1992; Möller et al., 2001; Doody, 2008; Gedan et al., 2011; Shepard et al., 2011), en dragen ze bij aan de stabiliteit van de dijk. Verder hebben ze functies voor recreatie, uitwisseling van voedingsstoffen met het omliggende estuarium, als broed-, rust- en foerageergebied voor vogels, en als kraamkamer voor vissen (bijvoorbeeld Mitsch, 1994; Minello et al., 2003; Dausse et al., 2005).

In Nederland staan kwelders op dit moment vanuit meerdere oogpunten in de belangstelling. In het Deltaprogramma Waddengebied wordt in 2012 onderzoek gedaan naar kwelders en hun bijdrage aan de waterveiligheid. Het Programma naar een Rijke Waddenzee heeft belangstelling voor de aanleg van kwelders als onderdeel van zachte zoet-zout overgangen en vanwege hun betekenis voor vogels. Verder zijn er verscheidene lokale initiatieven gericht op de aanleg van kwelders, met als doel het alternatief gebruiken van baggerslib, het stimuleren van biodiversiteit (zoals broedgelegenheid en hoogwatervluchtplaatsen voor vogels) en recreatie.

Er is ruime ervaring met het stimuleren van kweldervorming en het beheer van kwelders. Dit rapport geeft een overzicht van beschikbare technieken en mogelijkheden om kwelderontwikkeling te stimuleren, kwelders aan te leggen en erosie te voorkomen. Daarnaast wordt aandacht besteed aan de relatie tussen beheer en functie van de kwelder. Het gaat zowel over onderhoud en uitbreiding van bestaande kwelders, als het eventueel stimuleren en/of aanleggen van nieuwe kwelders. Het rapport is uitgevoerd in het kader van het Deltaprogramma Deelprogramma Waddengebied, en is in de eerste instantie bedoeld als aanvulling op het rapport "Zoekkaart Kwelders en Waterveiligheid Waddengebied" (Van Loon-Steensma et al., 2012a). Die verkenning geeft een zoekkaart met locaties waar, op basis van de waterveiligheidsopgave, het interessant kan zijn om kweldervorming te stimuleren of huidige kwelders specifiek te beheren. Daarnaast kan het huidige rapport breder worden gebruikt voor kwelder- en schorbeheer in Nederland.

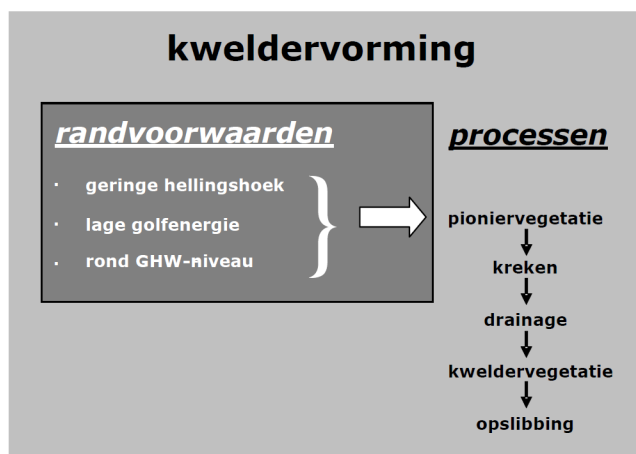
Eerst wordt in Hoofdstuk 2 de natuurlijke ontwikkeling van kwelders beschreven. Dit betreft de sedimentaire kwelders die typisch zijn voor de Waddenzee (en niet de organische kwelders waarbij veenvorming een grote rol speelt). Dit vormt het referentiebeeld van een kwelder en kwelderontwikkeling. Daarna worden de technieken en maatregelen beschreven, onderverdeeld naar het beoogde effect (Hoofdstuk 3). Per maatregel wordt vervolgens een factsheet gepresenteerd dat als naslag kan functioneren. De maatregelen worden geëvalueerd in Hoofdstuk 4, in samenhang met mogelijke doelen. Conclusies en aanbevelingen staan in Hoofdstuk 5.

2. Kwelderontwikkeling

Om te kunnen sturen op de ontwikkeling van kwelders, is het eerst nodig om de natuurlijke ontwikkeling van kwelders te kennen, dat wil zeggen: de autonome ontwikkeling en het gedrag van kwelders zonder ingrepen van de mens. In het verleden zijn eeuwenlang grote oppervlakten kwelders spontaan gevormd, die intussen grotendeels zijn ingepolderd. Door inpolderingen tot op het wad werd de hoogteligging te laag voor spontane kweldervorming en door de rechte dijken verdwenen de luwten waar kwelderontwikkeling mogelijk is. In de loop van de tijd is men daardoor deze natuurlijke kwelderontwikkeling gaan versnellen of vervangen door de vormende processen aan de vastelandskust te sturen met greppels en rijshoutdammen. Het doel hiervan was om extra land te winnen voor inpoldering. Op de eilanden hebben de aangelegde stuifdijken een deel van de kweldervorming versneld.

Kennis van de autonome processen en ontwikkeling vormt verder het een referentiebeeld voor het opstellen van een te bereiken doel. Aan de hand van dit doel kan het slagen van de ingreep worden beoordeeld vanuit de geomorfologie, natuur en eventuele andere functies. In het rapport 'Een dijk van een kwelder' (Van Loon-Steensma et al., 2012b) is een meer gedetailleerd overzicht gegeven van allerlei aspecten van kwelders. De inhoud van dit hoofdstuk is verder gebaseerd op internationale literatuur (Ranwell, 1972; Adam, 1990; Bakker et al., 1993; Olff et al., 1997; Allen, 2000; Dijkema et al., 2001; Friedrichs & Perry, 2001; Townend et al., 2011).

In het algemeen wordt een kwelder gedefinieerd als een gebied dat begroeid is met zouttolerante vegetatie en dat regelmatig door de zee wordt overstroomd. Een kwelder ligt ongeveer tussen gemiddeld hoog water (GHW) en de hoogste waterstanden die binnen een jaar voorkomen. Per definitie is alles beneden deze hoogtegrenzen wad of geul (ook als er zeegras groeit), en alles erboven duin, dijk of land. Om een kwelder te onderscheiden van een achterduinse strandvlakte of primaire duinvallei, wordt hier ook opslibbing met kleiig sediment als kenmerk van een kwelder aangehouden. Vaak wordt er binnen een kwelder onderscheid gemaakt naar de pionierzone (het gebied rond GHW waar de eerste planten zich vestigen) en de rest van de kwelder waar een meer gesloten vegetatiedek aanwezig is.



Figuur 1. Schematisch overzicht van de randvoorwaarden voor kwelderontwikkeling (Van Duin & Dijkema, 2012).

Kwelders kunnen zich ontwikkelen wanneer de bodem hoog genoeg en de hydrodynamiek laag genoeg is, zodat slib kan bezinken en planten zich kunnen vestigen (Figuur 1). Dit is rond GHW en op plaatsen met een relatief beschutte ligging, zoals vaak voorkomt bij land water overgangen in de Waddenzee. De

planten remmen de stroming en golven, en versnellen daarmee de invang van slib. Met hun wortels houden ze het slib vast. Het slib levert voedingsstoffen voor de planten, waardoor ze beter kunnen groeien. De extra hoogte die wordt gecreëerd door het afzetten van slib zorgt er verder voor dat de planten minder vaak en lang overstromen. Dit vermindert de stressvolle condities die gepaard gaan met het onder water staan, zoals een gebrek aan licht om te fotosynthetiseren en anoxische bodem (Allen, 2000). Deze positieve terugkoppeling gaat net zo lang door tot de bodem zo hoog is opgeslibd, dat het zeewater het niet meer geregeld overstroomt, en de opslibbingssnelheid afneemt. Op de lange termijn (na ongeveer 100 jaar) groeit een kwelder naar een maximum hoogte toe en wordt dan nog slechts een paar keer per jaar door de zee overspoeld. De terugkoppeling tussen opslibbingssnelheid en inundatiefrequentie betekent dat een kwelder mee kan groeien met de zeespiegelstijging, mits er genoeg sediment in het water zit om via opslibbing de zeespiegelstijging en inklinking van de bodem te compenseren. Een kwelder vertoont meestal een flauwe helling van wad (laag, al dan niet met klifrand) naar duin of dijk (hoog), al kan bij oudere kwelders een laagte aan de landwaartse zijde ontstaan.

In de Waddenzee zijn opslibbingssnelheden op dit moment ongeveer 1 cm per jaar op de vastelandskwelders en 0,5 cm per jaar op de eilandkwelders. Binnen een kwelder zijn er echter grote verschillen: dicht bij de kreken (op de oeverwallen) en het wad gaat de opslibbing sneller dan in de kommen tussen de kreken. Ook in de tijd is er variatie in opslibbing: in de winter en tijdens stormen wordt er het meeste sediment afgezet. In de loop van de tijd consolideert het sediment en wordt door de aanwezige wortels en bodemrijping steeds bestendiger tegen erosie.

Tijdens de groei van de kwelder ontwikkelt zich een krekensysteem, dat zeewater en sediment aan- en afvoert. In het begin zal ook veel water direct over de kwelderrand heen de kwelder in stromen, maar naarmate de kwelder ouder en dus hoger wordt, zal relatief steeds meer water door de kreken gaan. De eerste blauwdruk van het krekensysteem ontstaat al bij het begin van de kweldervorming, maar het ontwikkelt zich steeds verder naarmate de kwelder in de hoogte groeit (Temmerman et al., 2007). Nieuwe vertakkingen ontstaan door achterwaartse insnijding, en kreken worden dieper doordat het kwelderoppervlak hoger wordt en in een deel van de gevallen door verticale insnijding.

De vegetatie begint met pionierplanten die bestand zijn tegen regelmatige overstroming met zout zeewater. Zij worden geleidelijk vervangen door plantensoorten die het beter doen bij minder overstroming en meer voedingsstoffen. Het laatste successiestadium op de Nederlandse kwelders is een uniforme vegetatie van Zeekweek, of in brakke gebieden zoals de Dollard, Riet. De meeste kwelders vertonen een zogenaamde zonatie van vegetatie van pionierzone, via lage naar hoge kwelder, en laten vegetatiepatronen zien die samenhangen met oeverwallen en kommen. Daarnaast vindt er autonome vegetatiesuccessie in de tijd plaats: de vegetatie veroudert. Deze variatie in vegetatiezones in ruimte en tijd maakt de kwelder aantrekkelijk voor vele ongewervelden en vogels (foerageer-, rust-, en broedgebied).

Als er eenmaal meerjarige planten groeien, slibt de kwelder sneller op dan het naastgelegen wad. Als een kwelder niet verder horizontaal kan uitbreiden, bv. door de aanwezigheid van een geul op het wad, kan het hoogteverschil tussen wad en kwelder zo groot worden, dat er een klif ontstaat. Golven, meestal tijdens storm, eroderen dit klif zodat de kwelder langzaam kleiner wordt. De bovengrens van snelheden van kliferosie is in de orde van enkele meters per jaar (De Groot, 1981; Erchinger, 1987). Als het klif zo ver teruggetrokken is dat de hydrodynamische omstandigheden op het wad weer geschikt zijn, kan er nieuwe kweldervorming plaatsvinden (Allen, 1990; Van de Koppel et al., 2005). Daarnaast kan een kwelder aan de zee kant eroderen en tegelijkertijd aan de zij kanten groeien (Van der Wal et al., 2008). Deze processen zijn overigens vooral bekend uit andere estuaria; in het Waddengebied is in het verleden nauwelijks ruimte gegeven aan de natuurlijke erosie en sedimentatie dynamiek van kwelders.

Tijdens stormen wordt er meestal sediment afgezet op de kwelder, terwijl erosie van het oppervlakte is te verwaarlozen (Friedrichs & Perry, 2001). Behalve bij hoge oude kwelders, waar compactie van het sediment het dominante proces is, zal een kwelder dus altijd in de hoogte groeien.

In het Waddengebied bevinden zich de meest natuurlijke, ongestoorde, kwelders op de eilanden. Sommige zijn volledig spontaan ontstaan, andere in de luwte van stuifdijken. De kwelders aan de vastelandskust van Friesland en Groningen zijn veel sterker door menselijk ingrijpen ontstaan, namelijk uit de vroegere landaanwinningswerken, nu kwelderwerken genoemd. Daar is door middel van rijshoutdammen luwte gecreëerd, en werden greppels gegraven om ontwatering te bevorderen. Vervolgens vestigde de vegetatie zich spontaan (Dijkema et al., 2001). De huidige kwelders worden alleen nog met rijshoutdammen beheerd, het greppelen is zo goed als gestopt. In de meeste kwelderwerken is de drainage gedomineerd door de oorspronkelijke greppels, alleen op sommige plaatsen waar de kwelder zich zeewaarts uitbreidt hebben zich spontaan kreken gevormd. Al met al zijn de kwelderwerken dus semi-natuurlijke kwelders.

Het gedrag van kwelders onder verschillende scenario's van zeespiegelstijging en bodemdaling hangt af van de lokale omstandigheden en van externe factoren zoals de beschikbaarheid van sediment. Daarnaast spelen er terugkoppelingsmechanismen tussen waterstanden en sedimentatie, en kreekvorming. Het is dus mogelijk dat een bestaande kwelder, als er genoeg sediment in het water zit, bij sterkere zeespiegelstijging weer sneller op gaat slibben omdat de overstromingsfrequentie en –duur toenemen (Morris et al., 2002; Kirwan et al., 2010). Het is echter ook mogelijk dat de kwelder zich intussen zo ontwikkeld heeft, dat de kreken niet meer het hele gebied van sediment kunnen voorzien. In dat geval zullen er delen van de kwelder achterblijven in hoogte en mogelijk zelfs (tijdelijk) verdrinken (het 'badkuipeffect'). Door terugschrijdende erosie ontstaan echter meestal nieuwe kreken, die deze kommen ontwateren. Via secundaire pioniervegetatie komt de successie en opslibbing vervolgens weer op gang. In het extreme geval gaat de zeespiegelstijging sneller dan de opslibbing en zal de hele kwelder langzaam teruggaan in de successie en uiteindelijk verdrinken.

