

# Mogelijkheden van Stabilisatietechnieken bij zeegrastransplantatie

Bureaustudie

M.M. van Katwijk

1999

# Mogelijkheden van Stabilisatietechnieken bij zeegrastransplantatie

Bureaustudie

1999

e-mail: [mvkatwyk@sci.kun.nl](mailto:mvkatwyk@sci.kun.nl)  
telefoon: 024-3652478  
fax: 024-3652134

M.M. van Katwijk  
Afdeling Aquatische Oecologie en Milieubiologie  
Katholieke Universiteit Nijmegen  
Toernooiveld 1  
NL6525-ED Nijmegen

## *Dankwoord*

Deze studie is gefinancierd door Rijkswaterstaat en is onderdeel van het project Gradiënten\*8. Ik ben veel dank verschuldigd aan alle mensen genoemd in hoofdstuk 2. Voorts dank ik Drs. J. Asjes, Drs. D.J. de Jong, Prof.dr. V.N. de Jonge, Drs. D.C.R. Hermus, Drs. J. van den Bergs en Drs. L.J.M. Wijergangs voor aanvullingen en verbeteringen van de tekst. J. Slippens (Grafische Vormgeving Katholieke Universiteit Nijmegen) heeft de figuren vervaardigd.

# Inhoudsopgave

1. Inleiding .....	1
1.1. Algemeen.....	1
1.2. Vraagstelling .....	1
1.3. Leeswijzer .....	2
2. Methode .....	3
3. Waterdynamiek en zeegras .....	5
3.1. Inleiding.....	5
3.2. Waterdynamiek en zeegraszonatie .....	6
4. Stabilisatietechnieken .....	9
4.1. Inleiding.....	9
4.2. Directe verankering .....	9
4.3. Sedimentstabilisatie rond plotjes.....	10
4.4. Kunstmatig zeegras .....	10
4.4.1. Kunstzeegras en kustbescherming in Nederland.....	10
4.4.2. Kunstzeegras en restauratie .....	11
4.4.3. Kunstzeegras en wetenschappelijke experimenten .....	12
4.5 Veldstabilisatietechnieken.....	13
4.6 Veldstabilisatie en zeegrasrestoratie .....	14
4.6.1. Onderwaterterrassen .....	14
4.6.2. Geotubes .....	15
4.6.3. Rijshouten schermen .....	15
4.6.4. Natuurlijke zeegrasvelden als stabilisatietechniek .....	15
5. Discussie.....	17
5.1. Inleiding.....	17
5.2. Effecten van stabilisatietechnieken .....	18
5.3. Evaluatie van stabilisatietechnieken .....	19
5.4. Meest geschikte stabilisatietechniek .....	20
5.5 Toepassing .....	23
6. Aanbevelingen .....	25
6.1. Algemeen.....	25
6.2. Specifiek voor het aanleggen van groeikernen .....	26
Literatuur.....	27



# 1. Inleiding

## 1.1. Algemeen

In het begin van de jaren dertig zijn 65-150 km<sup>2</sup> zeegrasvelden verdwenen in de Nederlandse Waddenzee. Het betrof Groot zeegrasvelden (*Zostera marina* L.) die rond de laagwaterlijn tot een maximale diepte van 3 m onder laag water voorkwamen (van Goor 1921). Er is geen herstel opgetreden (den Hartog & Polderman 1975, van den Hoek et al. 1979, den Hartog 1987, de Jonge et al. 1996, de Jonge et al. 1997). Er resten nu verspreide veldjes rond NAP. In 1987 is Rijkswaterstaat begonnen, als voorbereiding op de Derde Nota Waterhuishouding, met het onderzoek naar mogelijkheden van de herintroductie van Groot zeegras in de Waddenzee.

Centrale vragen voorafgaand aan herintroductiepogingen zijn (1) Is het milieu geschikt voor Groot zeegrasgroei? en (2) zijn er geschikte donorpopulaties?

Eind jaren tachtig is de habitat voor Groot zeegras, *Zostera marina* L., in de Waddenzee hersteld met betrekking tot het lichtklimaat en de schelpdiervisserij (de Jonge & de Jong 1992, Philippart 1993). De toegenomen troebelheid en intensiteit van schelpdiervisserij werden beschouwd als de voornaamste oorzaken van het uitblijven van herstel (van den Hoek et al. 1979, Giesen et al. 1990a,b, de Jonge & de Jong 1992). In een mesokosmos experiment werd aangetoond dat licht niet limiterend was tot een diepte van ten minste -0.80 m NAP, en drie geschikte donorpopulaties werden gevonden (van Katwijk et al. 1998). Dit maakte de weg vrij voor experimentele transplantaties.

## 1.2. Vraagstelling

In 1992-1994 zijn experimentele transplantaties met Groot zeegras uitgevoerd op Balgzand, bij de Wierschuur op Terschelling en bij 't Horntje in Texel. Het bleek dat de waterdynamiek op dieptes beneden -0.20 m NAP (tot op een diepte van -1.10 m NAP getest) te hoog is om Groot zeegras te laten aanslaan (Hermus 1995). Ook in een laboratoriumexperiment is gebleken dat waterdynamiek negatief werkt op Groot zeegras; de productiviteit stagneerde bij hoge dynamiek (M.A. Mateo & M.A. Hemminga ongepubliceerde resultaten).

Om Groot zeegras in de Waddenzee te herintroduceren moet men zich daarom beperken tot locaties met geringe waterdynamiek. Daarnaast kan men de waterdynamiek reduceren door stabilisatiemaatregelen te nemen. In het project "Herintroductie van zeegras in de Waddenzee" wordt gestreefd naar de aanleg van enkele groeikernen of bolwerken, van waaruit het Groot zeegras zich weer langs natuurlijke weg verder kan uitbreiden over deze gebieden (V.N. de Jonge, Plan van Aanpak Gradiënten\*8 (zeegras), 1998). Het doel van de stabilisatietechniek is: de bescherming van Groot zeegrasaanplant tegen golfaanval en erosie, zodat de aanplant over een bredere strook kan overleven, en mogelijk ook zaadstengels beter behouden worden.

De vraagstellingen van de onderhavige studie zijn:

1. Wat is bekend over de effectiviteit van stabilisatietechnieken?

2. Welke stabilisatietechnieken worden elders gebruikt bij restauratie van zeegrasvelden?
3. Welke stabilisatietechnieken zijn geschikt om kleine groeikernen of bolwerken van Groot zeegras in de Waddenzee te creëren?

### **1.3. Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt de methodiek geschetst, In het derde hoofdstuk komt het belang van waterdynamiek voor zeegras aan de orde. In het vierde hoofdstuk worden de stabilisatietechnieken besproken. In hoofdstuk 5 volgt de discussie waarin het voorgaande wordt samengevat, de stabilisatietechnieken worden geëvalueerd en een eerste selectie van de technieken wordt gemaakt op basis van de doelstellingen in het project "Herintroductie van zeegras in de Waddenzee" zoals geformuleerd in het "Plan van aanpak". In hoofdstuk 6 worden aanbevelingen voor het beleid gegeven.

## 2. Methode

Wetenschappelijke publicaties, alsmede grijze literatuur (m.n. rapporten) zijn bestudeerd. In de Verenigde Staten en in Australië vinden een aantal grote zeegrasrestoratieprojecten plaats. In de V.S. betreft het restoratie van *Zostera marina*, in Australië div. andere soorten. Een achttal projectleiders van deze projecten zijn benaderd. (op één na hebben allen gereageerd): Dr. F.T.Short (V.S. oostkust), Dr. M.S. Fonseca (V.S. oostkust), Dr. R.S. Hoffman (V.S. westkust), Dr. R.J. Orth (V.S. oostkust), Dr. S. Granger (V.S. oostkust), Dr. R. Thom (V.S. westkust), Dr. E. Paling (West Australië), Dr. D.I. Walker (West Australië - zij heeft niet gereageerd). Ook de zeegrastransplantatiedeskundige Dr. R.C. Phillips (V.S. westkust) is om advies gevraagd.

Via een oproep op de internet-zeegras-discussielijst zijn 458 zeegras-onderzoekers benaderd. Leden van deze lijst zijn afkomstig uit de gehele wereld, waarbij m.n. Australië en de Verenigde Staten sterk zijn vertegenwoordigd (Dr. M. van Keulen, Pers. Comm.). Een aantal mensen heeft gereageerd, waarvan Dr. R. Hughes, die in Groot-Brittannië zeegrastransplantaties uitvoert, in deze studie wordt genoemd.

Voorts zijn diverse experts in Nederland en Duitsland, op het gebied van wadingrepen en/of zeegras geraadpleegd: Drs. K.S. Dijkema (IBN, Texel), Drs. D.J. de Jong (RIKZ, Middelburg), Ir. R.E.A.M. Boeters (Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft - DWW), Ir. K.W. Pilarczyk (DWW), Hr. E. Bouman (Dienstkring Vlieland), Hr. Maas (Dienstkring Texel), Hr. M.W. van der Hidde (Bureau van der Hidde, Harlingen), Drs. B. Janssen-Stelder (Fysische Geografie Universiteit Utrecht), Drs. D.C.R. Hermus (KUN), Dr. K. Reise, Dr. R.M. Asmus, Dr. H. Asmus (Biologische Anstalt Helgoland, Sylt, Duitsland).