De dynamiek van kwelders en de wisselwerking tussen planten, water en sediment maakt dat een kwelder meer is dan een begroeid bodemoppervlak. Voor het creëren van kwelders is het dus nodig dat de natuurlijke processen en hun wisselwerking in orde zijn, of worden gebracht: dan vormt de kwelder zich verder op eigen kracht. Er is geregeld geprobeerd kwelders te maken door een gebied zo aan te leggen dat het op een ontwikkelde kwelder lijkt. Het blijkt echter dat zulke aangelegde of herstelde kwelders in bijna alle gevallen niet zo functioneren als natuurlijke kwelders en een andere vegetatiesamenstelling hebben (Van Oevelen et al., 2000; Crooks et al., 2002; Wolters et al., 2005b; Garbutt & Wolters, 2008; Cecconi, 2009; Mossman et al., 2012).

Op kwelders en locaties waar kwelders zouden kunnen worden gestimuleerd zijn natuurdoelen van toepassing met bescherming onder de natuurwetgeving. De natuurdoelen zijn een belangrijk aspect in het beheer van kwelders, al dan niet in combinatie met andere doelen. De natuurdoelen kunnen zowel gericht zijn op het behoud van specifieke soorten (vegetatie, vogels) als op ongestoorde kwelderontwikkeling (systeembenadering). De beweiding van kwelders is meestal gericht op het eerste, terwijl dit niet in het belang is van een natuurlijke kwelderontwikkeling. Bij de technieken die in het volgende hoofdstuk gepresenteerd worden, wordt daarom ook gekeken naar de mate waarin ze de natuurlijke processen benutten.

3. Maatregelen

3.1 Succesfactoren voor kweldervorming

Voor de vorming van een kwelder gelden een aantal randvoorwaarden. De methoden om kwelders te sturen spelen hier op in. De randvoorwaarden staan genoemd in Van Duin & Dijkema, 2012:

1. Areaal: Een aaneengesloten stuk kwelder (minimaal 500 ha) scoort op ecologische, geomorfologische en beheerstechnische punten beter dan versnipperde kleine stukjes kwelder. Indien mogelijk is een redelijk voorland aanwezig als golfbescherming en als potentiële sedimentbron.
2. Uitgangshoogte: Om kwaliteit en dynamiek mogelijk te maken mag de uitgangshoogte van de kwelder-vooroever niet te hoog zijn (= relatief laag successiestadium). Voor de pionierzone een uitgangshoogte van 20 (of max. 40) cm onder gemiddeld hoogwater (GHW) en voor de lage kwelder vanaf ca. GHW.
3. Hellingshoek: De bestaande kwelders bevinden zich op locaties met verschillende omstandigheden en hebben een helling die meestal varieert tussen 1:50 en 1:500 (in de kwelderwerken in Friesland en Groningen echter tussen de 1:500 en 1:1000). Een helling van 1:100 zou bv. kunnen dienen als aanvangshelling voor een te ontwikkelen kwelder.
4. De structuurkwaliteit van de bodem: (o.a. gelaagdheid, voldoende organisch materiaal) speelt een rol bij de functionaliteit (o.a. drainage, biodiversiteit).
5. Sedimentaansvoer: Er moet voldoende sedimentaansvoer naar de kwelder zijn en mogelijkheden voor bezinking (opslibbing) om de zeespiegelstijging bij te houden (duurzaamheid).
6. Sediment korrelgrootte: Er zijn zowel zandige als kleiige kwelders. Een bovenlaag waarin niet alleen zand, maar ook fijn sediment (slib) aanwezig is biedt de beste vestigingsmogelijkheden (minder kans op uitspoelen) voor pioniervegetatie.
7. Rustige omstandigheden ten aanzien van golven en stroomsnelheden. Met name dwarsstroming dient vermeden te worden. Golven hebben echter ook een positieve werking ten aanzien van de aanvoer van sediment naar hoger in het profiel gelegen delen en moeten daarom ook niet te veel geremd worden.
8. Ontwatering: ontwikkelt in principe voldoende op natuurlijke wijze. Het eventueel stimuleren van ontwatering, bijvoorbeeld door het trekken van enkele (kronkelende) drainagegeulen, kan helpen om de kansen voor vestiging van pioniervegetatie te verhogen/versnellen.
9. Vegetatie: Zaden en/of vegetatieve delen komen vanzelf als er kwelders in de nabije omgeving zijn, zodat het niet noodzakelijk is om vegetatie te zaaien of planten.
10. Streefbeeld: Om duurzaamheid, kwantiteit en kwaliteit van de ontwikkelde kweldervooroever te kunnen toetsen en evalueren moet een duidelijk streefbeeld worden opgesteld. Daarbij moet ook het beheer meegenomen worden als uit te werken onderdeel (bv. mogelijkheden/geschiktheid voor beweiding, onderhoud kunstmatige structuren (bv. in geval van rijshoutdammen), werkstrook op dijk om bv. aanspoelsel van dijk te kunnen afvoeren).
11. Kwaliteit: Hoogteligging, ontwatering en beheer zijn bepalende factoren voor de kwaliteit en het type vegetatie. Daarnaast heeft een kwelder een driedimensionaal uiterlijk. Het is niet alleen maar een begroeide helling, maar bevat ook prielen, poeltjes, oeverwallen, kommen, kliffen en krekken."

Daarnaast geldt er nog de factor tijd: zeker bij grote ingrepen zoals aanleg en grootschalig herstel kost het tijd voordat zich een functionele kwelder heeft gevormd.

3.2 Technieken

Technieken voor kwelderontwikkeling, bescherming en beheer, die in potentie geschikt zijn voor de Nederlandse situatie, zijn hieronder in factsheets weergegeven. Daarvoor is vooral gebruik gemaakt van een aantal bestaande publicaties die mogelijke maatregelen beschrijven: Storm, 1999; Van Oevelen et al., 2000; Doody, 2008; Esselink et al., 2011; Van Loon-Steensma, 2011; Van Duin & Dijkema, 2012. Daarnaast kan verdere informatie worden gevonden in de genoemde referenties per techniek.

Werkingsmechanismen

De maatregelen kunnen onderverdeeld worden in hun primaire werkingsmechanisme, zie hieronder. Daarnaast kan onderscheid gemaakt worden tussen ingrepen met een flexibel en in principe tijdelijk karakter (zacht) en harde maatregelen. Dit is weergegeven in de factsheets. Sommige ingrepen hebben meerdere werkingsmechanismen en/of kunnen op meerdere manieren worden uitgevoerd. Daarom komen de factsheets en onderstaande overzicht niet 1-op-1 overeen.

A. Beïnvloeden abiotische condities voor kwelderontwikkeling:

1. Hydrodynamiek

- a. Luwte creëren: condities voor bezinken van slib verbeteren, plantengroei bevorderen (zaailingen worden niet weggevaagd)
 - i. Rijshoutdammen
 1. Bezinkvelden
 2. Parallel aan kwelderrand
 3. Dwars op kwelderrand
 - ii. Stortsteen (dam), verschillende vormen
 1. Luwtedam met opening aan 1 kant
 2. Parallel aan kwelderrand
 3. Kribben dwars op kwelderrand
 - a. als vooroeververdediging
 - iii. Houten palenrijen
 - a. Parallel aan kwelderrand
 - b. Loodrecht op kwelderrand
 - iv. Gronddammen
 - v. Geotextiel (geotubes)
 - vi. Riffen
 - vii. Stuifdijken
- b. Erosie stoppen (overlapt met luwte creëren)
 - i. Rijshoutdammen
 1. Bezinkvelden
 - ii. Vegetatie kwelderrand
 - iii. Stortstenen dam langs rand
 - iv. Suppletie van klei (evt. met schelpen)

2. Overstromingsduur beïnvloeden

- a. Bodemhoogte omhoog brengen = overstromingsduur verminderen = geschikte abiotische condities voor planten creëren.
 - i. Opslibbing bevorderen (door andere technieken zoals greppelen, vegetatie, luwte, connectie met zee vergroten)

- ii. Opbrengen grond/suppletie (baggerslib)
 - 1. In combinatie met bovenstaande
 - 2. Alleen
 - 3. Eenmalig of herhalend (jaarlijkse uitbouw)
 - 4. Opspuiten vanuit geul
 - b. Bodemhoogte verlagen
 - i. Afgraven (kleiput)
 - ii. Plaggen (oppervlakkig)
 - c. Afwatering beïnvloeden
 - i. Ontwatering sturen vanaf eerste vormingsfase (zoals greppels en uitwatering in de kwelderwerken)
 - ii. Kreken aanleggen in bestaande kwelder of verkweldering
 - iii. Kreken dichtmaken
- 3. Ruimte creëren (met juiste hydrodynamiek)**
 - a. Ontpolderen/verkweldering: dijk terugleggen
 - i. Zomerpolder
 - ii. Polder
- 4. Consolidatie slib bevorderen**
 - a. Afwatering (kreken, drainage)
 - b. Vegetatie aanplanten
 - i. aan rand tegen afslag
 - c. Begrazing (vertrapping)

B. Beïnvloeden van biotische condities

- 1. Vegetatie inbrengen**
 - a. Aanplanten
 - b. Maaisel opbrengen
- 2. Bioturbatie wegnemen**
 - a. Matten
 - b. Schelpen
- 3. Vegetatie beheren**
 - a. Begrazing en maaien
 - i. Veek
 - b. Bemesten
- 4. Vogels**
 - a. Via vegetatie

Rijshoutdammen als bezinkvelden

Methode:	Dubbele palenrijen opgevuld met takken (oorspronkelijk wilgentenen, tegenwoordig meestal takken van naaldbomen die langer meegaan). De kop van de palen ligt in Friesland en Groningen op 30 cm + GHW. De dammetjes worden meestal in vakken met zijden van 200 of 400 m geplaatst: bezinkvelden. Vroeger werden greppels voor afwatering gegraven. Hoewel dat vegetatievestiging versnelt, is het niet nodig mits een opening voor in- en uitstroom aanwezig is. Alternatief is enkele rijen houten palen zonder opvulling.
Wat doet het/doel:	Luwte creëren waardoor sedimentatie versnelt en vegetatie zich vestigt.
Onderhoud, bestendigheid:	Elke paar jaar moeten de dammen gerepareerd en opgevuld worden, en eventuele achterloopsheid worden aangepakt. Specifiek materieel nodig voor aanleg en onderhoud.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Het bodemoppervlak dient tot enkele decimeters onder GHW of hoger te liggen en stroming en golven dienen niet te sterk te zijn. De methode werkt niet in gebied met structurele erosie als gevolg van processen op grotere schaal. Er moet in het water voldoende sediment beschikbaar zijn. Door de rijshoutdammen wordt de kwelder vastgelegd, de dynamiek beperkt, en de kwelder krijgt een hoekig uiterlijk. Resulteert in half-natuurlijke kwelders.
Zacht of hard:	Redelijk aanpasbaar over de tijd, dammetjes blijven wel lang zichtbaar.
Voordelen:	• Zeer grote oppervlakten kwelder kunnen worden gevormd. • Vegetatie vestigt zich spontaan. • Normale vegetatiezonatie en –successie. • Maatschappelijke acceptatie hoog: wordt gezien als typisch cultuurgood. • Kwelder kan al lager op het wad beginnen dan onder normale omstandigheden. • Kwelderareaal is goed stuurbaar. • Als kwelder eenmaal gevestigd is, is weinig onderhoud nodig. • Overgang wad-kwelder redelijk intact, kwelderrand blijft redelijk dynamisch. • Redelijk doorlatend: geen stagnatie van water.
Nadelen:	• Gevoelig voor ijsgang. • Dammen zijn opvallend in het landschap. • Bij onderhoud dammen kan kwelder lokaal beschadigd worden. • Gebied dient al redelijk luw te zijn. • Werkt niet in gebied met structurele erosie en/of te lage sediment beschikbaarheid. • Flexibel beheer tot op zekere hoogte mogelijk.
Toepasbaar in Nederland:	Goed: veel ervaring met deze methode
Ervaring, voorbeelden:	Veel ervaring; gehele Friese en Groninger vastelandskust, inclusief Dollard. Groot deel van Duitse Waddenkust. Enkele rijen houten palen: Zeeland.
Referenties:	Scarton et al., 2000; Dijkema et al., 2001; Hofstede, 2003; Dijkema et al., 2008



Rijshoutdammen in de vorm van bezinkvelden in de kwelderwerken langs de Friese vastelandskust (foto: Alma de Groot)

Rijshoutdammen parallel aan kwelderrand

Methode:	Dubbele palenrijen opgevuld met takken (oorspronkelijk wilgentenen, tegenwoordig meestal takken van naaldbomen), een enkele rij op enige afstand evenwijdig aan de kwelderrand zonder dwarsdammen.
Wat doet het/doel:	Golven en stroming afremmen en daarmee erosie stoppen.
Onderhoud, bestendigheid:	Elke paar jaar moeten de dammen gerepareerd en opgevuld worden. Specifiek materieel nodig voor aanleg en onderhoud.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Dammen zijn opvallend in het landschap.
Zacht of hard:	Redelijk aanpasbaar over de tijd, dammetjes blijven wel lang zichtbaar.
Voordelen:	• Acceptatie hoog: wordt gezien als typisch cultuurgoed. • Overgang wad-kwelder redelijk intact. • Redelijk doorlatend: geen stagnatie van water.
Nadelen:	• Gevoelig voor ijsgang. • Zeewaartse zijde kwelder vastgelegd, beperkt natuurlijke dynamiek (maar minder sterk dan stortstenen dammen). • Flexibel beheer tot op zekere hoogte mogelijk.
Toepasbaar in Nederland:	Goed
Ervaring, voorbeelden:	Feugelpôle (Ameland); zuidelijke deel van de Duitse kwelders in de Dollard
Referenties:	Esselink et al., 2011



Een rijshoutdam parallel aan de kwelderrand wordt aangelegd (Feugelpôle, Ameland. Foto: Alma de Groot).