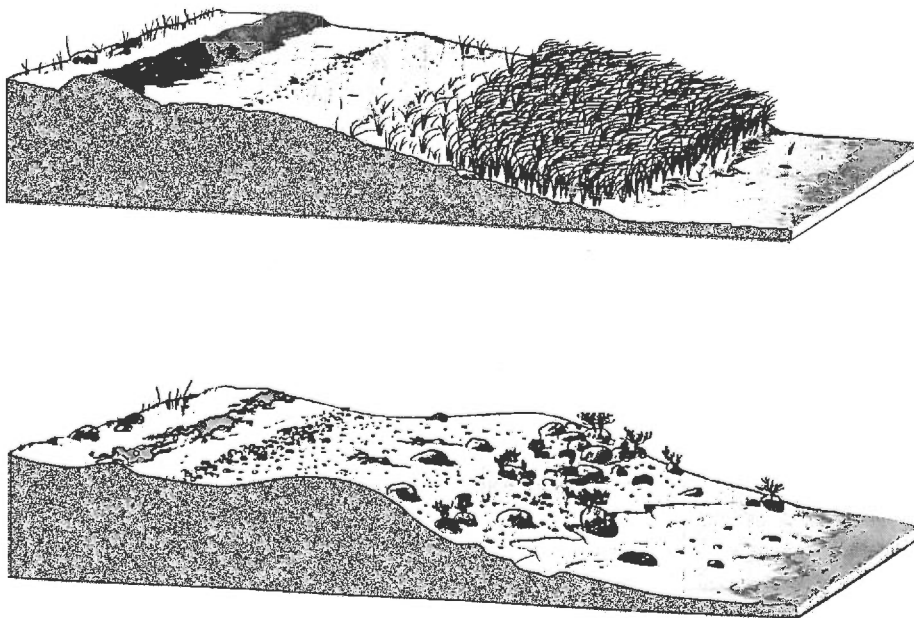
## 3. Waterdynamiek en zeegras

### 3.1. Inleiding

Waterdynamiek wordt veroorzaakt door stroming en/of golfwerking. Zeegrassen zijn hieraan blootgesteld. Waterdynamiek beïnvloedt zeegrassen echter ook op een indirecte manier, namelijk via de bodem: erosie- en sedimentatieprocessen.

Zeegras verdraagt stroming tot 1.2-1.5 m/s (Fonseca & Kenworthy 1987), kleine zeegrasplotjes kunnen zich echter niet tegen stromingen boven 0.5 m/s beschermen (Conover 1968, Fonseca & Kenworthy 1987, Gambi et al. 1990). In de Waddenzee ligt een Groot zeegrasveld in de Eemsmonding, waar naar schatting maximale stroomsnelheden van 0.5-0.7m/s heersen (pers. comm. D.J. de Jong).

Op de transplantatieplekken bleek Groot zeegras gevoelig te zijn voor golfwerking (Hermus 1995, van Katwijk & Hermus subm.). Gevoeligheid van zeegras voor golfwerking wordt ook in de Verenigde Staten gevonden (Fonseca & Bell 1998). Stabilisatietechnieken die effectief zijn voor zeegrasrestoraties dienen dan ook in eerste instantie golfdempend te zijn, waarbij de transplantatieplekken zodanig gekozen moeten worden dat er geen hoge stroomsnelheden heersen. Bij de selectie van geschikte locaties in de Waddenzee voor Groot zeegras kan gebruik worden gemaakt van de kaart met potentiële groeilocaties, die door Rijkswaterstaat is ontwikkeld (de Jonge et al. 1997).



*Figuur 1. Vóór (boven) en na (onder) de zeegrassterfte in de dertiger jaren in de Deense wateren (Rasmussen 1977).*

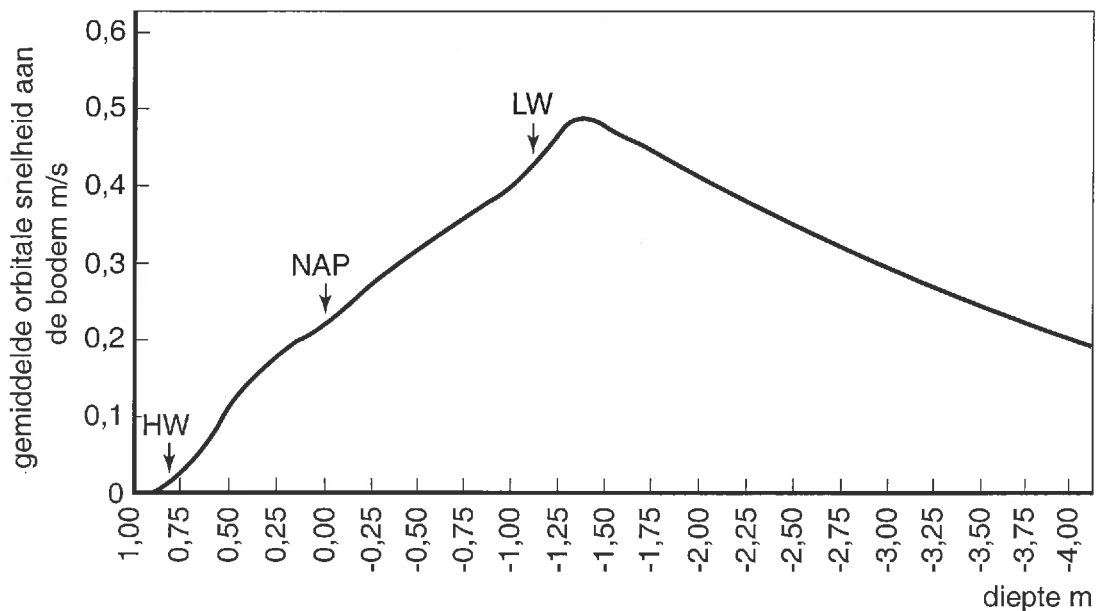
Er bestaat er een negatief verband tussen het voorkomen van zeegras en erosie (pers. comm. K. Reise, R. Hughes, vergelijken gegevens Schellekens 1975 met lodingsgegevens Rijkswaterstaat ter beschikking gesteld door J.H. de

Reus, Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland). Waarschijnlijk is hier sprake van twee processen: daar waar zeegras verdwenen is ontstaat erosie (o.a. Rasmussen 1977, Wohlenberg 1935, Figuur 1). Daar waar erosie is kan geen zeegras voorkomen. Om deze reden kunnen ook stromingsremmende en sedimentstabiliserende technieken van belang zijn bij zeegrasrestoratie.

Daarnaast is een te sterke sedimentatie waarschijnlijk ook niet gunstig, zoals blijkt uit het ontbreken van (Groot en Klein) zeegras op plaatsen waar de sedimentatiesnelheid hoger dan 1 cm/jaar is, in een studie rond het Waddeneiland Hallig Hooge (Boley 1988).

### 3.2. Waterdynamiek en zeegraszonatie

Harmsen (1936) onderzocht in de dertiger jaren Groot zeegras op verschillende plaatsen in de Waddenzee. Hij trof Groot zeegras telkens in een hoge en een lage zone van zeegras, met daartussen een lege zone. De lege zone werd ook door Duitse onderzoekers waargenomen (b.v. Nienburg in Wohlenberg 1935). Deze zonatie is waarschijnlijk te verklaren door een hoge waterdynamiek, veroorzaakt door golfwerking (Hermus 1995, van Katwijk & Hermus, subm.).

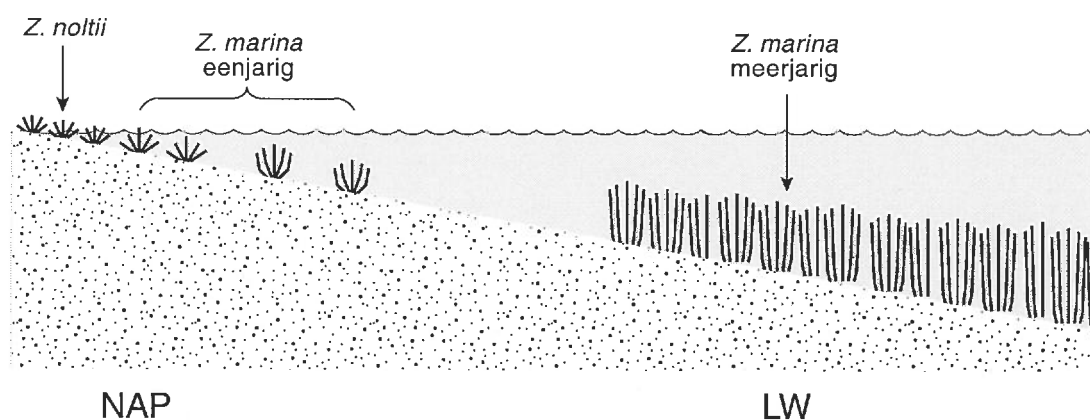


Figuur 2. Orbitale snelheid aan de bodem over een dieptegradiënt.

De waterdynamiek, veroorzaakt door golfwerking, neemt toe met toenemende diepte, tot een punt vlak onder de laagwaterlijn. Daaronder neemt de waterdynamiek weer af (figuur 2). N.B. In figuur 2 is de orbitale snelheid weergegeven. Dit is een maat voor verticale waterbewegingen, veroorzaakt door golven. Deze figuur is gebaseerd op modelberekeningen door M. van Helvert en D.J. de Jong (RIKZ). Gerekend is met een helling 1:300, windsnelheid 14 m s<sup>-1</sup> (=kracht 6) en een strijklengte van 5 km. Wanneer helling, getijdenamplitude, strijklengte en windsnelheid gevarieerd worden, blijkt de vorm van de figuur nauwelijks te veranderen. Wel schuift de top bij zeer hoge windsnelheden naar wat groter diepte toe, 0.1 à 0.2 m, maar in alle omstandigheden blijft de top onder de laagwaterlijn (Pers. comm. D.J. de Jong).

Waarom was de waterdynamiek niet te hoog voor de sublitorale zeegrassen die tot in de dertiger jaren rond de laagwaterlijn overvloedig aanwezig waren, juist waar de waterdynamiek het hoogst is? Om dit te verklaren moeten we onderscheid maken tussen twee vormen van Groot zeegras (figuur 3, zie ook van Katwijk et al. 2000 in press).

1. Groot zeegrasplanten in de lagere zone (vanaf iets boven de laagwaterlijn (de Jonge & Ruiter 1996) tot hun maximale diepte) hebben te maken met een grote waterdynamiek, tenminste in het bovenste deel van deze zone (figuur 2). Hier kan een ander type zeegras groeien dan in de hoge zone. Het is niet duidelijk of deze typen genetisch van elkaar verschillen, daarom spreken we neutraal van 'morfotypen'. Het morfotype voor deze lagere zone is robuust, meerjarig en heeft relatief grote grove rhizomen. Hierdoor, maar wellicht ook door de constructie van het blad, is dit type bestand tegen grote waterdynamiek. Te lang droogvallen is echter schadelijk omdat de basis van de plant (de schede) stijf is en rechtop blijft staan (zie ook Harmsen 1936). De bovengrens wordt waarschijnlijk bepaald door de duur van het droogvallen. Volgens oude opgaven komt dit type zeegras dan ook niet hoger voor dan rond de laagwaterlijn, of hooguit 0.1 of 0.2 m daarboven (Oudemans 1870, van Goor 1920, Wohlenberg 1935, Harmsen 1936). De ondergrens wordt bepaald door troebelheid of door de aanwezigheid van geulen met sterke stroming.
2. Groot zeegrasplanten in de hogere zone vallen bij laagwater droog. Het type zeegras dat geschikt is voor deze zone is eenjarig, en de planten liggen bij laagwater plat op het wad. Hierdoor drogen ze niet zo snel uit. De bovengrens wordt bepaald door de duur van droogvallen, de ondergrens door de waterdynamiek (Hermus 1995).