Rijshoutdammen en palenrijen dwars op kwelderrand

Methode:	Dubbele palenrijen al dan niet opgevuld met takken (oorspronkelijk wilgentenen, tegenwoordig meestal takken van naaldbomen), loodrecht op de kwelderrand.
Wat doet het/doel:	Golven en stroming afremmen en daarmee erosie stoppen.
Onderhoud, bestendigheid:	Elke paar jaar moeten de dammen gerepareerd en opgevuld worden. Specifiek materieel nodig voor aanleg en onderhoud.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Dammen zijn opvallend in het landschap.
Zacht of hard:	Redelijk aanpasbaar over de tijd, dammen blijven wel lang zichtbaar.
Voordelen:	• Acceptatie hoog: wordt gezien als typisch cultuurgoed. • Overgang wad-kwelder blijft intact. • Redelijk doorlatend: geen stagnatie van water.
Nadelen:	• Gevoelig voor ijsgang. • Flexibel beheer tot op zekere hoogte mogelijk.
Toepasbaar in Nederland:	Goed
Ervaring, voorbeelden:	Rijshoutdammen: De Schorren (Texel), Van Ewijckschor en Kooijhoekschor (Balgzand). Palenrijen: Paulinaschor (Zeeland)
Referenties:	Esselink et al., 2011



Palenrijen dwars op de kwelderrand, De Schorren (Texel. foto: Willem van Duin).

Stortstenen dam als luwtedam

Methode:	Stortstenen dam van redelijke lengte, aan één zijde vast aan de oever. Hoogte boven GHW.
Wat doet het/doel:	Luwte creëren. Meestal is primaire doel een andere, namelijk grootschaliger kustverdediging of havenaanleg, en is de kwelder een bijeffect. Kan worden gecombineerd met andere maatregelen zoals opbrengen van sediment en aanleggen van rijshoutdammen.
Onderhoud, bestendigheid:	Weinig onderhoud. Relatief hoge aanlegkosten, weinig onderhoudskosten.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Bodem moet op voldoende hoogte liggen of worden gebracht; enige spontane sedimentatie is te verwachten maar kan enige tijd duren. Stortstenen van voldoende grootte om stabiel te zijn op betreffende locatie. Opvallend in het landschap. Aanleg is duur.
Zacht of hard:	Hard, aanpassingen niet tot nauwelijks mogelijk.
Voordelen:	• Kan ook als vooroeververdediging fungeren. • Spontaan drainagesysteem. • Vegetatie vestigt zich spontaan. • Grotendeels natuurlijke materialen. • Weinig onderhoud nodig.
Nadelen:	• Harde, onnatuurlijke overgang tussen kwelder en wad. • Golfreflectie aan zeezijde. • Risico op erosie verderop. • Beperkt natuurlijke dynamiek. • Gebiedsvreemd materiaal. • Geen flexibel beheer mogelijk
Toepasbaar in Nederland:	Goed
Ervaring, voorbeelden:	Veel ervaring. Ameland zuidwestkant, Schiermonnikoog bij havendam, Rysum (Duitsland), Peazemerlannen (bij Paesens-Moddergat), schor bij Den Oever, Terschelling
Referenties:	Pilkey & Wright, 1988; U.S.A.C.E., 2008



Stortstenen dam parallel aan de kust, Zuidwest Ameland (foto: Alma de Groot).

Kribben dwars op kwelderrand (stortsteen)

Methode:	Stortstenen dam als vooroeververdediging: min of meer loodrecht op de oever (dijk of kwelderrand) tot in de geul.
Wat doet het/doel:	Luwte: opdringen van geul verhinderen door stroming uit de kwelder te houden. Kweldervorming kan secundair effect zijn.
Onderhoud, bestendigheid:	Onderhoud periodiek nodig.
Aandachtspunten/voorwaarden:	In de Wester- en Oosterschelde worden tegenwoordig geen nieuwe kribben meer aangelegd; opdringing van grote geulen wordt nu tegengegaan door aanleg van geulwandverdedigingen.
Zacht of hard:	Hard
Voordelen:	• Oorzaak van erosie wordt op afstand gehouden. • Kwelderrand blijft min of meer dynamisch.
Nadelen:	• Bewegingsvrijheid van getijgeulen wordt beperkt waardoor ze de grootschalige dynamiek onderdrukken. • Kans op achterloopsheid. • Neveneffecten lastig te voorspellen.
Toepasbaar in Nederland:	Goed (bij geulopdringing)
Ervaring, voorbeelden:	Zeeland: Schor van Waarde, Paulinaschor
Referenties:	Pilkey & Wright, 1988; Storm, 1999; U.S.A.C.E., 2008; Esselink et al., 2011



Kribben loofrecht op de kwelderrand (Schor van Waarde, foto Google Earth).

Stenen glooiing langs kwelderrand

Methode:	Het bekleden van de kwelderrand met stenen of stortstenen, eventueel op een laag geotextiel. Dit kan zowel direct langs de kwelderrand als op enige afstand.
Wat doet het/doel:	Beschermen van de kwelderrand tegen erosie, waardoor areaal aan kwelder in stand wordt gehouden en eventueel verder kan ontwikkelen.
Onderhoud, bestendigheid:	Weinig onderhoud nodig.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Soms is de werking afhankelijk van natuurlijke cycli van aangroei en afslag. Relatief hoge aanlegkosten, weinig onderhoudskosten. Niet geschikt bij opdringende geulen.
Zacht of hard:	Een harde maatregel die erosie voorkomt, maar overstroming en sedimentatie wel toelaat.
Voordelen:	• Stoppen van erosie van de kwelderrand. • Laat overstroming en sedimentatie toe. • Wanneer stenen op enige afstand van kwelderrand worden gelegd, kans op natuurlijke vegetatieontwikkeling achter de beschermde rand. • Weinig onderhoud.
Nadelen:	• Harde, onnatuurlijke overgang tussen wad en kwelder. • Risico op erosie in aangrenzende gebieden en achterloopsheid bij aansluiting. • Verkleinen van de kans op eventueel terugkeren van een pionierszone voor de eroderende kwelder en voor de stortstenen rand. • Vastleggen dynamische processen van kweldererosie en aangroei. • Op lange duur veroudert alle kwelder achter de stortstenen rand. • Risico op versterkte erosie van wad door reflectie van golven. • Geen flexibel beheer mogelijk
Toepasbaar in Nederland:	Ja
Ervaring, voorbeelden:	Ameland, Terschelling, Peazemerlannen, verscheidene locaties in Zeeland
Referenties:	Storm, 1999; Doody, 2008; Esselink et al., 2011; Van Loon-Steensma & Slim, accepted



Stortstenen bescherming van de kwelderrand langs Neerlands Reid (Ameland, foto: Jantsje van Loon).



Stenen bekleding in de vorm van een lage kade, Peazemerlannen (foto: Jantsje van Loon)

Kleisuppletie langs kwelderrand

Methode:	Klei wordt direct tegen eroderende kwelderrand opgebracht of op korte afstand ervan (kleikade).
Wat doet het/doel:	Vermindering van afslag van de kwelderrand door aanbrengen slijtlaag, eventueel bron van klei voor de kwelder. Soms in de vorm van een dijkje of gronddam.
Onderhoud, bestendigheid:	Geregeld, anders verdwijnt effectiviteit.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Werkt bij relatief beperkte golfwerking, erosie die wordt veroorzaakt door ondermijning van het klif. Werkt vooral goed als de klei een zandige laag afdekt die de reden is voor erosie. Voldoende klei van goede kwaliteit voorradig in de directe omgeving (bijvoorbeeld afgraven / verlagen van kwelders). Suppletie in wintermaanden zorgt voor minste verstoring van bodemleven. Dichtslibben van krekten moet worden vermeden. Kleisuppletie op Ameland (2012) is op enige afstand parallel aan de kwelderrand aangebracht, effect daarvan moet nog geëvalueerd worden.
Zacht of hard:	Zacht
Voordelen:	• Relatief hoge natuurlijkheid van ingreep. • Effectief (in ieder geval tijdelijk). • Valt landschappelijk meestal niet op als suppletie direct tegen kwelderrand wordt aangebracht • Flexibel beheer mogelijk.
Nadelen:	• Regelmatig onderhoud en dus verstoring van het gebied noodzakelijk. • Suppletie moet gecontinueerd worden, anders gaat afslag door. • Krekten kunnen dichtslibben. • Verstoring van wad. • Levensduur moeilijk voorspelbaar. • Beperkte beschikbaarheid zware, niet verontreinigde klei.
Toepasbaar in Nederland:	Ja
Ervaring, voorbeelden:	Rumoirtschor/Anna Jacobapolder (Oosterschelde, 1992), Feugelpôle Ameland (2012), Balgzand (Kooijhoekschor en Van Ewijksluisschor)
Referenties:	Storm, 1999; Van Oevelen et al., 2000; Esselink et al., 2011



Kleisuppletie met schelpen langs de rand van de Feugelpôle, Ameland (foto: Alma de Groot). In dit geval is de kleisuppletie op enige afstand van de kwelderrand gelegd, maar een suppletie direct tegen de kwelderrand is ook mogelijk.

Zandsuppletie

Methode:	Zand wordt op het voorliggende wad of geul opgebracht.
Wat doet het/doel:	Het zand vormt een slijtlaag tegen erosie: afslaande kwelders zijn vaak gerelateerd aan verlagende wadplaten en/of opdringende geulen. Eventueel als bron van zand voor de kwelder.
Onderhoud, bestendigheid:	Het zand is een slijtlaag en de suppletie moet dus onderhouden worden.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Bij voorkeur uitvoeren in de wintermaanden. Kan als sedimentbron voor de kwelder fungeren, maar dit verandert de bodem van de kwelder. Effect van suppletie in geul moeilijk stuurbaar, meer ervaring of modellering voor nodig. Effectiviteit neemt toe naarmate het slik flauwer is en de dynamiek lager is.
Zacht of hard:	zacht
Voordelen:	• Kan gebeuren als werk met werk maken bij baggeractiviteiten. • Flexibel beheer mogelijk.
Nadelen:	• Regelmatig onderhoud en dus verstoring van het gebied noodzakelijk. • Kreken kunnen dichtslibben. • Verstoring van bodemleven in het wad, tijdelijk door ingreep en permanent door veranderende sedimentsamenstelling. • Levensduur moeilijk voorspelbaar. • Omliggende gebied wordt mede beïnvloed. • Verzanding kwelder.
Toepasbaar in Nederland:	Ja
Ervaring, voorbeelden:	Konijnenschor (Saeftinge, onbedoelde aangroei van schor door baggerstortlocatie in de buurt)
Referenties:	Storm, 1999

Gronddammen

Methode:	Een dijkachtige ophoging van de bodem, bijvoorbeeld door sediment uit greppels.
Wat doet het/doel:	Luwte creëren waardoor sedimentatie versnelt en vegetatie zich vestigt. Daarnaast worden gronddammen vaak gebruikt als vluchtroute voor vee bij hoogwater, en als onderdeel van de oorspronkelijke landaanwinningswerken. Kan in vorm overlappen met kleisuppletie.
Onderhoud, bestendigheid:	Onderhoud tegelijk met greppels.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Gronddammen als vluchtroutes van vee doorsnijden en compartimenteren de kwelder.
Zacht of hard:	Zacht, maar wel met duidelijke effecten
Voordelen:	• Veevluchtroute. • Gebiedseigen materiaal. • Grond beschikbaar uit bijvoorbeeld schonen van dijksloot . • Mogelijk ook bron van sediment. • Vergemakkelijkt vestiging pioniervegetatie op de gronddam.
Nadelen:	• Beperkt natuurlijke waterstroming. • Kan als beginpunt van dominantie door Zeekweek dienen.
Toepasbaar in Nederland:	Goed
Ervaring, voorbeelden:	Voorals onderdeel van de oude 'boerenmethode' van landaanwinning, en daarmee ook in de kwelderwerken. In ontpolderde gebieden. In project Groninger kwelderherstel (zie foto).
Referenties:	Dijkema et al., 2001; Brew, 2010



Gronddam in de Dollard, recent aangelegd als vluchtroute voor het vee (foto: Alma de Groot).