*Figuur 3.* Zonaties van zeegras in de Waddenzee. De meerjarige *Zostera marina* in de lage zone is in de dertiger jaren uitgestorven.

Zowel veldwaarnemingen aan het begin van deze eeuw (Harmsen 1936, Nienburg in Wohlenberg 1935), als het profiel van waterdynamiek (figuur 2) over een dieptegradiënt in combinatie met de genoemde eigenschappen van de twee vormen van zeegras, leiden tot de volgende veronderstelling:

Op de meeste, zo niet alle, plekken in de Waddenzee bestaat er *een zone waar zeegrasgroei niet mogelijk is*.

Deze zone is te dynamisch voor de flexibele eenjarige Groot zeegrasvorm, en valt bij laagwater te lang droog voor het stijve meerjarige zeegrastype. Daarboven en daaronder zijn zones waar wel zeegrasgroei mogelijk is (zie boven), maar mogelijk zijn verschillende zeegrasvormen (morfotypen) vereist. Bij zeegrasaanplant dient hier terdege rekening mee gehouden te worden.

## 4. Stabilisatietechnieken

### 4.1. Inleiding

Men kan mogelijke stabilisatietechnieken bij zeegrasrestoratie onderverdelen in drie typen:

- Individuele verankering. Bijvoorbeeld met haringen, of het omringende sediment meetransporteren (werken met zoden). Dit wordt besproken in 4.2.
- Plotstabilisatie. Bescherming rondom de afzonderlijke getransplanteerde zeegrasplotjes, bijvoorbeeld door netten, jute, stenen, schelpen en kunstzeegras. Dit wordt besproken in 4.3, kunstzeegras wordt afzonderlijk behandeld in 4.4.
- Veldstabilisatie. Het hele transplantatieveld wordt beschermd tegen hoge waterdynamiek en/of erosie. De effectiviteit van een aantal veldstabilisatietechnieken wordt besproken in 4.5. In paragraaf 4.6. zal worden ingegaan op veldstabilisaties die bij diverse zeegrasrestoratieprojecten daadwerkelijk zijn toegepast.

Men kan stabilisatietechnieken ook onderverdelen op basis van het effect dat ze hebben: sediment stabiliserend of waterdynamiek verminderend. Waterdynamiek-verminderende stabilisatietechnieken kunnen de stroming, golfwerking of beide verminderen. Indirect wordt ook het sediment gestabiliseerd. Directe sedimentstabilisaties worden behandeld in paragraaf 4.2 en 4.3, terwijl waterdynamiek-verminderende technieken worden besproken in 4.4, 4.5 en 4.6.

### 4.2. Directe verankering

Recentelijk hebben Davis & Short (1997) de belangrijkste directe verankeringsmethoden die bij zeegrasrestoratie gebruikt worden, op een rijtje gezet.

- Metalen haringen, waar de zeegrassen met een bandje aan vast worden gemaakt (bijvoorbeeld Fonseca et al. 1996). Dit is ook in de Waddenzee getest, zonder positief resultaat: de planten verdwenen (van Katwijk & Schmitz 1993, Hermus 1995).
- Dubbel gebogen bamboe pin, hierbij worden twee wortelstokken tegen elkaar aangelegd met de spruiten van elkaar af. De dubbelgevouwen pin wordt over de wortelstok in het sediment geprikt ter verankering ("horizontal rhizome method", ontwikkeld door Davis & Short 1997).
- Omringend sediment wordt meegetransplanteerd (zoden) (bijvoorbeeld Fonseca et al. 1996)

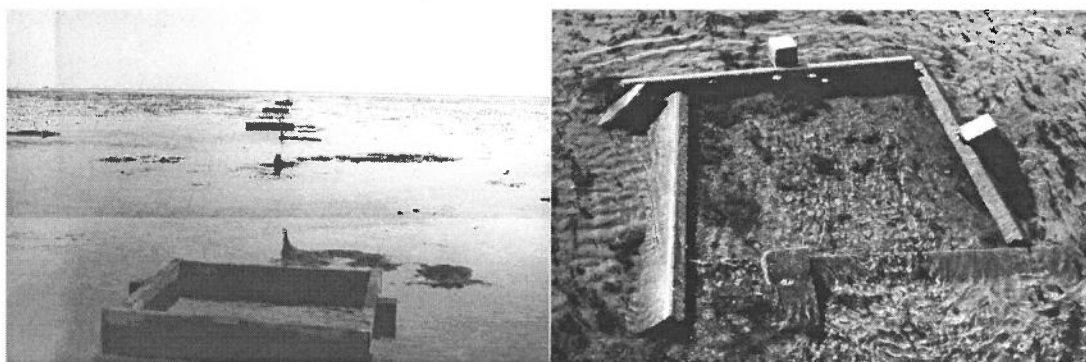
In Phillips (1980) wordt het gebruik van een ijzerdraad netwerk en constructiestangen besproken. Deze methoden worden echter niet frequent meer gebruikt.

Het werken met zoden biedt de meeste kans op succes (pers. comm. R.C. Phillips en R. Hughes). Dit is echter tegelijkertijd de meest arbeidsintensieve en duurste methode. Andere verankeringsmethoden zullen waarschijnlijk niet succesvol zijn in de Waddenzee, gezien de genoemde ervaringen met haringen (van Katwijk & Schmitz 1993, Hermus 1995)

### 4.3. Sedimentstabilisatie rond plotjes

In een experiment in 1992 in de Waddenzee werden zeegrassen geplant in een grootmazig net, dan wel in een lap jute van 1 m<sup>2</sup>. Dit werkte niet goed. De netten/lappen bewogen, waardoor de planten uitgerukt werden. Andere zeegrasplots werden omringd met trottoirbanden. Dit had ook een negatief effect, mogelijk nam de water- en sedimentdynamiek plaatselijk toe (figuur 4). Weer andere zeegrasplots werden geplant in een sediment dat was gestabiliseerd door er schelpen aan toe te voegen. Dit had een positief effect op de overleving van de zeegrasplanten vanaf -0.20 m NAP en dieper (van Katwijk & Schmitz 1993). Het positieve effect van schelpenstabilisatie op de zeegrasoverleving werd ook gevonden bij experimenten in 1993-1994 (Hermus 1995).

De onderspoeling die bij het gebruik van trottoirbanden optrad kan mogelijk voorkomen worden door flexibel materiaal te gebruiken, bijvoorbeeld zandworsten, zie paragraaf 4.4.1 en 4.6.



Figuur 4. Trottoirbandjes ter bescherming van zeegrasplots. Links: na plaatsing in juni; rechts: na een maand.

In Australië (bij Perth, zuidwest Australië) werden netten gebruikt bij transplantatie van de zeegrassen *Posidonia* en *Amphibolis*. Men gebruikte pluggen van 0.25 m<sup>2</sup> bij 40 cm dik. Om sedimenterosie tussen de pluggen te voorkomen (men registreerde incidenteel verliezen van 15 cm binnen één dag), heeft men plastic plaatgaas / netwerk ("mesh") tussen de zoden geplaatst. Soms vond echter teveel sedimentophoging plaats (Eric Paling pers. comm.)

### 4.4. Kunstmatig zeegras

#### 4.4.1. Kunstzeegras en kustbescherming in Nederland

In de jaren zestig en zeventig werd in Nederland geëxperimenteerd met kunstmatig zeegras, of zeewier genoemd. Men hoopte bodemerosie te

voorkomen, de kust en onderzeese pijpleidingen te kunnen beschermen met kunstzeegrasvelden. Ook werd gepoogd een slenk af te dammen, en aanzanding te bevorderen.

In de jaren zestig en begin zeventig werden 16 proeven uitgevoerd in de Waddenzee, de Noordzee en in de Zeeuwse wateren (Bakker et al. 1972). Het kunstmatig zeegras werd gemaakt van polypropeen (Engels: polypropyleen) schuimdraden of bandjes. Deze bandjes werden m.b.v. een weefgetouw tot weefsel verwerkt. Zo ontstond een gordijn van losse sliertjes. Aan de onderkant van het weefsel werd een holle zoom aangebracht, die met bijvoorbeeld zand of grind verzwaard werd. De "zeegrasbladeren" waren 1 of 2 meter lang en 0.25-0.30 cm breed. Er werden 4 bladeren per cm geplaatst. Er is ook met starre verankeringsmethoden zoals staalweefsels en betonnen blokjes geëxperimenteerd.

De proeven waren deels op kleine schaal en deels op grotere schaal: velden van 90 x 150 m bijvoorbeeld. Er werd zowel in het getijdengebied, als op enkele meters diepte geëxperimenteerd. Eenmaal tot op 40 m diepte.

De resultaten waren niet eenduidig. Vaak raakte het zeewier onder het zand. In de getijdenzone raakten de bladeren verward, en het materiaal verviel als gevolg van de inwerking van ultraviolette straling. "Ook kwam het voor dat het zeegras vervuilde en plat ging liggen. Onderwater hechten zich allerlei organismen aan het zeegras.

De verankering met flexibele materialen (met zand of grind verzwaarde rollen) werkte goed. Het gebruik van starre materialen leidde tot praktische moeilijkheden, niet alleen bij de productie, maar ook bleek het zeegras soms los scheuren. In een andere proef raakte de verankering "onderloops", d.w.z. het zand onder de verankering spoelde weg (dit heet ook wel "onderspoeling").