Geotextiel (geotubes)

Methode:	Langgerekte 'worsten' van geotextiel (polypropyleen, polyester) gevuld met grond, schelpen of stenen, als alternatief voor ander hard materiaal.
Wat doet het/doel:	Golfaanval remmen, kwelderrand verstevigen, als dijkje om bagger/grond in op te slaan.
Onderhoud, bestendigheid:	Geotextiel vraagt nauwelijks onderhoud
Aandachtspunten/voorwaarden:	Stabiliteit onder stormen en ijsgang in Nederlandse situatie onbekend.
Zacht of hard:	Semi-hard.
Voordelen:	• Snel en flexibel.
Nadelen:	• Gebiedsvreemd materiaal • Ziet er niet erg aantrekkelijk uit • Veroudering van textiel. • Beperkt natuurlijke dynamiek.
Toepasbaar in Nederland:	Veel gebruikt langs zandige kusten, bijvoorbeeld in USA
Ervaring, voorbeelden:	Bescherming van kwelderrand in Venetië.
Referenties:	Cecconi, 2009



Geotubes gebruikt bij kwelderaanleg in de lagune bij Venetië (foto: Cecconi, 2009).

Riffen

Methode:	Mossel- of oesterriffen voor of langs de kwelderrand. Schelpdieren worden bijvoorbeeld in korven aangebracht. Alternatief voor stortstenen dam.
Wat doet het/doel:	Golfaanval remmen, kwelderrand verstevigen.
Onderhoud, bestendigheid:	Indien oesters zich weer natuurlijk vestigen op het aangeboden substraat is onderhoud op de lange termijn niet noodzakelijk
Aandachtspunten/voorwaarden:	De methode is nog experimenteel in Nederland. De habitats van kwelderplanten en oester- of mosselriffen sluiten niet op alle locaties op elkaar aan.
Zacht of hard:	Oorspronkelijk kwamen oesters langs de oostkust van de VS voor op en langs kwelderranden. De schanskorven die in de huidige experimenten het eerste substraat voor oesters moeten vormen zien er niet heel natuurlijk uit. Echter, oesterriffen kunnen op luwe plaatsen ook aangelegd worden door dood schelpenmateriaal neer te leggen. Riffen die zich hierop vestigen zien er vergelijkbaar met een natuurlijk rif uit.
Voordelen:	• Grotendeels natuurlijke materialen. • Voedsel voor vogels. • Schelpdieren kunnen als slibvang dienen.
Nadelen:	• Ziet er in het begin onnatuurlijk uit. • Onbekend hoe stabiel de constructie is.
Toepasbaar in Nederland:	Werking voor kwelders in Nederlandse situatie moet nog aangetoond worden
Ervaring, voorbeelden:	In Nederland is een proef gaande in Zeeland die betrekking heeft op erosie van zandplaten. In de VS wordt al langer geëxperimenteerd met het aanleggen van oesterriffen om de erosie van kwelders tegen te gaan.
Referenties:	http://www.ecoshape.nl/nl_NL/examples.html/example/66-Shellfish+reefs Beck et al., 2011; Gedan et al., 2011; Scyphers et al., 2011, pers. comm. Norbert Dankers



Proef met oesterrif in de Oosterschelde (foto: http://www.ecoshape.nl/en_EN/examples.html/example/66-Shellfish+reefs)

Stuifdijken

Methode:	Met behulp van takkenschermen (invangschermen) en eventueel Helmaanplant wordt het vastleggen van zand bevorderd totdat er een 'dijk' van zand ontstaat.
Wat doet het/doel:	Stuifdijk zorgt voor bescherming van zandplaat van open zee, waardoor in luwte vegetatie kan groeien en slib kan afzetten.
Onderhoud, bestendigheid:	In eerste jaren moeten takkenschermen geregeld herplaatst worden. Daarna alleen onderhoud nodig bij eventuele doorbraken bij storm (meestal op de plaats van voormalige washovers).
Aandachtspunten/voorwaarden:	Alleen mogelijk als er een zandplaat is die grotendeels boven water ligt en met voldoende zandaanvoer door de wind. In het Waddengebied is dat alleen op de eilanden. Goede locatie en richting is van belang voor slagen van stuifdijk. Alleen succesvol als aanleg samenvalt met voldoende beschikbaarheid van zand, ofwel door suppleties of door natuurlijke factoren.
Zacht of hard:	Een voorbeeld van een relatief zachte oplossing m.b.v. biobouwers (helm), maar heeft in de praktijk een grote en langdurige invloed op de eilandmorfologie.
Voordelen:	• Grote arealen kwelder zijn aan te leggen. • Gebiedseigen materiaal. • Creëren van duinhabitat.
Nadelen:	• Beperkt natuurlijke dynamiek, verstarring van eiland, en daarmee versnelling van vegetatiesuccessie en aantasting van vermogen van eiland om mee te groeien met de zee. • Onnatuurlijk uiterlijk van stuifdijk. • Grote gebieden kwelder van gelijke ouderdom. • Verlies van areaal wanneer eiland in afbrekende fase terechtkomt wordt door eilandbewoners niet gewaardeerd.
Toepasbaar in Nederland:	Ja, maar gezien huidige inzichten over verstarring minder gewenst.
Ervaring, voorbeelden:	Texel (slufter), Terschelling (Boschplaat), Ameland, Schiermonnikoog
Referenties:	Löffler et al., 2008; Bochev-van der Burgh, 2012



Stuifdijk op Schiermonnikoog, gezien vanaf de Noordzezijde (foto: Alma de Groot).

Vegetatie langs kwelderrand bevorderen

Methode:	Golfremmende vegetatie langs kwelderrand bevorderen. Heen en riet functioneren het beste. Aanplanten, en/of stimuleren door begrazing aan kwelderrand tegen te gaan.
Wat doet het/doel:	Golfremmen, sediment verstevigen, en daarmee kliferosie tegengaan.
Onderhoud, bestendigheid:	
Aandachtspunten/voorwaarden:	Vooral in brakke gebieden. Gauwe ganzen kunnen vooral Heen decimeren door wortelknolletjes op te graven, en daarmee erosie juist bevorderen. Geen consensus over grootte van effect.
Zacht of hard:	Zacht
Voordelen:	• Zeer natuurlijk, mits gebiedseigen vegetatie. • Niet herkenbaar in het veld als maatregel. • Riet trekt specifieke fauna aan zoals broedvogels.
Nadelen:	• Invasieve vegetatie zoals Spartina kan een plaag worden • Vegetatie is gevoelig voor ganzenbegrazing • De maatregel is niet altijd afdoende.
Toepasbaar in Nederland:	Vooral in brakke gebieden.
Ervaring, voorbeelden:	Dollard; China
Referenties:	Feagin et al., 2009; Esselink et al., 2011; Möller et al., 2011



Rietbed langs afslaanende kwelderrand in de Dollard (foto: Alma de Groot).

Opbrengen grond/suppletie (baggerslib)

Methode:	Opbrengen, opspuiten of dumpen van sediment (zand of slib), zo nodig in een bassin gevormd door dijkjes, dammen of geotextiel.
Wat doet het/doel:	Bodem op juiste hoogte brengen zodat vegetatie zich kan vestigen. Dit is nodig als de bodem lager dan enkele decimeters onder GHW ligt, omdat dan andere methoden niet of minder effectief zijn om kweldervorming op gang te brengen.
Onderhoud, bestendigheid:	Afhankelijk van gebied.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Korrelgrootte belangrijk: type beschikbaar materiaal bepaalt toepassing. Ophogen van ondergrond kan met zand, maar op kwelderhoogte vormt genoeg klei en organisch materiaal in suppletiemateriaal een voorwaarde. Flauwe, zeewaarts gerichte helling aanbrengen is essentieel voor ontwikkelen van drainagepatroon. Materiaal moet blijven liggen. Materiaal mag geen verontreinigingen bevatten. Het materiaal vertoont zetting na opbrengen, tot wel een meter zakking. Bij steile gebieden (met grote getijslag) kan terrasvorm in combinatie met bijvoorbeeld palenrijen geschikt zijn. Vooraf geschikt in luwe gebieden. Voor blijven liggen van suppletie zelf: timing is belangrijk in gebieden met sterke stroming of zware storm condities. Suppletie in de buurt van bestaande kwelders kan tot dichtslibben van kreken leiden. Bodemhoogte cruciaal: • Te hoog: geen kwelder meer • Iets te hoog (ruim boven GHW): verandert in verruigde kwelder • Goed (rond GHW): natuurlijke processen vormen kwelder die op natuurlijke kwelder lijkt • Te laag: vegetatie vestigt zich niet. Het suppleren van een bestaande kwelder is een heel ander proces dan het opbrengen van grond om een kwelder te laten ontwikkelen. Daarnaast vraagt een suppletie van klei om een andere techniek dan een suppletie met zand.
Zacht of hard:	Baggerslib zelf: zacht: kan geërodeerd worden. Hangt verder af van evt. noodzakelijke combinatie met andere maatregelen (dammetjes).
Voordelen:	• Alternatief gebruik van baggerspecie. • In beste geval geen zichtbare constructies. • Na creëren uitgangshoogte zou vegetatievestiging (bij voldoende luwte) meestal vanzelf moeten gaan. • Meestal is aanleggen kreken niet nodig.
Nadelen:	• Voorspelbaarheid. • Modder suppleren is lastig: mag niet te geconsolideerd zijn, maar ook niet te veel slurry. • Soms zijn aanvullende maatregelen zoals dammetjes nodig. • Structuurkwaliteit en functionaliteit van gecreëerde kwelders haalt meestal die van de natuurlijke kwelders niet.
Toepasbaar in Nederland:	Opbrengen van baggerslib in bassin: ja. Zijwaarts spuiten van baggerslib direct vanuit kanaal (zoals in USA): minder geschikt omdat in NL te baggeren geulen meestal niet direct naast kwelder liggen Opbrengen baggerslib zonder bassin: onbekend.
Ervaring, voorbeelden:	Pilsum (Duitsland, geen groot succes omdat de bodem te hoog ligt), USA, Venetië.
Referenties:	pers comm. Jörn Bunje; Van Oevelen et al., 2000



Opbrengen van baggerslib in de lagune bij Venetië (foto: Cecconi, 2009).

Afgraven/plaggen

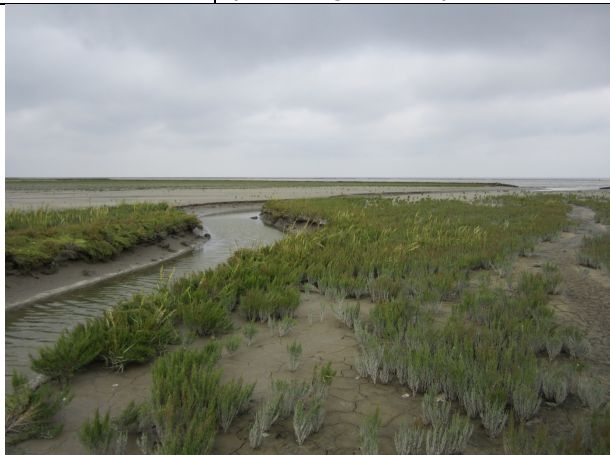
Methode:	Afgraven van bestaande kwelder.
Wat doet het/doel:	Bodemhoogte verlagen, waarna hernieuwde opslibbing plaats kan vinden. Plaggen verwijdert alleen de zode, afgraven gaat dieper. Meestal is het doel kleiwinning voor dijkversterking ('kleiput'). Voor vegetatiebeheer kan kwelderverjonging het doel zijn: van hoge kwelder (weer) lage kwelder maken.
Onderhoud, bestendigheid:	Geen onderhoud
Aandachtspunten/voorwaarden:	Bodemhoogte na afgraven zeer belangrijk: op het niveau van het wad (onder/rond GHW). Uitwisseling met zeewater (sedimentbron) zeer belangrijk. Aandacht voor grootte af te graven gebied en randeffecten. Methode kan nog geoptimaliseerd worden.
Zacht of hard:	Zacht
Voordelen:	• Hernieuwbare grondstof vlak bij dijk: werk met werk maken. • Verjonging van verouderende kwelder. • Semi-natuurlijke kwelder kan worden veranderd in meer natuurlijke kwelder.
Nadelen:	• Door ruimtelijke positionering kan het habitat voor gebruik van fauna afwijken van natuurlijke situatie. • Risico op secundaire pionierzone in plaats van primaire. • Grondstoffenwinning en natuurwetgeving gaan moeilijk samen. • Mogelijk effect op golfreductie en verlenging kwelweglengte door kwelder (nog te onderzoeken). • Grote (tijdelijke) verstoring van de kwelder. • Duur. • Sediment kan verontreinigd zijn (bijvoorbeeld in de Schelde)
Toepasbaar in Nederland:	Ja
Ervaring, voorbeelden:	Niedersachsen (Duitsland) Paardeschor (België): http://informatiecentrum.inbo.be/imis.php?module=dataset&dasid=1062 Enkele voorbeelden in Nederland (kwelder bij Linthorst-Homanpolder in Groningen, Schor van Waarde Westerschelde, Slikken van Viane Oosterschelde) die maar ten dele of niet zijn geëvalueerd. Mate van spontane invulling met sediment zeer wisselend en afhankelijk van de manier van aanleggen.
Referenties:	Storm, 1999; Arens, 2002; Karle & Bartholomä, 2008; Van Duin, 2012



Kleiput in de Jadebusen, Duitsland (foto: Alma de Groot).