Onder gunstige omstandigheden bleken de kunstmatige zeegrasvelden gedurende enige tijd effectief bij het bestrijden van kusterosie. In 1973-1976 werd één van de proefvelden van Bakker et al. (1972), een veld bij 't Horntje, gemonitord door de Studiedienst Hoorn van Rijkswaterstaat (Klok 1976). Dit veld werd in de winter van 1971/1972 aangelegd. Vanaf 1973 bleek het kunstzeegras niet meer goed te werken, er trad erosie op. Dit werd ook geconstateerd bij een aantal nieuw aangelegde kunstzeegrasvelden in de omgeving. Het zeegras bleek verward en deels onder de verankering gelegen te zijn, waarschijnlijk als gevolg van een verlies aan drijfvermogen.

Nog twee kunstzeegrasvelden zijn aangelegd, één bij Eijerland, Texel, en één aan de zuidwestkust van Ameland. Telkens blijkt aanvankelijk aanzanding op te treden, waarna weer verliezen optreden (Klok 1976).

Volgens de Hr. Maas van Rijkswaterstaat, dienstkring Texel zijn sindsdien geen kunstzeegrasvelden meer aangelegd.

#### 4.4.2. Kunstzeegras en restauratie

In Australië (bij Perth, zuidwest Australië) werd kunstmatig zeegras gebruikt bij transplantatie van de zeegrassen *Posidonia* en *Amphibolis*. Men werkte met zoden van 15 cm diameter en 20 cm diep. Plastic zeegras (*Posidonia*) strippen van 40 cm lengte werden bevestigd aan een stuk plastic plaatgaas ("mesh") van



1.5 x 1.5 m met daarin een gat van 1 x 1 m. Deze "ring" van kunstmatig zeegras werd met 4 stalen piketten in het sediment verankerd. Circa 36 zoden werden in het gat van 1 m<sup>2</sup> geplaatst.

Het kunstmatig zeegras werkte zo goed dat de transplanten zelfs bij een zware storm behouden bleven, terwijl nabije natuurlijke velden vrijwel alle bladeren verloren.

#### 4.4.3. Kunstzeegras en wetenschappelijke experimenten

Er bestaan enkele tientallen wetenschappelijke publicaties over het gebruik van kunstmatig zeegras bij zeegrasonderzoek. Twintig publicaties zijn nader onderzocht. Onderwerp van onderzoek was doorgaans habitatvoorkeur en

*Tabel 1.* Het gebruik van kunstmatig zeegras bij zeegrasonderzoek. Technische gegevens uit 12 publicaties, nl. Barber et al. 1979, Bell et al. 1985, Sogard 1989, Nomme & Harrison 1991, Schneider & Mann 1991, James & Heck 1994, Haywood & Pendrey 1996, Irlandi 1997, Levin et al. 1997, Liu & Loneragan 1997, Eggleston et al. 1998, Jenkins et al. 1998.

Gesimuleerd zeegras	<i>Zostera marina</i> , <i>Z. capricorni</i> , <i>Halodule</i> , <i>Ruppia</i> , <i>Enhalus</i>
Locaties	Australië, V.S. oostkust, Canada oost- en westkust. Voorts een laboratoriumexperiment, en een tank-experiment
Afmetingen kunstmatig Zeegras	Breedte varieert van 0.3 tot 1.5 cm Lengte varieert van 12 tot 70 cm
Afmeting van ieder plotje	Variërend van 0.09 tot 7 m <sup>2</sup> , vaak 0.25, 1 en 4 m <sup>2</sup>
Aantal plotjes gebruikt	Rond de 10 stuks
Dichtheid van de bladeren	15 - 5000 m <sup>-1</sup> , meestal tussen 1000 en 3000 m <sup>-2</sup>
Duur van het experiment	1 dag tot 20 weken, meestal tussen de 2 en 8 weken
Tijdiepte	Meestal sublitoraal, soms litoraal
Materiaal van de bladeren	Groen lint, groen plastic in repen gesneden soms met luchtballonnen erin, groen polypropyleen, of doorzichtig groen plastic waarbij de top gedoopt is in een aerosol polyurethaan schuim zodat plastic lintjes rechtop blijven
Basis	Planktonnet verzwaard met loodjes, zwart plastic frame verankerd met metalen staven, roestvrijstalen of gegalvaniseerd metalen rooster, pvc-kwadraat met visgaren bespannen
Afstand tot zeegrasveld	Variërend van in het veld tot enkele meters er vandaan. Eenmaal op 4 km afstand, en eenmaal was er geen zeegras in de gehele baai

predatie van en door vis (Barber et al. 1979, Bell et al. 1985, Sogard 1989, Worthington et al. 1991, Hair & Bell 1992, Sogard & Olla 1993, Gonzales et al. 1994, James & Heck 1994, Levin et al. 1997, Nemtsov 1997, Jenkins et al. 1998), crustaceeën (Sogard 1989, Olmi & Lipcius 1991, Sogard & Able 1994,

Eggleston et al. 1998), garnalen (Haywood & Pendrey 1996, Liu & Loneragan 1997), schelpdieren (Irlandi 1997) en andere evertibraten (Schneider & Mann 1991). Daarnaast werd kolonisatie door epifyten en macroalgen, en daarmee gerelateerd gedrag van grazende dieren, bestudeerd (Klumpp et al. 1992, Bell et al. 1995). Eenmaal werd de interactie tussen twee zeegrassoorten bestudeerd met behulp van kunstmatig zeegras (Nomme & Harrison 1991).

Een overzicht met technische details van een aantal studies wordt gegeven in Tabel 1.

#### **4.5 Veldstabilisatietechnieken**

Veldstabilisatietechnieken zijn grootschaliger dan de vorige besproken technieken. De effecten ervan kunnen dan ook grootschaliger en onbedoeld negatief zijn. In het algemeen kunnen veldstabilisaties effecten hebben op de veiligheid (kustbescherming, scheepvaart), economie (visserij, recreatie) en natuur (waterkwaliteit, ecosysteemkwaliteit, landschap). Hier moet men zich tevoren rekenschap van geven (zie ook Consemulder 1984).

Over het algemeen hebben constructies het meeste effect als deze worden geplaatst bij de laagwaterlijn: golfgroei door de wind wordt dan zoveel mogelijk voorkomen. Bij alle constructies neemt de golfdemping af als de waterdiepte groter wordt. Dit is mogelijk geen probleem, omdat bij grotere waterdiepte tegelijkertijd de invloed van de golven op de bodem afneemt (van der Linden 1985).

Erosie direct achter de constructies zal volgens van der Linden (1985) vermoedelijk gering zijn, terwijl vóór en onder de constructies wel erosie kan optreden. Mogelijk moet daar bodemverdediging worden aangebracht. Overigens verdienen flexibele, weinig reflecterende constructies de voorkeur, omdat ze beter bestand zijn tegen de krachten waaraan ze blootgesteld worden (golven, stroming en oplegkracht bij droogvallen) (van der Linden 1985).

Consemulder (1984) bespreekt een aantal veldstabilisatiemogelijkheden (sturingsmiddelen morfologie, indirecte beschermingen). Hij onderscheidt

1. Het strekdam-achtige type, evenwijdig aan de kust op constante bodemdiepte, met een vaste hoogte.
2. Het krib-achtige type, loodrecht op de kust, met vaste hoogte, maar aangelegd op een geleidelijk toenemende bodemdiepte.
3. Het drijvende type, evenwijdig aan de kust.

##### **Ad 1. Strekdamachtige constructies, evenwijdig aan de kust**

Strekdammen, palenrijen, mossel- of oestervelden, velden van kunstmatig of natuurlijk zeegras of zeewier. Het is mogelijk dat onder laagwater gelegen strekdammen toch vermindering van de golfhoogte veroorzaken in het hoger gelegen getijdengebied. Voor een paalscherm geldt dit niet, tenzij een groot aantal paalrijen naast elkaar wordt aangebracht. Dit is duur. Mosselen zijn een goedkoop alternatief. Met behulp van kunstmatig wier kan men vooral stroming beïnvloeden en niet zozeer golven dempen. Bovendien verliest het na enige tijd zijn effectiviteit, zie ook paragraaf 4.4.1. (Consemulder 1984).

Men kan een zandwal opwerpen door toepassing van een horizontaal stroomgordijn. In Vlieland is ervaring opgedaan met horizontale stroomgordijnen bestaande uit 25 x 25 m kunststofdoek met grove maaswijdte, dat op 0.75 à 1.00 m boven de bodem, zwevend, wordt opgehangen met een stalen anker in de bodem. Na 1 week was de bodem opgezand tot op het gordijn (pers. comm. E. Bouman). Verticale stroomgordijnen bestaan uit doeken van bijvoorbeeld 200 x 4 m, die verticaal zijn opgehangen aan drijvers en verankerd aan de bodem (folder Bureau M.W. van der Hidde. Ze hebben volgens Consemulder (1984) vermoedelijk hetzelfde nadeel als kunstzeegras.

Een luchtbellenscherm en een waterstraalscherm kunnen waarschijnlijk voldoende effectief zijn om golven te dempen. Ze kunnen bij elke waterstand goed functioneren en kunnen selectief worden ingezet, bijvoorbeeld bij storm. Ze zijn echter duur (Consemulder 1984).

N.B. Mogelijke materialen voor strekdammen zijn grind, open steenasfaltmat, gewapend open steenasfaltmat, kunststof worsten, gevuld met grind of zand ("geotubes"), gabions (=schanskorven) gevuld met breuksteen of grind, gezet natuursteen (basalt of graniet), betonblokken al dan niet op kunststofmat, koperslakblokken/zuilen, betonzuilen, bandenmat, filterconstructie, zakken zand-cementvulling, slakken, open steenasfalt, gepenetreerde breuksteen, asfaltbeton en gestabiliseerd zand.

#### Ad 2. Kribachtige constructies, loodrecht op de kust

Kribben, palenschermen, rijshouten schermen. De kribachtige typen zullen weinig invloed hebben op golven die recht op de oever invallen, tenzij ze zeer dicht naast elkaar worden geplaatst (Consemulder 1984).

N.B. Kribben kunnen van dezelfde materialen worden gebouwd als strekdammen, zie boven.

#### Ad 3. Drijvende constructies

Flexibel stroomgordijn, zeewier, mosselen, oesters, boeien onder water, volgeschuimde autobanden en drijvende steigers. Dit type golfreducerders heeft een aantal grote voordelen: het golfdempend vermogen is gedurende de gehele getijdencyclus optimaal, en ze zijn gemakkelijk verplaatsbaar. Drijvende constructies zijn echter erg duur, m.n. door de hoge eisen die aan de verankering worden gesteld (Consemulder 1984, van der Linden 1985).

In Consemulder (1984) wordt een overzicht gegeven van de voor- en nadelen en kostenaspect van de verschillende mogelijkheden.

### **4.6 Veldstabilisatie en zeegrasrestoratie**

#### *4.6.1. Onderwaterterrassen*

In de Verenigde Staten zijn onderwaterterrassen gemaakt en vervolgens beplant met zeegras, als compensatiemaatregel voor het verlies van zeegras bij de aanleg van diverse constructies. Davis and Short (1995) hebben in 1994 een onderwaterterras aangelegd in een rivier op de grens van de staten Maine en New Hampshire. Het getijdenverschil bij springvloed is hier 3m en er heersen sterke getijstromen. Het terras besloeg een oppervlakte van ruim 3000 m<sup>2</sup>. Een steenstorten dam van 110 m lengte en 1.75 m hoogte werd geplaatst op geotextiel, 3.5 m onder de laagwaterlijn. Het omsloten gebied werd gevuld met

zandige modder. 14.440 Zeegrasplanten werden getransplanteerd waarvan 40% tenminste 1 jaar overleefden. Er zijn geen gegevens over het vervolg.

Voorts hebben Fred Short en zijn groep onderwater barrières geplaatst bij zeegrastransplantaties. Dit was bedoeld om de transplantaties tijdelijk te beschermen tegen waterbewegingen. Ze werden gedurende enkele maanden geplaatst, tot de transplantaties gestabiliseerd waren (F.T. Short, pers. comm.).

#### *4.6.2. Geotubes*

In Chesapeake Bay, Verenigde Staten, heeft men 'geotubes' gebruikt bij een zeegrasrestoratiesproject (Robert N. Blama website). Schoon fijn zand dat uit een kanaal gedregd werd, werd gestort langs een erosiekust. Hierdoor werd de bodem hoger, en zou zeegrasgroei mogelijk worden. Om het zand op z'n plaats te houden, en om het aangeplante zeegras tegen golfenergie te beschermen, werden 3 geotubes geplaatst. Geotubes zijn gemaakt van polyetheen en textiel, gevuld met zand. Afmetingen van de geotubes zijn: 100 m lengte, 1.10m diameter. Ze werden geplaatst in een L-vorm. Bij hoogwater kwamen de geotubes onder water te liggen.

De zeegrastransplantaties overleefden tenminste gedurende 2 jaar, met name in het centrum van het aangelegde veld. Volgens Blama zou het verloren gaan van de transplantatie langs de randen van het veld te wijten kunnen zijn aan (1) onvoldoende ophoging aan de randen, of (2) minder bescherming tegen golfslag (website <http://bigfoot.wes.army.mil/5924.html>).

#### *4.6.3. Rijshouten schermen*

In 1990/1991 is door de KUN i.s.m. RIKZ geëxperimenteerd met een rijshouten scherm. Een zaadbank werd aangebracht in een veld achter het scherm. Vlak achter het scherm ontstond een depressie (zaden werden geërodeerd). Vier tot zes meter vanaf het scherm vond ophoging plaats. Enkele zaailingen kwamen op. Vermoedelijk zijn veel gekiemde zaden niet boven het maaiveld uitgekomen omdat de weg door het sediment als gevolg van de ophoging te lang was geworden. De zaailingen die wel waren opgekomen droogden echter snel uit, de ophoging veroorzaakte namelijk een snelle afwatering (pers. obs.).

#### *4.6.4. Natuurlijke zeegrasvelden als stabilisatietechniek*

Natuurlijke meerjarige zeegrasvelden (vanaf iets boven de laagwaterlijn tot hun maximale diepte) kunnen in de zomer en herfst effectief de stroming verminderen (overzicht in Fonseca 1996), wat bijvoorbeeld gunstig is voor het behoud van de zaden van hoger gelegen eenjarige zeegrasvelden. In de winter wordt de stroming niet verminderd: dan is de bovengrondse biomassa vrijwel nihil (van Goor 1920). Als golfdemper is een zeegrasveld niet effectief (Oudemans et al. 1870; overzicht in Fonseca 1996), net zomin als kunstzeegras (Consemulder 1984, zie 4.5).

Natuurlijke meerjarige zeegrasvelden kunnen het gehele jaar rond effectief sediment stabiliseren met hun wortelstokstelsel, en daarmee ook hoger gelegen wadplaten beschermen (overzicht in Fonseca 1996, zie ook figuur 1), waarmee de hooggelegen eenjarige zeegraszone bevorderd wordt.

Kan een dieper gelegen zeegrasveld als bron van zaden dienen voor de hoog gelegen eenjarige zeegraszone? Sloet tot Oldhuis 1855 rapporteert dat ".. het losgeschoten wier met zijne zaden door de geheel Zuiderzee drijft". Uit zaad van meerjarige planten kunnen zich tot eenjarige planten ontwikkelen, hoewel meestal meerjarige planten ontstaan. Analoog ontwikkelen zaden van eenjarige planten zich meestal tot eenjarige planten (Keddy & Patriquin 1978). Ook zijn er aan de westkust van Amerika aanwijzingen gevonden dat er beperkte "gene flow" optreedt tussen de hoge en lage zone van Groot zeegras (Laushman 1993). Anderzijds bleek uit transplantatieexperimenten van Harmsen (1936) dat een meerjarige plant uit de lage zone zich niet kon handhaven in de hoge zone. Dit experiment werd echter niet met zaad uitgevoerd. Al met al dient men de mogelijkheid open te houden dat een dieper gelegen zeegrasveld als zaadbron kan fungeren voor hoog gelegen eenjarige populaties.

*Een handvol zeewier dreef door 't nat  
Ten spel van wind en golven,  
Nu 't moedig hoofd omhoog gebeurd  
En dan in 't schuim bedolven.  
Maar hobb'lende op den woesten vloed  
En worstlend' met zijn baren,  
Kwam 't eind'lijk op een oeverplaat  
Als eilandje aangevaren.*

(Bilderdijk, in Sloet tot Oldhuis 1855)

## 5. Discussie

### 5.1. Inleiding

Zeegrasplanten zijn gevoelig voor een te hoge waterdynamiek. Zowel een hoge stroomsnelheid, als sterke golfwerking kunnen vestiging en handhaving van zeegras belemmeren (b.v. Hermus 1995, Fonseca & Bell 1998). Op hogere locaties heersen zelden grote stroomsnelheden, terwijl de golfaanval hoog kan zijn. Op diepere locaties speelt stroming een veel groter rol. Bij de selectie van transplantatielocaties komen alleen gebieden met weinig stroming in aanmerking, zoals aangemerkt op kaarten met potentiële groeilocaties die ontwikkeld zijn door Rijkswaterstaat (de Jonge et al. 1997). Om golfaanval te reduceren kunnen stabilisatietechnieken gewenst zijn.

Daarnaast speelt sedimentdynamiek een rol, in die zin dat het waarschijnlijk niet mogelijk is voor zeegras om zich te vestigen in een gebied waar sterke erosie of sedimentatie heerst. Mogelijk spoelen de planten weg bij erosie, en raken bovengrondse delen verstikt in het bodemmateriaal bij sedimentatie.

In deze studie zijn een aantal stabilisatietechnieken besproken die een hulpmiddel bij transplantatie van zeegrassen kunnen zijn.

Voor het gebruik van stabilisatietechnieken bij Groot zeegrasrestoratie in de Waddenzee is het belangrijk om twee zones te onderscheiden (van Katwijk et al. 2000 in press). In ieder van deze zones groeit, volgens oude literatuuropgaven, een andere vorm zeegras (beide van de soort Groot zeegras, *Zostera marina*).

1. Eenjarig Groot zeegras met flexibele schedes groeit in een hoge zone, rond NAP. Hier wordt de bovengrens bepaald door de vochtigheid van de bodem, de planten kunnen uitdrogen. De ondergrens wordt bepaald door de waterdynamiek, deze neemt toe met toenemende diepte.
2. Meerjarig Groot zeegras met stijve schedes groeit in een lage zone, vanaf even boven de laagwaterlijn. In deze zone komt al vanaf de dertiger jaren geen zeegras meer voor in de Waddenzee. Dit type Groot zeegras kan minder goed tegen uitdrogen, maar is goed bestand tegen hoge waterdynamiek. Hier wordt de bovengrens ook bepaald door de vochtigheid van de bodem. De ondergrens wordt doorgaans bepaald door lichtlimitatie.

Tussen deze twee zones is een zone waar geen zeegras kan groeien omdat de dynamiek te hoog is voor de flexibele eenjarige vorm, en de droogvalduur te lang is voor de stijve meerjarige vorm. Deze zonering is in de dertiger jaren waargenomen (Harmsen 1936, Wohlenberg 1935).

Er zijn verschillende mogelijkheden om met behulp van stabilisatietechnieken de kans op succes bij transplantaties van zeegras te verhogen.

In de hoge zone (rond NAP):

- Stabilisatietechnieken kunnen de dieptegrens van potentiële herintroductielocaties verlagen in deze zone. Waterdynamiek is hier immers bepalend. Gevestigd meerjarig zeegras kan zelf een luwte creëren, waardoor de stabilisatietechniek mogelijk overbodig wordt. Het is

echter niet bekend of eenjarig zeegras eveneens in staat is om voldoende luwte te creëren.

- Meer zaden kunnen behouden worden. Zaaddragende stengels kunnen meegevoerd worden, waardoor de zaden voor het transplantatieveld verloren gaan. Hoe groter het veld, hoe groter de kans dat zaaddragende stengels door de overgebleven zeegrassen ingevangen worden, en daardoor behouden blijven. Dat waterdynamiek een belangrijke factor voor het verloren gaan van zaad kan vormen, wordt ondersteund door Harmsen (1936) en Jacobs (1982), die beiden veronderstellen dat de toenemende waterdynamiek het ontbreken van eenjarig zeegras op grotere diepte verklaart. In Denemarken heeft men voor het behoud van zaaddragende stengels met kooien geëxperimenteerd (Christensen et al. 1995).
- De afwatering kan beïnvloed worden zodanig dat er een laagje water op het transplantatieveld blijft staan (obstructietechniek i.p.v. stabilisatietechniek; dit is een gunstige 'bijwerking' van de stabilisatietechniek).