Afwatering graven of dichten (kreken en greppels)

Methode:	Greppels of kreken graven. Greppels of kreken dichten.
Wat doet het/doel:	Graven: afwatering verbeteren en daarmee bodemrijping en vegetatievestiging. Toelevering van overstromingswater met sediment aan binnenzijde kwelder verbeteren. Dichten: vernatting en daarmee vegetatiesuccessie tegengaan.
Onderhoud, bestendigheid:	Op den duur komen kreken in evenwicht met het af en aan te voeren water, zodat verder open houden niet meer nodig is. Wel kunnen te diepe kreken gevaarlijk zijn voor vee.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Het uitgegraven sediment moet ergens gelaten worden. Bij een ontwikkelende kwelder is het niet nodig om kreken of greppels te graven, de afwatering vormt vanzelf. Er is wel indicatie dat het daarvoor nodig is om een focuspunt voor de ontwatering te hebben in de vorm van bijv. een opening in een dam of geul op het wad. Vanuit natuuroogpunt is er een voorkeur voor spontane drainage en niet greppelen. Overgedimensioneerde kreken en greppels vullen grotendeels uit zichzelf in. Drainage van wad en pionierzone kan vestiging pionierzone en lage kwelder versnellen (historische 'boerenmethode'). Drainage van hoge kwelders kan leiden tot ongewenst versnellen van successie (dominantie van Zeekweek). Greppels in kwelderwerken fungeren als slibvang, en schonen van greppels levert extra sediment aan kwelder. Dit wordt in het huidige beleid niet meer toegestaan.
Zacht of hard:	In principe zacht, maar kan grote langdurige effecten op kwelder hebben.
Voordelen:	• Sturen van vegetatieontwikkeling. • Versnelde vegetatievestiging. • Kreken brengen zich op den duur zelf in evenwicht met kwelder en getijvolume.
Nadelen:	• Eenmaal een kreek blijft een kreek: de locatie en vorm van drainagepatronen zijn zeer moeilijk te veranderen en onnatuurlijke patronen blijven meestal bestaan. Alleen de kwelder afgraven tot het niveau van de bodem van de kreek kan het drainagepatroon vernatuurlijken. Foutief aangelegde kreken zijn vaak stabiel en gedacht, met mogelijke ongewenste effecten zoals geringe sedimentatie of erosie. • Dichtgezette greppels in kwelderwerken bleken zichzelf weer open te maken.
Toepasbaar in Nederland:	Ja
Ervaring, voorbeelden:	Ruime ervaring in kwelderwerken; wisselende ervaring in ontpolderingen, bijvoorbeeld Noord-Friesland Buitendijks
Referenties:	Esselink et al., 1998; Williams et al., 2002; Van Duin & Dijkema, 2003; Van Duin et al., 2007b; Verbessum et al., 2007; Vandenbruwaene et al., 2012, pers. comm. Jacobus Hofstede (Schleswig-Holstein),



Natuurlijk gevormde kreek in de pionierzone van de kwelderwerken langs de Friese vastelandskust (foto: Alma de Groot).



Typisch patroon van greppels in de kwelderwerken in Groningen.

Ontpolderen/verkwelderen

Methode:	Gat of duiker in de dijk maken, of dijk geheel of gedeeltelijk weghalen, waardoor land (weer) onder de invloed van de zee komt te staan. Dit kan zowel met zomerpolders als met gewone polders gebeuren.
Wat doet het/doel:	Ruimte creëren voor ontwikkeling van kwelders (natuurontwikkeling) en stoppen van dure inspanning voor beschermen van landbouwgebieden of laaggelegen gebieden met lage bevolkingsdichtheid. Waterberging. Ophogen gebied (wisselpolders).
Onderhoud, bestendigheid:	In principe geen onderhoud nodig behalve normaal kwelderbeheer. In geval van duikers wel onderhoud aan duikers.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Elk project vraagt maatwerk, aangezien er zeer veel verschillende Ausgangssituaties en ingrepen mogelijk zijn. Initiële hoogte van de bodem is zeer belangrijk: iets onder of rond GHW, met een zeewaarts gerichte helling. Inrichting is zeer belangrijk. Instroom van zeewater moet worden afgestemd op gebied (duikers, sluis, open verbinding, weghalen dijk), dit is cruciaal voor sedimentatie (bij onjuiste dimensionering kan dat te veel of te weinig zijn) en vegetatieontwikkeling. Ook drainage binnen het gebied is belangrijk om te voorkomen dat water blijft staan en de bodem anoxisch wordt. Zomerpolders verkwelderen is meestal makkelijker dan normale polders Deskundigen verschillen van mening over ecologisch succes. Hoge initiële kosten.
Zacht of hard:	Afhankelijk van ingreep.
Voordelen:	• Vergroting kwelderareaal dat niet ten koste gaat van voorliggend wad. • Mogelijk verbetering en besparing kustverdediging. • Lange-termijn oplossing. • Recreatief medegebruik mogelijk.
Nadelen:	• Duur. • Maatregel stuit vaak initieel op weerstand bij bewoners. • Vestiging van zoutminnende vegetatie niet altijd zo goed als gehoopt. • Vaak moet landwaartse dijk worden opgehoogd. • Land voor ontpoldering moet vaak verworven worden. Gaat ten koste van landbouwgrond. Planologisch ingrijpend.
Toepasbaar in Nederland:	Afhankelijk van ligging polders.
Ervaring, voorbeelden:	Ruime ervaring in UK. In Nederland ook ervaring door bewuste of onopzettelijke dijkdoorbraken: Peazemerlannen, Noord-Friesland Buitendijks, Sieperdaschor. In België recent een aantal projecten met verschillende versies van ontpolderen en gecontroleerd gereduceerd getij (Paddebeek, Heusden LO, Ketenisse). In Duitsland: Langeoog
Referenties:	Crooks et al., 2002; Wolters et al., 2005b; French, 2006; Van Duin et al., 2007b; Barkowski et al., 2009; Mossman et al., 2012 Overzicht van projecten en resultaten: http://www.abpmer.net/omreg/ Voor België: http://informatiecentrum.inbo.be/



Noord-Friesland Buitendijks: op de voorgrond een verkwelderde zomerpolder, op de achtergrond de huidige zomerpolder. De dichtslibbende voormalige greppels zijn te herkennen aan de rode vegetatie (foto: Alma de Groot).

Vegetatie bevorderen (planten/zaaien)

Methode:	Vegetatie planten, of zaden inbrengen via maaisel of vloedmerk (veek).
Wat doet het/doel:	Vegetatievestiging bevorderen, zoutminnende plantensoorten inbrengen.
Onderhoud, bestendigheid:	Na vestiging zou de vegetatie zichzelf in stand moeten kunnen houden.
Aandachtspunten/voorwaarden:	Als het gebied in open verbinding met de zee staat, vestigt de vegetatie zich in de praktijk vanzelf, en is geen planten of zaaien nodig. Alleen bij verkwelderingen met zeer beperkte uitwisseling kan het gewenst zijn. Werkt alleen als het gebied op de juiste hoogte ten opzichte van het getij ligt.
Zacht of hard:	zacht
Voordelen:	• Eerdere vestiging doelsoorten. • Kans op snellere kweldervorming.
Nadelen:	• Risico op invasieve soorten. Het aanplanten van <i>Spartina anglica</i> heeft het aanzicht van de schorren in Zeeland sterk veranderd. • Arbeidsintensief.
Toepasbaar in Nederland:	Beperkt: meestal niet nodig. Wordt wel gebruikt in het herstellen van binnendijkse zoute vegetaties. (wordt vooral toegepast in venige kwelders waar vegetatie een belangrijk deel van het kweldersediment vormt)
Ervaring, voorbeelden:	zaaien en aanplanten van <i>Spartina</i> (recent in USA, vroeger ook in Nederland)
Referenties:	pers. comm. Jan Bakker en Mineke Wolters, Storm, 1999; Wolters et al., 2005a; Wolters, 2006; Dausse et al., 2008; Brew, 2010 Huiskes et al., 1995 (afstanden natuurlijke zaadverspreiding)



Vloedmerk op Kwade Hoek (Zeeland). Zulk aanspoelsel kan gebruikt worden als bron van zaden van kwelderplanten (foto: Alma de Groot).

Vegetatiebeheer: beweiden en maaien

Methode:	Inscharen van runderen, paarden en/of schapen; Maaien
Wat doet het/doel:	Verandering van vegetatietype en -structuur, en daarmee geschiktheid voor vogels. Een lage begrazingsdruk zorgt over het algemeen voor de hoogste biodiversiteit, door het verwijderen van biomassa en vertrappen van het sediment. Verminderen van veekproductie
Onderhoud, bestendigheid:	Toezicht op vee noodzakelijk vanwege dagelijks getij
Aandachtspunten/voorwaarden:	Uit eerste resultaten van praktijkproef blijkt dat runderen en schapen de voorkeur hebben boven paarden. Begrazingsintensiteit (hoeveel dieren per oppervlakte) is zeer bepalend voor resultaat. Beweidings zorgt voor extra compactie van de bodem. Beweidings vindt meestal alleen in het zomerseizoen plaats. De juiste veebezetting om de gewenste vegetatiestructuur te bereiken is afhankelijk van de ontwatering, het kleigehalte, het weer en de maaiveldhoogte (zie Van Duin & Dijkema, 2012).
Zacht of hard:	Zacht
Voordelen:	• Biodiversiteit beïnvloeden. • Sturen op hoeveelheid vee. • Landbouwproductie.
Nadelen:	• Risico op vertrapping van bodem en vogelnesten. • Duur, en afweging nodig met efficiënte bedrijfsvoering vee. • Smalle diepe kreken/greppels kunnen gevaar zijn voor veeveiligheid.
Toepasbaar in Nederland:	Goed
Ervaring, voorbeelden:	Ruime ervaring
Referenties:	Peter Esselink pers. comm., Bakker et al., 2000; Schrama, 2012; Van Duin & Dijkema, 2012 http://www.pgg.de/index.php/umweltplanung/wasserwirtschaft2/strategien-zur-treibselreduzierung



Beweidings door rundvee op Schiermonnikoog (foto: Alma de Groot).

4. Afwegingen

4.1 Welke techniek in welke situatie: beleid, doelen en functies

De afwegingen voor beheer en onderhoud van kwelders en het stimuleren van kwelderontwikkeling hangen af van de beleidsdoelstellingen voor het betreffende gebied en de wensen rond de functies op de betreffende locatie (Doody, 2008). Lange tijd waren de doelen voor kwelders gericht op agrarisch gebruik. De huidige doelen voor kwelders zijn vooral gericht op natuurlijkheid en biodiversiteit en zijn gebaseerd op wettelijke kaders of beleidsafspraken uit de PKB Waddenzee, Natura 2000, de Kaderrichtlijn Water en het Trilaterale Wadden Sea Plan. Recent is daar het Programma naar een Rijke Waddenzee bij gekomen. Het beheer en onderhoud van de huidige kwelders is in belangrijke mate op deze doelstellingen afgestemd. Daarnaast hebben kwelders een belangrijke landschappelijke kwaliteit en vertegenwoordigen ze een recreatieve waarde. Vooral vanwege de lange historie van landaanwinning en agrarisch gebruik hebben veel kwelders ook cultuurhistorische waarde. Verder kunnen kwelders mogelijk een rol in de waterveiligheid vervullen, waarvoor in het Deltaprogramma Waddengebied in 2011 en 2012 verkenningen zijn uitgevoerd.

Welke technieken en maatregelen het meest geschikt zijn voor een specifieke situatie hangt af van de lokale fysische randvoorwaarden en de doelstellingen ten aanzien van het gebied. Het is daarom belangrijk om zo veel mogelijk informatie te verzamelen over de beleidsdoelstellingen, wetgeving en wensen voor de betreffende kwelders. Daarmee kunnen alle voor- en nadelen van een verandering in beheer en onderhoud of kwelderontwikkeling op bestaande en nieuwe functies in beeld gebracht worden. Dit is zeker van belang als het oorspronkelijke beleidsdoel voor het gebied is veranderd (bijvoorbeeld van landbouw naar natuur), omdat doelen niet altijd eenvoudig in elkaar zijn om te zetten.

Om een aantal voorbeelden van doelen en daarvoor geschikte maatregelen te noemen: voor het uitbreiden van kwelderareaal zijn rijshoutdammen en andere vormen van (semi-)harde constructies om luwte te creëren, opbrengen van grond en ontpolderen geschikt. Voor het versnellen van kwelderopslibbing zijn vooral semi-doorlaatbare constructies zoals rijshoutdammen geschikt. Bij het tegengaan van kliferosie kunnen kleisuppleties tegen de kwelderrand en beschermende constructies van allerlei materialen soelaas bieden. Voor biodiversiteitsbeheer, bijvoorbeeld het tegengaan van verruiging, kunnen beweiding en maaien, ingrepen in drainage en afgraven worden ingezet. Tot slot zijn sommige maatregelen zijn minder geschikt als er doelen worden gecombineerd: stortstenen dammen ingezet voor kwelderuitbreiding gaan niet samen met doelen van natuurlijkheid.

Menselijke ingrepen komen neer op sturen. De stuurbaarheid is daarom mede afhankelijk van de mate waarin de mens wil ingrijpen en vinger aan de pols wil houden (en daarmee van beleidsdoelstellingen). Hoe ingrijpend het sturen is, hangt af van een combinatie van factoren. Hoe vaak een maatregel of ingreep moet worden gedaan hangt af van het type maatregel, de locatie waar deze wordt uitgevoerd en of het een combinatie met andere maatregelen is. Daarnaast is van belang waar de maatregel in het continuüm van hard naar zacht ligt, hoe groot het gebied is dat door de ingreep wordt beïnvloed, en of de ingreep ook negatieve bijeffecten heeft. Bij kwelderaanleg moet worden gerealiseerd dat de hoogteligging zeer belangrijk is: buitendijkse gebieden die zo hoog liggen dat ze minder dan vijf keer per jaar door het zeewater worden overstroomd, zijn geen kwelder meer.

Vanuit de natuurwetgeving zijn voorwaarden gesteld aan ingrepen in het Waddengebied. Maatregelen die primair het beheer van het gebied betreffen, en die zijn opgenomen in het Natura2000 beheerplan, zijn in principe toegestaan. In de context van dit rapport is vooral het aanleggen van kwelders als dat ten

koste gaat van wadplaten en/of andere habitattypen een aandachtspunt. Voor achtergrondinformatie hierover wordt verwezen naar rapporten over 'een ruimere jas binnen N2000' (Mendelits & Boerema, 2011; Baptist et al., 2012) en naar de rapporten over mogelijkheden voor eco-engineering in de Waddenzee (HaskoningDHV, 2012), en voor verdere afwegingen naar 'Zoekkaart kwelders en waterveiligheid Waddengebied' (Van Loon-Steensma et al., 2012a).

4.2 Welke techniek in welke situatie: abiotische omstandigheden

Op basis van de fysieke (abiotische) randvoorwaarden is in de 'Zoekkaart Kwelders en Waterveiligheid Waddengebied' (Van Loon-Steensma et al., 2012a) onderscheid gemaakt in een aantal klassen. Deze geven aan in welke mate een gebied vanuit deze randvoorwaarden van nature geschikt is voor kweldervorming, gegeven de mate waarin het gebied is blootgesteld aan wind, golven en stroomsnelheden. Deze klassen zijn:

- Er is al een kwelder. De omstandigheden zijn zodanig geschikt voor een kwelder dat er een ontwikkelde kwelder aanwezig is. Het kan gewenst zijn om de kwelder te onderhouden (bijvoorbeeld vegetatiebeheer) of uit te breiden. Als deze aan erosie onderhevig is, kunnen maatregelen toegepast worden zoals kleisuppletie en rijshoutdammen.
- Er is recent spontaan nieuwe kweldervorming gestart. De omstandigheden zijn dus sinds kort geschikt voor een kwelder, meestal betekent dit de aanwezigheid van een pionierzone. Vanuit waterveiligheid kan het wellicht wenselijk zijn om hier de ontwikkeling te versnellen. Echter, één van de beleidsdoelstellingen voor kwelderontwikkeling is een zo groot mogelijk areaal natuurlijk kwelders. Maatregelen om kwelderontwikkeling te versnellen mogen niet botsen met Natura2000 en de regels voor het werelderfgoed.
- Kleine aanleginspanning. De fysische omstandigheden zijn zo dat er niet spontaan een kwelder vormt, maar met bescheiden aanleginspanning kunnen de processen die verantwoordelijk zijn voor kweldervorming wel worden gestimuleerd. Concreet betekent dit dat wordt ingeschat dat met behulp van bijvoorbeeld rijshoutdammen zich een kwelder zal kunnen vormen. Ook het aanleggen van schelpdierriffen zou hier interessant kunnen zijn, maar deze techniek bevindt zich nog in een experimenteel stadium.
- Grote aanleginspanning: de bodem ligt te laag en de stroomsnelheden zijn te hoog om alleen met rijshoutdammen kweldervorming te laten beginnen. Dit betekent dat er grond opgebracht moet worden en/of aanvullende maatregelen om luwte te creëren, zoals stortstenen dammen en/of geotubes.
- Niet zinvol: de abiotische omstandigheden zijn zodanig dat een erg grote inspanning nodig is om tot kweldervorming te komen, en dat bovendien als een kwelder zich dan vormt, deze waarschijnlijk niet erg lang zal blijven bestaan en/of een grote onderhoudsinspanning zal vragen. Een reden hiervoor kan bijvoorbeeld zijn dat er een geul in de buurt ligt. Het is overigens mogelijk dat zo'n 'te grote inspanning' wel vanuit een ander doel wordt gedaan, waarna kwelders kunnen vormen, bijvoorbeeld een (groot) infrastructureel werk dat luwte creëert.

Alle maatregelen die met aanleg te maken hebben, komen er in principe op neer om de begroeiing van planten en het invangen van slib mogelijk maken. Dat zijn immers belangrijke kenmerken van een kwelder. Als deze factoren, samen met schoon water en schone bodem, in orde zijn, zijn de belangrijkste voorwaarden voor een goed functionerende fauna geschapen. Hoe minder geschikt een locatie van nature voor kweldervorming is, hoe meer een combinatie van maatregelen nodig zal zijn. Bijvoorbeeld: droogvallende wadplaten met een geul op niet al te grote afstand, zullen eerst moeten worden opgehoogd tot rond GHW. Daarnaast zal luwte moeten worden gecreëerd met behulp van bijvoorbeeld rijshoutdammetjes en dient de geul op afstand te worden gehouden door hardere constructies. Bij een permanent onder water staande uitgangssituatie zijn deze maatregelen waarschijnlijk onvoldoende en zijn waarschijnlijk hardere constructies nodig om een kwelder te creëren en overlevingskansen te bieden.

Er is in Nederland veel ervaring met bijvoorbeeld de combinatie van bezinkvelden met rijshoutdammen (kwelderwerken) en beweiding. Ook allerlei andere combinaties zijn mogelijk, zoals kleisuppletie met rijshoutdammen in allerlei configuraties (bijvoorbeeld Figuur 2). Soms kunnen ingrepen beter niet op de (potentiële) kwelder zelf plaatsvinden, maar daarbuiten op een indirecte manier. Als bijvoorbeeld door geulerosie een kwelder afslaat, is een geulwandverdediging mogelijk effectiever dan het direct verdedigen van de kwelderrand.



Figuur 2. Een voorbeeld van het combineren van technieken: stortsteen, rijshoutdam en kleisuppletie (Niedersachsen, Duitsland, foto: Jantsje van Loon).

In het Nederlandse kustbeleid worden tegenwoordig veelal zachte maatregelen geprefereerd in zachte sediment omgevingen, in plaats van harde constructies (Ministerie van Verkeer en Waterstaat & Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu, 2007). Het is verleidelijk om harde maatregelen te overwegen, omdat deze snel tot een positief resultaat lijken te leiden. Het blijkt echter dat harde constructies vrijwel altijd negatieve effecten hebben op de verdere omgeving, die vaak moeilijk te voorspellen zijn. Daarnaast zijn zachte maatregelen beter bij te sturen als dit nodig mocht zijn (adaptief beheer), en passen de maatregelen beter in het gebied.

Sommige maatregelen uit de literatuur zijn niet als factsheet opgenomen, omdat ze in de Nederlandse situatie niet zinvol of zelfs ongewenst zijn:

- Bemesten van vegetatie om vestiging te versnellen: op vastelandskwelders waarschijnlijk overbodig, op meer zandige ondergrond kan de bodem de voedingsstoffen niet vasthouden (Van Oevelen et al., 2000), en op eilandskwelders zou bemesting de successie versnellen wat tot (vanuit natuuroogpunt ongewenste) verruiging leidt. In beweide gebieden, met name zomerpolders, wordt bemesting wel ingezet om grasgroei te bevorderen. Dit kan positief uitwerken voor weidevogels.
- Constructie van terrassen lijkt in de Nederlandse situatie, met niet al te grote getijverschillen, minder voor de hand te liggen dan in estuariene situaties met beperkte ruimte en grote getijslag zoals de Zeeschelde in België (Van Oevelen et al., 2000).

- Er zijn maatregelen bekend, die de kwelder dermate van karakter doen veranderen dat het eigenlijk geen kwelder meer is. Een voorbeeld daarvan zijn zomerpolders, waar een lage dijk er voor zorgt dat alleen de paar hoogste waterstanden per jaar het gebied overstromen. In de praktijk verandert het gebied daardoor in een zilt grasland, dat door beperkte opslibbing in hoogte achterblijft bij de zeespiegel. Een ander voorbeeld is het opbrengen van grond tot boven de hoogte van jaarlijkse stormvloed. Een dergelijk gebied mag dan wel buitendijks zijn, het is geen kwelder meer.

4.3 Waterveiligheid

Binnen het Deltaprogramma Waddengebied wordt aandacht besteed aan de mogelijke bijdrage van kwelders aan de waterveiligheid. De reden dat kwelders daarvoor interessant kunnen zijn is dat ze golven dempen (o.a. Möller et al., 2001), dat ze de kwelweglengte vergroten (Venema et al., 2012), en voor stabiliteit van de dijk zorgen (zie o.a. Van Loon-Steensma et al., 2012b). Daarnaast kunnen kwelders, binnen bepaalde grenzen, meegroeien met de zeespiegel (zie paragraaf 4.5). Meer informatie de functie van kwelders voor de waterveiligheid is te vinden in de rapporten 'Kwelders en dijkveiligheid in het Waddengebied' (Venema et al., 2012) en 'Zoekkaart Kwelders en Waterveiligheid Waddengebied' (Van Loon-Steensma et al., 2012a). Relevante aspecten hiervoor zijn hoogte, breedte, ruwheid (vegetatiebedekking, topografie), beheer, standzekerheid, stabiliteit, en meegroeivermogen. De meeste van de in de factsheets genoemde technieken kunnen worden gebruikt om deze eigenschappen te beïnvloeden. Technieken die de kwelder ruimtelijk vastleggen en dus een hoge voorspelbaarheid geven, kunnen uit het oogpunt van waterveiligheid het meest interessant zijn, maar dit gaat in tegen het gewenste natuurlijke karakter van kwelders.

Voor zover bekend speelt het overgrote deel van de huidige kwelders op dit moment geen expliciete rol in het ontwerp van de waterkering (Venema et al., 2012). Mocht dit in de toekomst wel het geval worden, dan is het mogelijk dat de bestaande kwelders 'geoptimaliseerd' moeten worden. Daarbij hangt het af van de specifieke situatie en de wensen ten aanzien van de kwelder welke van de genoemde maatregelen het beste passen. In Duitsland wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van brede groene dijken die overgaan in kwelders (Figuur 3). Dit zorgt voor een geleidelijke overgang van hard naar zacht, maar eigenlijk is bovenste deel daarmee geen kwelder meer vanwege de te hoge ligging.



Figuur 3. Groene dijk met geleidelijke overgang naar kwelder (Friedrichskoog, Duitsland. Foto: Alma de Groot).

Een speciaal geval is het afgraven van kwelders. Historisch werd dit gedaan om de klei te gebruiken voor het verstevigen van de dijk, een praktijk die in Duitsland nog steeds wordt toegepast. De klei is een hernieuwbare grondstof: na enige tijd is de klei put weer dichtgeslibd (Karle & Bartholomä, 2008). Welke consequenties het verlagen van een deel van de kwelder heeft voor de golfaanval op de dijk is in ieder geval voor de Nederlandse situatie nog niet bekend.

4.4 Potentiele nieuwe technieken

Gebruik van baggerslib als slibmotor of kleimotor

Nieuwe technieken voor het ontwikkelen en beheren van kwelders zijn denkbaar. Er is in Nederland bijvoorbeeld nog weinig ervaring met het gebruiken van baggerslib in relatie tot kweldervorming. Het zou interessant kunnen zijn om –in analogie met de Zandmotor bij Delfland– baggerslib op een locatie in de buurt van een te stimuleren kwelder te storten, waardoor de concentratie zwevende stof in het water omhoog gaat en de stroming het sediment zelf naar de kwelderlocatie brengt. Daarbij moet in het oog gehouden worden dat slib zich anders gedraagt dan zand, en dat kleisuppleties daardoor ingewikkelder kunnen zijn dan de gebruikelijke zandsuppleties. Een suppletie van cohesieve klei is het meest geschikt om de kwelderrand te verdedigen, terwijl ongeconsolideerd slib zou kunnen worden gebruikt voor oppervlaktesuppletie of 'slibmotor'. Overigens is niet altijd de hoeveelheid zwevende stof in het water de beperkende factor voor de opslibbingssnelheid: de Noord-Groningse kwelderwerken hebben een lagere concentratie zwevende stof in het water, maar een hogere opslibbingssnelheid dan de kwelders in de Dollard. Meer slib in water brengen is enkel zinvol als er voldoende transportcapaciteit is en het materiaal kan blijven liggen op de plaats van bestemming.

Bioriffen en andere oeververdediging

Een andere techniek die de moeite van het verder onderzoeken waard is, is het beschermen van de kwelderrand met behulp van mosselen of oesters. Eerste proeven hiermee zijn gedaan op een plaat in Zeeland, en er is ervaring in Venetië en de USA, maar het is niet bekend of dit toepasbaar is voor de kwelder- c.q. Nederlandse situatie. Een zelfde soort effect kan volgens de ontwikkelaars bereikt worden door middel van de commerciële toepassing GeoHooks (of Ground Consolidators, www.geohooks.nl). Deze, in sommige versies afbreekbare, constructies vangen sediment in en geven planten een stabiele bodem om zich te vestigen. Langs rivieren (o.a. de Zeeschelde in België) wordt met het zelfde doel gebruikt gemaakt van ingezaaide kokosmatten. Hiermee wordt op dit moment in Zeeland voor schorren geëxperimenteerd. In Colombia is verder ervaring met het afvlakken van kleiige kliffen om erosie tegen te gaan (pers. comm.). Deze afvlakking zorgt voor het verdelen van de golfaanval over een groter oppervlak, en daarmee minder kans op erosie. Of deze zachte maatregel voor de Nederlandse kwelders geschikt is gezien de bodemstructuur, moet nog worden uitgezocht.