In de lage zone (laag-litoraal en sublitoraal):

- Hier is het noodzakelijk om een aanplant gedurende een aantal maanden te beschermen, zodat de planten de gelegenheid krijgen om aan te slaan. Als de planten zich eenmaal gevestigd hebben zal bescherming niet meer nodig zijn. De planten creëren hun eigen luwte. Ook hier zal de waterdynamiek echter niet té hoog mogen zijn (b.v. Fonseca & Bell 1998).

Bij aanplant in deze zone is de patchgrootte erg belangrijk. Hier zijn verschillende wetenschappelijke studies naar verricht in Australië, de Verenigde Staten, Denemarken, Spanje, Italië etc.

Voorts geldt voor beide zones

- Stabilisatieconstructies kunnen leiden tot verminderde erosie en hiermee de habitat opnieuw geschikt maken voor zeegras. Is een zeegrasveld rond de laagwaterlijn, bestaand uit meerjarig Groot zeegras, eenmaal gevestigd, dan houdt het wortelstokstelsel het sediment vast, en dient zo als natuurlijke oeverbescherming. Dit veld kan dan tevens de erosie op hoger gelegen plekken verminderen.

## **5.2. Effecten van stabilisatietechnieken**

Een effectieve stabilisatietechniek leidt niet alleen tot verminderde waterdynamiek maar ook tot

- ofwel verhoogde invang van materiaal, waardoor zandophoging kan ontstaan en/of de macroalgendichtheid toeneemt (negatief effect),
- ofwel verminderd verlies van materiaal, waardoor erosie vermindert (positief effect).

Voorts zal in de directe nabijheid van ieder object dat op het wad geplaatst wordt, een kuil ontstaan, verder weg vaak een ophoging (K.S. Dijkema, V.N. de

Jonge, D.J. de Jong, D.C.R. Hermus, pers. obs.). Op plaatsen met grote waterdynamiek zal dit effect sterker zijn.

De mate waarin deze effecten optreden varieert van plaats tot plaats, en van tijd tot tijd. Plaatselijke effecten zijn bijvoorbeeld afhankelijk van de diepte: langs de dieptegradiënt neemt de waterdynamiek aanvankelijk toe, tot even onder de laagwaterlijn, waarna de waterdynamiek afneemt met toenemende diepte. Experimenten met kooien die op het wad geplaatst waren bij de Wierschuur, Terschelling, in 1993, gaven te zien dat rond NAP zandophoging optrad in de kooien, en weinig kuilvorming daarbuiten, terwijl op -0.60 m en -0.90m NAP geen zandophoging optrad in de kooien, en sterke kuilvorming daarbuiten. De toenemende waterdynamiek op grotere diepte veroorzaakt kennelijk een vergrote erosiedruk. Het is mogelijk dat langs deze kust een te grote erosie optreedt om zeegrastransplantatie succesvol te maken op deze dieptes.

Een voorbeeld van tijdelijke verschillen in stabilisatieeffecten is de invloed van storm. Plaatsen waar normaal gesproken zandophoging plaatsvindt, kunnen bij storm centimeters tot decimeters eroderen (pers. comm. D.C.R Hermus, R.M. Asmus, H.Asmus, E. Paling).

Zowel zandophoging als plaatselijke kuilvorming zijn ongunstig voor getransplanteerd zeegras. Zandophoging zal uitdroging tot gevolg hebben, en bij de vorming van een kuil zal het zeegras wegspoelen. Indien het zeegras echter getransplanteerd wordt nadat de kuil gestabiliseerd is, d.i. niet verder uitholt, kan kuilvorming echter een gunstig effect hebben: zeegrasplanten gedijen vaak goed indien ze met een laagje water bedekt blijven (pers. obs., pers. comm. D.J. de Jong, D.C.R. Hermus; den Hartog & van der Velde 1970). In de meeste gevallen zal een kuil als gevolg van een object niet stabiel zijn (pers. comm. D.J. de Jong). Daarom is een lange observatietijd na plaatsing van het object noodzakelijk.

Een gunstig effect van een laagje water is vooral te verwachten indien de planten op een drainerende bodem staan, zoals zand, waardoor sneller uitdroging optreedt. Op slikkige bodems gebeurt dit minder.

Macroalgenophoping is uiteraard ook ongunstig voor zeegras, de planten raken bedekt, krijgen minder licht, en rotten weg (bijvoorbeeld den Hartog 1994).

### **5.3. Evaluatie van stabilisatietechnieken**

In deze studie is onderscheid gemaakt in drie typen stabilisatietechniek:

1. Direct aan de plant (haringen of het oorspronkelijke sediment meenemen: zoden leggen),
2. Rondom een zeegrasplot (kunstmatig zeegras, sedimentstabilisatie met behulp van schelpen of een dammetje van stoepranden),
3. Veldstabilisatie, dus op afstand en een groter gebied bestrijkend (kribachtige, strekdamachtige of drijvende constructies)

Ad 1. Direct aan de plant



Haringen zijn niet succesvol in ons gebied; het aanleggen van zeegraszoden is een dure techniek, maar heeft meer kans op succes (pers. comm. R.C. Phillips, R. Hughes)

#### Ad 2. Rondom een zeegrasplot

Hier zijn veel risico's van bij-effecten, zoals kuilvorming en zandophoging. Men kan van de nood een deugd maken door zeegrastransplantaties uit te voeren nadat een kuil zich gestabiliseerd heeft. Het gebruik van kunstzeegras rond plotjes is in Australië goed bevallen. Men moet er rekening mee houden dat de werking niet langer dan 1-3 jaar zal zijn (Bakker et al. 1972, Klok 1976).

#### Ad 3. Veldstabilisatie

Net als bij (2) zijn er veel effecten op de geomorfologie te verwachten. Het is dus van groot belang deze veranderingen af te wachten alvorens zeegras te transplanteren. De constructies zijn het meest effectief indien ze op het niveau van laagwater worden geplaatst (van der Linden 1985).

Men kan natte plekken creëren, namelijk door de afwatering plaatselijk te vertragen. Evenwijdig aan de kust liggende constructies zoals strekdammen en onderwaterterrassen zijn hiervoor geschikt, in tegenstelling tot loodrecht op de kust staande constructies die eerder stroming dan golven zullen dempen (Consemulder 1984). Dit geldt ook voor veldvormige stabilisatietechnieken zoals kunstmatige zeegrasvelden (Consemulder 1984). De effectiefste golfdempers zijn drijvende constructies. Deze zijn echter duur in aanleg en onderhoud (Consemulder 1984, van der Linden 1985).

Een half omringende strekdam waar het water bij hoogwater overheen stroomt, bleek in Chesapeake Bay zeer geschikt om een zeegrastransplantatie te beschermen. Misschien is het geen toeval dat één van de twee overgebleven Groot zeegrasvelden in de Nederlandse Waddenzee precies in zo'n situatie voorkomt: de havenkom van Terschelling, die omringd is door een strekdam die bij hoogwater onder water staat.

### **5.4. Meest geschikte stabilisatietechniek**

In het project "Herintroductie van zeegras in de Waddenzee" (1998-2003) wordt gestreefd naar de aanleg van enkele groeikernen of bolwerken van Groot zeegras, waarbij bescherming tegen golfaanval en erosie door een stabilisatietechniek wenselijk is. Vanuit de zo gecreëerde groeikernen kan het Groot zeegras zich weer langs natuurlijke weg verder uitbreiden (V.N. de Jonge, Plan van Aanpak Gradiënten\*8 (zeegras), 1998).

Een groeikern of bolwerk van zeegras zal een oppervlak van 10-50 m<sup>2</sup> beslaan. Niet groter, want dan krijgt het meer de dimensie van een veldtransplantatie en dat is om meerdere redenen niet wenselijk. Niet kleiner, want dan heeft een groeikern te weinig reproductiemogelijkheden, en wordt voorts de kans op overleving meer bepaald door toevallige omstandigheden (overleg V.N. de Jonge, D.J. de Jong, D.C.R. Hermus, L.J.M. Wijgergangs en M.M. van Katwijk). In verband met deze afmetingen zal het té arbeidsintensief zal zijn om planten en/of plotjes individueel te beschermen. Alleen veldstabilisatietechnieken komen daarom in aanmerking. Het ligt niet in de

bedoeling het landschap ingrijpend te veranderen, dus de stabilisatietechnieken zelf zullen afmetingen van 10 à 30 m doorsnede krijgen. Hierdoor vallen grootschalige technieken als onderwaterterrassen en geotubes af. De strekdamachtige constructie blijft dan over, aangezien deze het meest effectief golven dempen. (Drijvende constructies zijn theoretisch het meest geschikt, deze zijn echter duur en onderhoudsgevoelig, en vallen daarmee af (Consemulder 1984, van der Linden 1985)).

Hieronder worden de voor- en nadelen van 4 mogelijke strekdamconstructies en -materialen overwogen: kwelderwerkdammetjes (rijshout of een ander materiaal tussen twee rijen palen), stortstenen dammen, zandwal door ophanging van horizontaal gaas en mosselbanken (zie ook Tabel 2). De overwegingen zijn gemaakt na overleg met m.n. V.N. de Jonge, D.J. de Jong en M. van der Hidde.

Om een keuze te maken uit de mogelijke strekdamconstructies en -materialen zijn de volgende factoren van belang: reguleerbaarheid, bijwerkingen, houdbaarheid, verwijderbaarheid, landschapseffecten, gebiedsvreemdheid van het materiaal, milieu en kosten.

#### Ad 1. Reguleerbaarheid en bijwerkingen

Om té sterke reductie van de waterdynamiek en de daaruit voortvloeiende sedimentophoging te voorkomen, moeten er mogelijk openingen in de constructie aanwezig zijn. Omdat plaatselijke variaties in waterdynamiek en effecten hiervan niet te voorspellen zijn en ook in de tijd zullen variëren (denk aan stormachtige perioden) is het noodzakelijk dat de stabilisatieconstructie enigszins reguleerbaar is. M.b.v. een reguleerbare constructie kunnen tevens bijwerkingen (bijvoorbeeld te hoge sedimentatie, plaatselijke kuil- of geulvorming) gemakkelijker bestreden worden. Kwelderwerkdammetjes zijn reguleerbaar doordat rijshout tussen de palen kan worden aangebracht of verwijderd. Zandwallen die m.b.v. gaas zijn opgeworpen kunnen worden gereguleerd doordat er bij de ophanging van het gaas meerdere standen mogelijk zijn.