Verminderen bioturbatie

Een verdere te onderzoeken methode is het verminderen van bioturbatie in de pionierzone. Bioturbatie (het graven van –in dit geval– dieren) kan de vestiging van kwelderplanten verhinderen of bestaande planten degraderen (Van Wesenbeeck et al., 2007). Het beperken van wadpieren door het plaatsen van netten onder het sediment vergroot de overlevingskansen van *Spartina* zaailingen (Van Wesenbeeck et al., 2007). In Zeeland is voor het herstel van Klein zee gras (*Zostera noltii*) een schelpenlaag onder het sediment aangelegd die het voorkomen van bioturberende wormen moet verhinderen. Deze maatregel bleek voor zee gras zeer effectief (Suykerbuyk et al., 2012).

Cyclisch beheer

Lokaal verlies van kwelderareaal is niet per definitie een reden tot zorg. Bij de natuurlijke verjonging van kwelders hoort cyclische afslag van de kwelderrand, waarna na verloop van tijd op het voorliggende wad weer een nieuwe jonge kwelder kan ontstaan (Figuur 4). Dit proces, dat tijd vergt en een zeker mate van onzekerheid in zich heeft, heeft in Nederland weinig tot geen ruimte gekregen. Om grootschalige veroudering van kwelders tegen te gaan, en daarmee een teruggang van de biodiversiteit te voorkomen, zijn dan andere maatregelen voor verjonging nodig. Beweiding kan de vegetatie kort houden en de biodiversiteit van planten, vogels en ongewervelden in stand houden, maar dit is niet voldoende om primaire pionierstadia terug te brengen. Daarom wordt steeds meer gekeken naar methoden om cyclische verjonging van kwelders op gang te krijgen. Dit kan bijvoorbeeld met cyclisch beheer van rijshoutdammen en afgraven van kwelders (Van Duin et al., 2007a), maar hier is nog weinig ervaring mee in Nederland.



Figuur 4. Spontane ontwikkeling van nieuwe vegetatie (links) zeewaarts van een afslagklif (rechts) op Schiermonnikoog (foto: Alma de Groot).

4.5 Niet stuurbare processen en invloeden

Op grotere ruimte- en tijdschalen spelen er processen en factoren die weliswaar de kwelder beïnvloeden, maar niet, of moeilijk, te sturen zijn. Zeespiegelstijging en bodemdaling, bijvoorbeeld, vergroten de inundatiefrequentie en –duur, en kunnen ook indirect de golfaanval vergroten. Het vergroten van de inundatie kan tot een positieve terugkoppeling leiden, waarbij deze zorgt voor een hogere opslibbing. Op dit moment kunnen de kwelders in het Waddengebied de actuele zeespiegelstijging bijhouden. Ook lijken de vastelandskwelders, met een gemiddelde opslibbing van rond de centimeter per jaar, een versnelde zeespiegelstijging van een meter per eeuw wel bij te kunnen houden. Voor de eilandkwelders, met hun lagere opslibbingssnelheid, zal de grenswaarde lager liggen (Van Wijnen & Bakker, 2001). De hoogte van het voorliggende wad heeft invloed op de ontwikkeling van de kwelder; indien de wadbodem in hoogteontwikkeling achterblijft, neemt de kans op kliferosie op de kwelder toe. Wadbodem en kwelder hebben echter ander sediment nodig om op te hogen. Het is mogelijk dat er wel voldoende slib in het water zit voor de kwelder, maar dat er onvoldoende zand wordt aangevoerd voor de wadplaten (dit is

bijvoorbeeld het geval in de verstoorde situatie in de Oosterschelde). Over het algemeen zijn kwelders bij een groot getijverschil minder gevoelig voor veranderingen in externe factoren dan die bij een klein getijverschil. Door de kleinere gradiënt zijn de laatste gevoeliger voor veranderingen in bijvoorbeeld gemiddeld hoogwater (Friedrichs & Perry, 2001). Als laatste kunnen grootschalige geulverplaatsingen voor aangroei of afbraak van de kwelder zorgen, wat bijvoorbeeld op de staarten van de Waddeneilanden goed te zien is. De meeste van deze grootschalige processen zijn niet of moeilijk te sturen. Het is echter vaak wel mogelijk om met de beschreven technieken de effecten ervan op kwelderontwikkeling te sturen (mitigatie).

4.6 Evaluatie van succes

Om het succes van ingrepen te evalueren is het belangrijk dat van tevoren duidelijke doelen worden gesteld. Vervolgens moet uit op maat gesneden monitoring blijken of deze doelen inderdaad binnen de verwachte termijn worden bereikt. Daarmee kan zo nodig het beheer worden bijgesteld. Zulk adaptief beheer is het best mogelijk bij zachte ingrepen.

Over het algemeen zijn maatregelen die processen sturen (bijvoorbeeld bezinking stimuleren, vegetatievestiging mogelijk maken) in plaats van de vorm creëren (bodem op niveau van hoge kwelder leggen en kreken graven), het succesvolste bij het creëren en beheren van kwelders, al is daar soms wat meer geduld voor nodig. Het antwoord op de vraag "hoe snel ontwikkelt een kwelder zich" is dus ook sterk afhankelijk van de beginsituatie en de techniek die wordt toegepast. Voor de vestiging van vegetatie en het ontwikkelen van een krekensysteem is, indien de bodemhoogte goed is, één tot enkele jaren nodig. Dat is echter nog geen volledig ontwikkelde kwelder.

Er is recent veel onderzoek gedaan naar het ecologisch functioneren van herstelde en aangelegde kwelders. Daaruit bleek dat vegetatiesamenstelling (Van Oevelen et al., 2000; Crooks et al., 2002; Wolters et al., 2005b; Mossman et al., 2012; Van Loon-Steensma & Slim, accepted) en bodemsamenstelling (zie referenties in Van Oevelen et al., 2000) in veel gevallen niet overeenkomen met die van natuurlijke kwelders, ook na tientallen jaren. Dit heeft onder andere te maken met de uitgangssituatie en de mate van het herstel van typische kwelderprocessen. Verder lijkt het herstellen van wad en jonge kwelder eerder succesvol te zijn dan het herstellen van oudere, hoge kwelder waar al langer bodemrijping gaande is (Van Duin & Dijkema, 2012). Bij het definiëren van het succes van kwelderbeheer is het verder goed om onderscheid te maken tussen natuurherstelprojecten met focus op soorten (vegetatie en vogels) en het sturen van abiotische factoren die systeemherstel tot doel hebben. Dit geldt ook bij het kiezen van technieken.

5. Conclusies en aanbevelingen

Er kan op vele manieren gestuurd worden in de ontwikkeling van kwelders. Er is in Nederland en daarbuiten ruime ervaring met het herstellen en beheren van kwelders, en het aantal technieken wordt nog steeds uitgebreid. Dit rapport geeft een overzicht van de meest toepasbare technieken voor de Nederlandse situatie.

Bij het aanleggen of herstellen van kwelders blijkt het van groot belang te zijn om vooral de processen te herstellen die kwelderontwikkeling mogelijk maken. Welke techniek, of combinatie van technieken, het beste op welke locatie gebruikt kan worden, is maatwerk:

- De fysische omstandigheden verschillen per locatie.
- Ook doelstellingen (natuurbeheer, erosiebescherming, waterveiligheid, agrarisch medegebruik, recreatie) en streefbeeld verschillen per locatie.
- Maatregelen die de processen minimaal sturen hebben de voorkeur, passend bij de lokale hydrodynamische omstandigheden. Een kwelder is namelijk het resultaat van het samenspel tussen water, sediment en vegetatie, en is daarmee een dynamisch gebied. In het gehele Nederlandse kustbeleid worden intussen zachte maatregelen geprefereerd boven harde.

Over het algemeen gaat het goed met het kwelderareaal en de opslibbing in de Nederlandse Waddenzee, al zijn er zorgen over de veroudering van de vegetatie (Dijkema et al., 2008). Het beheer van de kwelderwerken is zodanig, dat snel kan worden ingegrepen als er ongewenste achteruitgang zou ontstaan. Echter, kwelders kunnen door hun karakteristieke dynamiek en terugkoppelingsmechanismen onverwacht (niet-lineair) reageren als bepaalde grenzen van sturende factoren worden overschreden. Daarom is het belangrijk om de ontwikkeling van kwelders te blijven monitoren en het systeembegrip op orde te hebben, zodat er kan worden ingegrepen wanneer dat nodig is.

Afhankelijk van de methode kan het aanleggen of stimuleren van kwelders meestal in enkele jaren. Als er op termijn ergens een kwelder gewenst is (bijvoorbeeld in verband met waterveiligheid) hoeven dus ook pas op termijn maatregelen genomen worden, zodat natuurlijke kwelderontwikkeling in de tussentijd een kans heeft.

Menselijke ingrepen komen neer op sturen. De stuurbaarheid is afhankelijk van de mate waarin men wil ingrijpen en vinger aan de pols wil houden. Echter, hoe sterker een kwelder wordt gestuurd, hoe minder deze op een natuurlijke kwelder gaat lijken. Verder is zelfs als kwelders worden hersteld met beperkt menselijk ingrijpen, het verschil met natuurlijke kwelders zichtbaar. De Waddenzee is een internationaal erkend natuurgebied waarvoor een duidelijke wet- en regelgeving geldt. Daarmee zal bij de afweging voor technieken voor kwelderbeheer en -vorming altijd rekening gehouden moeten worden.

Referenties

- Adam, P., 1990. Saltmarsh ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 461 pp.
- Allen, J.R.L., 1990. Salt-Marsh Growth and Stratification - A Numerical-Model with Special Reference to the Severn Estuary, Southwest Britain. *Marine Geology*, 95(2): 77-96.
- Allen, J.R.L., 2000. Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 19(12): 1155-1231.
- Arens, S., 2002. Entwicklung und ökologische Wertigkeit von Kleinentnahmestellen in Salzwiesen; Flora und Vegetation, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Forschungsstelle Küste, Norderney/Wilhelmshaven.
- Bakker, J.P., Bos, D., De Vries, Y., 2000. To graze or not to graze: that is the question. In: W.J. Wolff, K. Essink, A. Kellerman & M.A. Van Leeuwe (Editors). Proceedings of the 10th international scientific wadden sea symposium. Ministry of agriculture, nature management and fisheries, Department of Marine Biology, University of Groningen, Groningen, pp. 67-88.
- Bakker, J.P., de Leeuw, J., Dijkema, K.S., Leendertse, P.C., Prins, H.H.T., Rozema, J., 1993. Salt marshes along the coast of The Netherlands. *Hydrobiologia*, 265(1-3): 73-95.
- Baptist, M.J., Dijkema, K.S., Van Duin, W.E., Smit, C.J., 2012. Een ruimere jas voor natuurontwikkeling in de Waddenzee, uitgewerkt voor een casus Afsluitdijk. Rapport C084/12, IMARES, Wageningen UR, Texel, 27 pp.
- Barkowski, J., Kolditz, K., Brumsack, H., Freund, H., 2009. The impact of tidal inundation on salt marsh vegetation after de-embankment on Langeoog Island, Germany—six years time series of permanent plots. *Journal of Coastal Conservation*, 13(4): 185-206.
- Beck, M.W., Brumbaugh, R.D., Airolidi, L., Carranza, A., Coen, L.D., Crawford, C., Defeo, O., Edgar, G.J., Hancock, B., Kay, M.C., Lenihan, H.S., Luckenbach, M.W., Toropova, C.L., Zhang, G.F., Guo, X.M., 2011. Oyster Reefs at Risk and Recommendations for Conservation, Restoration, and Management. *Bioscience*, 61(2): 107-116.
- Bochev-van der Burgh, L.M., 2012. Decadal-scale morphologic variability of foredunes subject to human interventions, Enschede, 137 pp.
- Brampton, A.H., Allen, J.R.L., Pye, K., 1992. Engineering significance of British saltmarshes. In: J.R. Allen & K. Pye (Editors), Saltmarshes. Morphodynamics, Conservation and Engineering significance. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 115-122.
- Brew, D., 2010. Methods and Tools for Coastal Ecosystem Restoration, Royal Haskoning, Peterborough.
- Cecconi, G., 2009. Beneficial Reuse and Morphological Restoration, SedNet Conference 2009, Hamburg, Germany. <http://www.sednet.org/download/G-Cecconi.pdf>.
- Crooks, S., Schutten, J., Sheern, G.D., Pye, K., Davy, A.J., 2002. Drainage and Elevation as Factors in the Restoration of Salt Marsh in Britain. *Restoration Ecology*, 10(3): 591-602.
- Dausse, A., Bonis, A., Bouzille, J.B., Lefevre, J.C., 2008. Seed dispersal in a polder after partial tidal restoration: Implications for salt-marsh restoration. *Applied Vegetation Science*, 11(1): 3-12.
- Dausse, A., Merot, P., Bouzille, J.B., Bonis, A., Lefevre, J.C., 2005. Variability of nutrient and particulate matter fluxes between the sea and a polder after partial tidal restoration, Northwestern France. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 64(2-3): 295-306.
- De Glopper, R.J., 1981. De snelheid van de opslibbing en van de terugschrijdende erosie op de kwelders langs de noordkust van Friesland en Groningen. 50 jaar onderzoek. . *Flevobericht*, 163: 43-51.
- Dijkema, K.S., Nicolai, A., De Vlas, J., Jongerius, H., Nauta, H., 2001. Van landaanwinning naar kwelderwerken. Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland, Leeuwarden.
- Dijkema, K.S., van Duin, W.E., Dijkman, E.M., van Leeuwen, P.W., 2008. Monitoring van kwelders in de Waddenzee: rapport in het kader van het WOT programma Informatievoorziening Natuur i.o. (WOT IN). Alterra-rapport 1574. Alterra, Wageningen.
- Doody, J.P., 2008. Saltmarsh Conservation, Management and Restoration : Coastal Systems and Continental Margins. Coastal Systems and Continental Margins 12. Springer, Dordrecht.
- Erchinger, H.F., 1987. Salzwiesenbildung und -erhaltung — Lahnungsbau und Begruppung für den Küstenschutz. In: N. Kempf, J. Lamp & P. Prokosch (Editors), Salzwiesen: Geformt von Küstenschutz, Landwirtschaft oder Natur? WWF-Deutschland, Tagungsbericht 1, Husum, pp. 279-296.
- Esselink, P., Bos, D., Oost, A.P., Dijkema, K.S., Bakker, R., De Jong, R., 2011. Verkenning afslag Eems-Dollardkwelders. PUCCIMAR rapport 02, A&W rapport 1574, 79 pp.

http://www.waddenzee.nl/fileadmin/content/Dossiers/Natuur_en_Landschap/pdf/Rapp_Dollardkwelders_2012.pdf

- Esselink, P., Dijkema, K.S., Reents, S., Hageman, G., 1998. Vertical accretion and profile changes in abandoned man-made tidal marshes in the Dollard estuary, the Netherlands. *Journal of Coastal Research*, 14(2): 570-582.
- Esselink, P., Petersen, J., Arens, S., Bakker, J.P., Bunje, J., Dijkema, K.S., Hecker, N., Hellwig, U., Jensen, A.-V., Kers, A.S., Körber, P., Lammerts, E.J., Stock, M., Veeneklaas, R.M., Vreeken, M., Wolters, M., 2009. Salt Marshes. In: H. Marencic & J. De Vlas (Editors), *Quality Status Report 2009. Wadden Sea Ecosystem. Common Wadden Sea Secretariat (CWSS), Wilhelmshaven, Germany; Trilateral Monitoring and Assessment Group (TMAG), Wilhelmshaven*, pp. 54.
- Feagin, R.A., Lozada-Bernard, S.M., Ravens, T.M., Möller, I., Yeager, K.M., Baird, A.H., 2009. Does vegetation prevent wave erosion of salt marsh edges? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(25): 10109-10113.
- French, P.W., 2006. Managed realignment - The developing story of a comparatively new approach to soft engineering. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67(3): 409-423.
- Friedrichs, C.T., Perry, J.E., 2001. Tidal salt marsh morphodynamics: a synthesis. *Journal of Coastal Research*, SI, No. 27: 7-37.
- Garbutt, A., Wolters, M., 2008. The natural regeneration of salt marsh on formerly reclaimed land. *Applied Vegetation Science*, 11(3): 335-344.
- Gedan, K.B., Kirwan, M.L., Wolanski, E., Barbier, E.B., Silliman, B.R., 2011. The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: answering recent challenges to the paradigm. *Climatic Change*, 106(1): 7-29.
- HaskoningDHV, R., 2012. Ruimte voor eco-engineering in Natura 2000-gebied Waddenzee? Vijf projecten nader bekeken., 42 pp.
- Hofstede, J.L.A., 2003. Integrated management of artificially created salt marshes in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein, Germany. *Wetlands Ecology and Management*, 11(3): 183-194.
- Huiskes, A.H.L., Koutstaal, B.P., Herman, P.M.J., Beeftink, W.G., Markusse, M.M., Munck, W.D., 1995. Seed Dispersal of Halophytes in Tidal Salt Marshes. *Journal of Ecology*, 83(4): 559-567.
- Karle, M., Bartholomä, A., 2008. Salt marsh sediments as natural resources for dike construction — sediment recycling in clay pits. *Marine Biodiversity*, 38(2): 83-92.
- Kirwan, M.L., Guntenspergen, G.R., D'Alpaos, A., Morris, J.T., Mudd, S.M., Temmerman, S., 2010. Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level. *Geophysical Research Letters*, 37(23).
- Löffler, M.A.M., De Leeuw, C.C., Ten Haaf, M.E., Verbeek, S.K., Oost, A.P., Grootjans, A.P., Lammerts, E.J., Haring, R.M.K., 2008. Eilanden natuurlijk. *Natuurlijke Dynamiek en veerkracht op de Waddeneilanden. Het Tij Geleerd*.
- Mendelts, P., Boerema, L., 2011. Een ruimere jas binnen N2000; de mogelijkheden voor een ecosysteembenadering voor de vergunningverlening onder de Nb-wet. project nr. 5129, Eelerwoude, Diever.
- Minello, T.J., Able, K.W., Weinstein, M.P., Hays, C.G., 2003. Salt marshes as nurseries for nekton: Testing hypotheses on density, growth and survival through meta-analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 246: 39-59.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu, 2007. Beleidslijn kust. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Water, Den Haag.
- Mitsch, W.J., 1994. *Global wetlands: old world and new*. Elsevier, Amsterdam.
- Möller, I., Mantilla-Contreras, J., Spencer, T., Hayes, A., 2011. Micro-tidal coastal reed beds: Hydro-morphological insights and observations on wave transformation from the southern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(3): 424-436.
- Möller, I., Spencer, T., French, J.R., Leggett, D.J., Dixon, M., 2001. The sea-defence value of salt marshes: Field evidence from north Norfolk. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management*, 15(2): 109-116.
- Morris, J.T., Sundareshwar, P.V., Nietch, C.T., Kjerfve, B., Cahoon, D.R., 2002. Responses of coastal wetlands to rising sea level. *Ecology*, 83(10): 2869-2877.
- Mossman, H.L., Davy, A.J., Grant, A., 2012. Does managed coastal realignment create saltmarshes with 'equivalent biological characteristics' to natural reference sites? *Journal of Applied Ecology*, 49: 1446-1456.

- Oloff, H., De Leeuw, J., Bakker, J.P., Platerink, R.J., Van Wijnen, H.J., De Munck, W., 1997. Vegetation succession and herbivory in a salt marsh: changes induced by sea level rise and silt deposition along an elevational gradient. *Journal of Ecology*, 85(6): 799-814.
- Pilkey, O.H., Wright, H.L.I., 1988. Seawalls Versus Beaches. *Journal of Coastal Research*: 41-64.
- Ranwell, D.S., 1972. Ecology of salt marshes and sand dunes. Chapman and Hall, London.
- Scarton, F., Day Jr, J.W., Rismondo, A., Cecconi, G., Are, D., 2000. Effects of an intertidal sediment fence on sediment elevation and vegetation distribution in a Venice (Italy) lagoon salt marsh. *Ecological Engineering*, 16(2): 223-233.
- Schrama, M.J.J., 2012. The assembly of a saltmarsh ecosystem: the interplay of green and brown food webs. PhD. Thesis, University of Groningen, Groningen.
- Scyphers, S.B., Powers, S.P., Heck Jr, K.L., Byron, D., 2011. Oyster reefs as natural breakwaters mitigate shoreline loss and facilitate fisheries. *PLoS ONE*, 6(8): e22396.
- Shepard, C.C., Crain, C.M., Beck, M.W., 2011. The Protective Role of Coastal Marshes: A Systematic Review and Meta-analysis. *PLoS ONE*, 6(11): e27374.
- Storm, K., 1999. Slinkend onland : over de omvang van Zeeuwse schorren; ontwikkelingen, oorzaken en mogelijke beheersmaatregelen. Rijkswaterstaat Zeeland, Middelburg.
- Suykerbuyk, W., Bouma, T.J., van der Heide, T., Faust, C., Govers, L.L., Giesen, W.B.J.T., de Jong, D.J., van Katwijk, M.M., 2012. Suppressing antagonistic bioengineering feedbacks doubles restoration success. *Ecological Applications*, 22(4): 1224-1231.
- Temmerman, S., Bouma, T.J., Van de Koppel, J., Van der Wal, D.D., De Vries, M.B., Herman, P.M.J., 2007. Vegetation causes channel erosion in a tidal landscape. *Geology*, 35(7): 631-634.
- Townend, I., Fletcher, C., Knappen, M., Rossington, K., 2011. A review of salt marsh dynamics. *Water and Environment Journal*, 25(4): 477-488.
- U.S.A.C.E., 2008. Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineers.
<http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/>
- Van de Koppel, J., Van der Wal, D., Bakker, J.P., Herman, P.M.J., 2005. Self-organization and vegetation collapse in salt marsh ecosystems. *The American Naturalist*, 165(1): E1-E12.
- Van der Wal, D., Wielemaker-Van den Dool, A., Herman, P.M.J., 2008. Spatial patterns, rates and mechanisms of saltmarsh cycles (Westerschelde, The Netherlands). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 76(2): 357-368.
- Van Duin, W.E., 2012. Proeven natuurlijker ontwatering Groninger kwelderwerken. Rapport / IMARES Wageningen UR;C011/12. IMARES Wageningen UR, IJmuiden [etc.].
- Van Duin, W.E., Dijkema, K.S., 2003. Proef met de onderhoudsarme ontwatering in de kwelderwerken: 'De Kreekenproef' : evaluatie 1997-2002. Alterra-rapport;634. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen.
- Van Duin, W.E., Dijkema, K.S., 2012. Randvoorwaarden voor kwelderontwikkeling in de Waddenzee en aanzet voor een kwelderkansenkaart, IMARES Wageningen UR, IJmuiden [etc.]. <http://edepot.wur.nl/220052>
- Van Duin, W.E., Dijkema, K.S., Bos, D., 2007a. Cyclisch beheer kwelderwerken Friesland. A&W-rapport;887. IMARES [etc.], Wageningen [etc.].
- Van Duin, W.E., Esselink, P., Bos, D., Klaver, R., Verweij, G., Van Leeuwen, P.W., 2007b. Proefverkweldering Noard-Fryslân bûtendyks : evaluatie kwelderherstel 2000-2005. Rapport / Wageningen IMARES;C020/07. Wageningen IMARES [etc.], Den Burg [etc.].
- Van Loon-Steensma, J.M., 2011. Kweldervorming langs de Terschellinger Waddendijk : een verkenning naar kansen, beperkingen en vragen rond kweldervorming langs de Waddendijk e.o. van Terschelling. Alterra-rapport 2172. Alterra, Wageningen.
- Van Loon-Steensma, J.M., De Groot, A.V., Van Duin, W.E., Van Wesenbeeck, B.K., Smale, A.J., 2012a. Verkenning bijdrage kwelders aan waterveiligheid in het Waddengebied; Een verkenning naar locaties in het Waddengebied waar bestaande kwelders en kwelderontwikkeling mogelijk kunnen bijdragen aan waterveiligheid, Alterra, IMARES, Deltares.
- Van Loon-Steensma, J.M., Slim, P.A., accepted. The impact of erosion protection by stone dams on salt-marsh vegetation on two Wadden Sea barrier islands. *Journal of Coastal Research*.
- Van Loon-Steensma, J.M., Slim, P.A., Vroom, J., Stapel, J., Oost, A.P., 2012b. Een dijk van een kwelder : een verkenning naar de golfreducerende werking van kwelders. Alterra-rapport 2267. Alterra, Wageningen.

- Van Oevelen, D., Van den Bergh, E., Ysebaert, T., Meire, P., 2000. Literatuuronderzoek naar estuariene herstelmaatregelen. Rapport / Instituut voor Natuurbehoud;IN.R. 2000.4. Instituut voor Natuurbehoud [etc.], Brussel [etc.].
- Van Wesenbeeck, B.K., Van De Koppel, J., Herman, P.M.J., Bakker, J.P., Bouma, T.J., 2007. Biomechanical warfare in ecology; negative interactions between species by habitat modification. *Oikos*, 116(5): 742-750.
- Van Wijnen, H.J., Bakker, J.P., 2001. Long-term surface elevation change in salt marshes: a prediction of marsh response to future sea-level rise. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 52(3): 381-390.
- Vandenbruwaene, W., Bouma, T.J., Meire, P., Temmerman, S., 2012. Bio-geomorphic effects on tidal channel evolution: Impact of vegetation establishment and tidal prism change. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Venema, J.E., Schelfhout, H.A., Moerman, E., Van Duren, L.A., 2012. Kwelders en dijkveiligheid in het Waddengebied, Deltares, Delft.
- Verbessem, I., Van den Bergh, E., De Regge, N., Soors, J., De Belder, W., De Groot, R., 2007. Sediment characteristics and sedimentation-erosion processes on Ketenisse polder one year after levelling. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 10(1): 87-92.
- Williams, P.B., Orr, M.K., Garrity, N.J., 2002. Hydraulic geometry: A geomorphic design tool for tidal marsh channel evolution in wetland restoration projects. *Restoration Ecology*, 10(3): 577-590.
- Wolters, H.E., 2006. Restoration of salt marshes. PhD. Thesis, University of Groningen, Groningen.
- Wolters, M., Garbutt, A., Bakker, J.P., 2005a. Plant colonization after managed realignment: the relative importance of diaspore dispersal. *Journal of Applied Ecology*, 42(4): 770-777.
- Wolters, M., Garbutt, A., Bakker, J.P., 2005b. Salt-marsh restoration: Evaluating the success of de-embankments in north-west Europe. *Biological Conservation*, 123(2): 249-268.

Verantwoording

Rapportnummer: C004/13

Projectnummer: 4308201101

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: Drs. Willem van Duin
onderzoeker



Handtekening:

Datum: 7 januari 2013

Akkoord: Drs. Jakob Asjes
afdelingshoofd



Handtekening:

Datum: 7 januari 2013