#### Ad 2. Houdbaarheid

Een constructie moet enige tijd intact blijven, dus resistent zijn tegen bijvoorbeeld storm en ijsgang. Houten constructies, maar ook metalen constructies lijden onder ijsgang (Davis & Short 1997, R.M. Asmus, H.Asmus en D.C.R. Hermus, pers. comm., pers. obs.). Het kunststof gaas dat gebruikt wordt om zandwallen op te werpen is bestand tegen ijsgang. Bij extreme ijsgang is beschadiging denkbaar. Stortstenen zijn bestand tegen ijsgang, maar kunnen bij extreme ijsgang verplaatst worden. Mosselbanken zijn gevoelig voor storm en ijsgang.

#### Ad 3. Verwijderbaarheid

De constructie moet verwijderd kunnen worden indien deze niet meer functioneel is. Stortstenen zijn zeer moeilijk te verwijderen. De zandwallen zijn gemakkelijk te verwijderen. Rijshouten dammetjes worden grotendeels vanzelf verwijderd. Levende mosselbanken zijn mogelijk gratis te verwijderen door vissers.

Tabel 2. Overzicht van voor- en nadelen van vier mogelijke strekdamachtige constructies.

	Kwelderwerk- dammen	Zandwal m.b.v. gaas	Stortstenen dam	Mosselbanken
1. Reguleerbaarheid	+	+	-	-
2. Houdbaarheid	0	+	++	-
3. Verwijderbaarheid	+	+	-	0
4. Landsschapseffecten	-	+	-	+
5. Gebiedseigenheid	0	-	0	++
6. Milieu	0	0	0	0
7. Kosten	+	+	-	--

#### Ad 4. Landschapseffecten

In landschappelijk beschermde en aantrekkelijke gebieden zal het uiterlijk van de constructie een rol spelen. In een gebied als de Waddenzee zijn landschappelijke elementen daarom van belang. Om deze reden zijn bijvoorbeeld een mosselbank en een zanddam bekleed met mosselen aantrekkelijk. Een natuurlijke zanddam m.b.v. stroomgordijnen kan eveneens een natuurlijke aanblik opleveren, mits het kunststof gaas onderzandt.

#### Ad 5. Gebiedsvreemdheid van het materiaal

Kunststofgaas gebruikt bij het opwerpen van zandwallen is zeer gebiedsvreemd materiaal. Stenen komen vooral voor in diepe geulen in de Waddenzee. Houten palen komen van nature niet voor in de Waddenzee, mosselen wel.

#### Ad 6. Milieu

Kunststofgaas en steen gaan nauwelijks een interactie aan met de omgeving, er zijn dan ook geen afgifte van schadelijke stoffen te verwachten. Kwelderwerkdammen en mosselbanken gaan wel een interactie met de omgeving aan, maar dit zijn processen die ook van nature in de Waddenzee plaatsvinden.

#### Ad 7. Kosten

Globale navraag leert dat rijshouten dammetjes en stroomgordijn-zanddammen vergelijkbaar zijn in aanlegprijs (ca f 200,- en 300,- per meter, respectievelijk). Een stortstenen dam van 1 m hoog kost circa f 500,- per meter. Mosselbanken zijn vele malen duurder gezien de mosselprijs, mogelijk wil echter het productschap hieraan meewerken in het kader van herintroductie van stabiele mosselbanken.

Uit voorgaande blijkt dat stortstenen dammen minder geschikt zijn. De overige drie hebben ieder voor- en nadelen.

## **5.5 Toepassing**

Om bescherming te bieden tegen golfslag uit verschillende richtingen zal de strekdam een gebogen vorm moeten hebben (bij golfslag uit alle richtingen moet de dam theoretisch cirkelvormig zijn).

Om het effect van de stabilisatietechniek te meten, is het van belang om de techniek in tenminste drievoud aan te leggen. Om de meest optimale diepte voor groeikernen vast te stellen, dienen de stabilisatietechnieken op verschillende dieptes beneden NAP te worden aangelegd (-0.20, -0.40 en -0.60 m NAP).



## 6. Aanbevelingen

### 6.1. Algemeen

- Het is van belang dat het effect van een stabilisatietechniek wordt afgewacht alvorens zeegras wordt getransplanteerd. De eerste effecten van stabilisatietechnieken zijn namelijk ongunstig voor zeegras (wegspoelen, sedimentatie, macroalgenbedekking)
- Selectie van locaties is erg belangrijk. Plekken met een lage waterdynamiek en geringe erosie- of sedimentatiedruk verdienen de voorkeur. Men moet rekening houden met een zone die niet geschikt is voor zeegras. Niet alleen waterdynamiek is belangrijk, zoals in deze studie al uitvoerig besproken is, maar ook de waterkwaliteit is waarschijnlijk niet overal in de Waddenzee geschikt voor zeegras. Plekken met een lagere saliniteit en lage stikstofgehalten zijn te verkiezen (van Katwijk et al. 1997; van Katwijk et al. 1999 in press, Kamermans et al. 1999).
- Bij het toepassen van een stabilisatietechniek moet men onderscheid maken tussen de **hoge** zone (rond NAP) en de **lage** zone (rond LW) waarin zeegras kan voorkomen.
- In de zone rond NAP kunnen stabilisatietechnieken gebruikt worden om de dieptegrens te verlagen, de zaadstengels te behouden en de afwatering te vertragen. In de zone rond laagwater zal de aanplant beschermd moeten worden tot de planten goed zijn aangeslagen. In beide zones kunnen sedimentstabiliserende maatregelen nuttig zijn bij erosiedruk.
- Om zaaddragende zeegrasstengels tegen wegdrijven te behoeden, zou men een tijdelijke stabilisatieconstructie kunnen aanleggen. Als het zeegrasveld groot genoeg is kunnen de zaden door de overgebleven zeegrasplanten ingevangen worden. Dit kan alleen in gebieden waar de waterdynamiek niet hoog is.
- Stabilisatietechnieken die in de getijdenzone worden aangelegd, moeten bestand zijn tegen ijsgang en storm. Voorts is het goed om eventuele verankeringen van flexibel materiaal te vervaardigen, om onderspoeling te voorkomen.
- Een half omringende strekdam waar het water bij hoogwater overheen stroomt, is hoogstwaarschijnlijk zeer geschikt om een (grootschalige) zeegrastransplantatie te beschermen. Hier is in de Verenigde Staten en in Terschelling ervaring mee opgedaan.
- Men zou een permanente constructie kunnen aanleggen in gebieden waar ingrijpen toch al nodig was i.v.m. kustbescherming. Ook kan men bestaande hierop gelijkende constructies gebruiken om zeegras in te transplanteren. Zo'n locatie kan als zaadbron dienen voor nabijgelegen gebieden. Deze nabijgelegen gebieden moeten dan wel geschikt zijn voor zeegrasgroei (dus geen erosiegebied!).
- In de hoge zone zullen maatregelen waarschijnlijk een min of meer permanent karakter moeten hebben. In de lage zone kan wellicht worden volstaan met tijdelijke maatregelen (één tot enkele jaren).

- Om de effectiviteit van de maatregelen te kunnen testen is het noodzakelijk om ze in tenminste drievoud toe te passen.

## ***6.2. Specifiek voor het aanleggen van groeikernen***

- Strekdamachtige constructies zijn het meest effectief.
- Bij vergelijking van kwelderwerkdammen, zandwallen die m.b.v. gaas zijn opgeworpen, stortstenen dammen en mosselbanken blijken stortstenen dammen minder geschikt te zijn. De overige 3 hebben ieder verschillende voor- en nadelen (zie tabel 2).
- De constructie dient bij plaatsing voor een kust halfgebogen, met de bolle zijde in de richting van de open zee te zijn.

## Literatuur

- Bakker WT, Bax J, Grootenboer D, Tutuarima WH (1972) Synthetisch zeewier: studies betreffende kustbescherming, alsmede de bescherming van onderzee-pijpleiding door toepassing van geëxtrudeerde verstrekte polypropreen schuimdraden. *De Ingenieur* 48:1045-1059
- Barber W.E., Greenwood JG, Crocos P (1979) Artificial seagrass - a new technique for sampling the community. *Hydrobiologia* 65:135-140
- Bell JD, Steffe AS, Westoby M (1985) Artificial seagrass: how useful is it for field experiments on fish and macroinvertebrates? *J Exp Mar Biol Ecol* 90:171-177
- Bell SS, Hall MO, Robbins BD (1995) Toward a landscape approach in seagrass beds: Using macroalgal accumulation to address questions of scale. *Oecologia* 104:163-168
- Boley KE (1988) Morphodynamische Analyse der Wattsüdseite Hallig Hooge. Geographisches Institut der Justus Liebig Universität Giessen, Giessen
- Christensen PB, McGlathery KJ (1995) Transplantation of eelgrass. National Environmental Research Institute, Silkeborg
- Conover JT (1968) The importance of natural diffusion gradients and transport of substances related to benthic marine plant metabolism. *Bot Mar* 11:1-9
- Consemulder J (1984) Systematische analyse sturingsmiddelen morfologie. DDMI-84.25. RIKZ, Middelburg
- Davis RC, Short FT (1997) Restoring eelgrass, *Zostera marina* L., habitat using a new transplanting technique: The horizontal rhizome method. *Aquat Bot* 59:1-15
- de Jonge VN, de Jong DJ (1992) Role of tide, light and fisheries in the decline of *Zostera marina* L. in the Dutch Wadden Sea. *Neth Inst Sea Res Publ Ser* 20:161-176
- de Jonge VN, de Jong DJ, van den Bergs J (1996) Reintroduction of eelgrass (*Zostera marina*) in the Dutch Wadden Sea; review of research and suggestions for management measures. *Journal of Coastal Conservation* 2:149-158
- de Jonge VN, Ruiter JF (1996) How subtidal were the 'subtidal beds' of *Zostera marina* L. before the occurrence of the wasting disease in the early 1930's? *Neth J Aquat Ecol* 30:99-106
- de Jonge VN, van den Bergs J, de Jong DJ (1997) Zeegrass in de Waddenzee, een toekomstperspectief. RIKZ, Haren, The Netherlands



- den Hartog C, van der Velde G (1970) De flora en de vegetatie van het Balgzand. *K N N V Wet Meded* 86:20-36
- den Hartog C, Polderman PJG (1975) Changes in the seagrass populations of the Dutch Waddenzee. *Aquat Bot* 1:141-147
- den Hartog C (1994) Suffocation of a littoral *Zostera* bed by *Enteromorpha radiata*. *Aquat Bot* 47:21-28
- Eggleston DB, Etherington LL, Elis WE (1998) Organism response to habitat patchiness: species and habitat-dependent recruitment of decapod crustaceans. *J Exp Mar Biol Ecol* 223:111-132
- Fonseca MS, Kenworthy WJ (1987) Effects of current on photosynthesis and distribution of seagrasses. *Aquat Bot* 27:59-78
- Fonseca MS, Kenworthy WJ, Courtney FC (1996) Development of planted seagrass beds in Tampa Bay, Florida, USA: I. Plant components. *Mar Ecol Prog Ser* 132:127-139
- Fonseca MS (1996) The role of seagrasses in nearshore sedimentary processes: a review. In: Nordstrom KF, Roman CT (eds) *Estuarine Shores: Evolution, Environments and Human Alterations*. John Wiley & Sons Ltd., p 261-286
- Fonseca MS, Bell SS (1998) Influence of physical setting on seagrass landscapes near Beaufort, North Carolina, USA. *Mar Ecol Prog Ser* 171:109-121
- Gambi MC, Nowell ARM, Jumars PA (1990) Flume observations on flow dynamics in *Zostera marina* (eelgrass) beds. *Mar Ecol Prog Ser* 61:159-169
- Giesen WBJT, van Katwijk MM, den Hartog C (1990) Eelgrass condition and turbidity in the Dutch Wadden Sea. *Aquat Bot* 37:71-85
- Giesen WBJT, van Katwijk MM, den Hartog C (1990) Temperature, salinity, insolation and wasting disease of eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea in the 1930's. *Neth J Sea Res* 25:395-404
- Gonzales BJ, Dolorosa R, Blanco R, Okamura O, Maeda T (1994) An artificially made seagrass bed: Its role in a shallow subtidal zone and probable consequences. *Bulletin of Marine Sciences and Fisheries Kochi University* 0:57-61
- Hair CA, Bell JD (1992) Effects of enhancing pontoons on abundance of fish: Initial experiments in estuaries. *Bull Mar Sci* 51:30-36
- Harmsen GW (1936) Systematische Beobachtungen der Nordwest-Europäischen Seegrassformen. *Ned Kruidk Archief* 46:852-877

- Haywood MDE, Pendrey RC (1996) A new design for a submersible chronographic tethering device to record predation in different habitats. *Mar Ecol Prog Ser* 146:307-312
- Hermus DCR (1995) Herintroductie van zeegras in de Waddenzee. Het verloop van de beplantingen in 1992-1994 & zaadexperimenten. University of Nijmegen, Nijmegen
- Irlandi EA (1997) Seagrass patch size and survivorship of an infaunal bivalve. *Oikos* 78:511-518
- Jacobs RPWM (1982) Reproductive strategies of two seagrass species (*Zostera marina* and *Zostera noltii*) along West European coasts. In: Symoens JJ, Hooper SS, Compère P (eds) *Studies on Aquatic Vascular Plants*. Royal Botanical Society of Belgium, Brussels, p 150-155
- James PL, Heck KL, Jr. (1994) The effects of habitat complexity and light intensity on ambush predation within a simulated seagrass habitat. *J Exp Mar Biol Ecol* 176:187-200
- Jenkins GP, Keough MJ, Hamer PA (1998) The contributions of habitat structure and larval supply to broad-scale recruitment variability in a temperate zone, seagrass-associated fish. *J Exp Mar Biol Ecol* 226:259-278
- Kamermans P, Hemminga MA, de Jong DJ (1999) The significance of salinity and silicon levels for growth of a formerly estuarine eelgrass (*Zostera marina* L.) population (Lake Grevelingen, The Netherlands). *Mar Biol* 133:527-539
- Keddy CJ, Patriquin DG (1978) An annual form of eelgrass in Nova Scotia. *Aquat Bot* 5:163-170
- Klok B (1976) Resultaten van de toepassing van kunstmatig zeewier als bodembescherming in de Westelijke Waddenzee. Rijkswaterstaat Studiedienst Hoorn, Memorandum 76.9
- Klumpp DW, Salitaespinosa JS, Fortes MD (1992) The role of epiphytic periphyton and macroinvertebrate grazers in the trophic flux of a tropical seagrass community. *Aquat Bot* 43:327-349
- Laushman RH (1993) Population genetics of hydrophilous angiosperms. *Aquat Bot* 44:147-158
- Levin P, Petrik R, Malone J (1997) Interactive effects of habitat selection, food supply and predation on recruitment of an estuarine fish. *Oecologia* 112:55-63
- Liu H, Loneragan NR (1997) Size and time of day affect the response of postlarvae and early juvenile grooved tiger prawns *Penaeus semisulcatus* De Haan (Decapoda: Penaeidae) to natural and artificial seagrass in the laboratory. *J Exp Mar Biol Ecol* 211:263-277

- Nemtzov SC (1997) Intraspecific variation in home range exclusivity by female green razorfish, *Xyrichyts splendens* (family Labridae), in different habitats. *Environmental Biology of Fishes* 50:371-381
- Nomme KM, Harrison PG (1991) Evidence for interaction between the seagrasses *Zostera marina* and *Zostera japonica* on the Pacific coast of Canada. *Can J Bot* 69:2004-2010
- Olmi EJI, Lipcius RN (1991) Predation on postlarvae of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun by sand shrimp *Crangon septemspinosa* Say and grass shrimp *Palaemonetes pugio* Holthuis. *J Exp Mar Biol Ecol* 151:169-184
- Oudemans CAJA, Conrad JFW, Maats P, Bouricius LJ (1870) Verslag der Staatscommissie inzake de wiermaayerij. Verslag aan de Koning over de Openbare Werken in het Jaar 1869. Van Weelden en Mingelen, Den Haag, p 199-231
- Philippart CJM (1993) Of shellfish, birds and men; restrictions for fisheries in the Dutch Wadden Sea. *Wadden Sea Newsletter* 1993-3:18-19
- Phillips RC (1980) Transplanting methods. In: Phillips RC, McRoy CP (eds) *Handbook of seagrass biology: an ecosystem perspective*. Garland Press, New York, p 41-56
- Rasmussen E (1977) The wasting disease of eelgrass (*Zostera marina*) and its effect on environmental factors and fauna. In: McRoy CP, Helfferich C (eds) *Seagrass ecosystems. A scientific perspective*. M. Dekker Inc., New York, p 1-51
- Schellekens AWHJ (1975) Zeegrasonderzoek Terschelling. Report 17, Lab of Aquat. Ecol., Catholic University Nijmegen
- Schneider FI, Mann KH (1991) Species specific relationships of invertebrates to vegetation in a seagrass bed: II. Experiments on the importance of macrophyte shape, epiphyte cover and predation. *J Exp Mar Biol Ecol* 145:119-139
- Sloet tot Oldhuis BWAE (1855) Het zeewier. *Tijdschr v Staatshuishoudkunde en Statistiek* 11:192-210
- Sogard SM (1989) Colonization of artificial seagrass by fishes and decapod crustaceans: importance of proximity to natural eelgrass. *J Exp Mar Biol Ecol* 133:15-37
- Sogard SM, Olla BL (1993) The influence of predator presence on utilization of artificial seagrass habitats by juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma*. *Environmental Biology of Fishes* 37:57-65
- Sogard SM, Able KW (1994) Diel variation in immigration of fishes and decapod crustaceans to artificial seagrass habitat. *Estuaries* 17:622-630

- van den Hoek C, Admiraal W, Colijn F, de Jonge VN (1979) The role of algae and seagrasses in the ecosystem of the Wadden Sea, a review. In: Wolff WJ (ed) Flora and Vegetation of the Wadden Sea. Wadden Sea Working Group, Report 3, Leiden, p 9-118
- van der Linden M (1985) Golfdempende constructies. Deel 1: Methodische beschrijving van de werking. Technische Hogeschool Delft, Delft
- van Goor ACJ (1920) Das Wachstum der *Zostera marina* L. Ber deutschen Bot Ges 38:187-192
- van Goor ACJ (1921) Die *Zostera*-Assoziation des holländischen Wattenmeeres. Rec Trav Bot Néerl 18:103-123
- van Katwijk MM, Schmitz GHW (1993) Herintroductie van Zeegras in de Waddenzee. Bepantingen 1991 en 1992. Laboratory of Aquatic Ecology, University of Nijmegen, The Netherlands
- van Katwijk MM, Vergeer LHT, Schmitz GHW, Roelofs JGM (1997) Ammonium toxicity in eelgrass *Zostera marina*. Mar Ecol Prog Ser 157:-173
- van Katwijk MM, Schmitz GHW, Hanssen LSAM, den Hartog C (1998) Suitability of *Zostera marina* populations for transplantation to the Wadden Sea as determined by a mesocosm shading experiment. Aquat Bot 60:283-305
- van Katwijk MM, Schmitz GHW, Gasseling AM, van Avesaath PH (1999) The effects of salinity and nutrient level and their interaction on *Zostera marina* L. Mar Ecol Prog Ser [in press]
- van Katwijk MM, Hermus DCR, de Jong DJ, de Jonge VN (2000) Habitat suitability of the Wadden Sea for *Zostera marina* restoration. Helgoländer Meeresunters [In Press]
- van Katwijk MM, Hermus DCR Effect of physical disturbance on *Zostera marina* L. transplantations in the Dutch Wadden Sea. [Subm]
- Wohlenberg E (1935) Beobachtungen über das Seegrass, *Zostera marina* L., und seine Erkrankung im nordfriesischen Wattenmeer. Beiträge zur Heimatforschung im Schleswig-Holstein, Hamburg und Lübeck 2:1-19
- Worthington DG, Westoby M, Bell JD (1991) Fish larvae settling in seagrass: Effects of leaf density and an epiphytic alga. Aust J Ecol 16:289-294