

STANDPLAATSONDERZOEK
GROOT ZEEGRAS
(*ZOSTERA MARINA* L.).
VERGELIJKING VAN VIER
NEDERLANDSE
ZEEGRASVELDEN

April 2000
M.M. van Katwijk
L.J.M. Wijgergangs
D.C.R. Hermus

Leerstoelgroep Aquatische
Oecologie
en Milieubiologie
Katholieke Universiteit Nijmegen

In opdracht van het Rijksinstituut
voor Kust en Zee (RIKZ)

STANDPLAATSONDERZOEK
GROOT ZEEGRAS
(*ZOSTERA MARINA* L.).
VERGELIJKING VAN VIER
NEDERLANDSE
ZEEGRASVELDEN

April 2000
M.M. van Katwijk
L.J.M. Wijgergangs
D.C.R. Hermus

Leerstoelgroep Aquatische
Oecologie
en Milieubiologie
Katholieke Universiteit Nijmegen

In opdracht van het Rijksinstituut
voor Kust en Zee (RIKZ)

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

DANKWOORD

In het veld zijn wij bijgestaan door Esther Lucassen (KUN) en Annemieke van der Pluijm (RIKZ Middelburg). De heer Bakker (RWS Terschelling) heeft hoogtemetingen voor ons verricht op de Plaat en bij de Wierschuur. Dimphy Kuypers (KUN) heeft de sedimenten en bodemwatermonsters geanalyseerd, daarbij geassisteerd door Lex Kempers (KUN), Jelle Eygensteyn (KUN), Esther Lucassen (KUN), en Joop Nieuwenhuize (CEMO, Yerseke).

Wij willen de projectgroep zeegras, Kees van Berkel (LNV dir. Noord), Theo Claassen (RWS dir. Noord-Nederland), Dick de Jong (RIKZ Middelburg), Victor de Jonge (RIKZ Haren), Marcel Rozemeijer (RIKZ Den Haag) en Marco van Wieringen (RWS dir. Noord-Holland) bedanken voor hun verbeteringen van en aanvullingen op het manuscript van dit rapport. Behalve een aantal van deze mensen waren ook Jappie van den Bergs (RWS dir. N-Nederland) en Jakob Asjes (RWS dir. Noord-Holland) betrokken bij de voorbereidingen en de eerste fase van dit onderzoek.

INHOUDOPGAVE

Dankwoord.....	i
Inhoudopgave.....	1
Summary.....	3
Achtergrond.....	5
Inleiding.....	7
Gebiedsomschrijving.....	11
Waddenzee.....	11
Eems: de Paap in de Eemsmonding.....	11
Terschelling: de Plaat.....	11
Oosterschelde.....	11
De Zandkreek.....	12
De Roggenplaat.....	12
Voortplantingstrategie zeegrasvelden.....	12
Overige locaties.....	13
Balgzand.....	13
Terschelling: de Wierschuur.....	13
Terschelling: Keeg, Lies en Hoorn.....	13
Methode.....	15
Bemonstering.....	15
Plots.....	15
Bodemwater- en sedimentmonsters.....	17
Analyses.....	17
Statistische verwerking.....	18
Resultaten.....	19
Proefopzet.....	19
Vier Groot zeegrasvelden.....	20
Voortplantingstrategie en bodemwaterkenmerken.....	25
Locaties zonder zeegras in de nabijheid.....	25
Discussie.....	33
Zeegrasvelden: begroeid versus onbegroeid.....	33
Voortplantingstrategie: eenjarig of meerjarig.....	34
Verschillen tussen de vier zeegrasvelden.....	35
Overige locaties.....	36
Conclusies.....	37
Implicaties voor herintroductie.....	37
Literatuurreferenties.....	39
Bijlage 1. Publicaties KUN en RIKZ.....	45

SUMMARY

An inventory was made of the biotic and sediment characteristics of vegetated and non-vegetated parts of four eelgrass (*Zostera marina*) beds in the Netherlands, in order to address the question why eelgrass grows at some locations and not at others. Five intertidal flats without eelgrass in the vicinity were investigated, to get an indication of their suitability as a transplantation site. This correlative pilot study was performed as part of the project 'reintroduction of eelgrass in the Dutch Wadden Sea'.

Non-vegetated sediments of the eelgrass beds showed higher pore water salinities than vegetated parts. Pore water salinities of unvegetated tidal flats showed large local variation. It is possible that eelgrass, having better chances of establishment at lower salinities, preferentially grows at the sediments with lowest salinity, which seemed to be the most suitable transplantation sites.

A correlation was found between reproductive strategy of the populations (ranging from perennial to annual with intermediate forms) and factors that are related to sulfate reduction. This indicates that perennial beds, having a higher cover and probably a higher yearly production, may capture and produce a larger amount of degradable organic matter, thus enhancing the rate of sulfate reduction.

Large differences in pore water and sediment characteristics between the four eelgrass beds indicated that eelgrass beds can sustain on a wide variety of sediment types.

Comparison of the locations without eelgrass in the vicinity with the eelgrass beds revealed that sediment characteristics of two out of the five investigated sites did hardly deviate from the characteristics of the eelgrass beds, indicating that the sediment characteristics of these locations are suitable for eelgrass bed development. Three locations showed a significantly higher nitrate concentration in the pore water, which makes their suitability for eelgrass uncertain.

ACHTERGROND

Sinds 1987 wordt door de Katholieke Universiteit Nijmegen (KUN) onderzoek gedaan naar de standplaatsvoorwaarden van Groot zeegras en de mogelijkheden tot herstel van Groot zeegrasvelden in de Waddenzee. Het onderzoek gebeurt in opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) van Rijkswaterstaat. Een overzicht van de publicaties die uit dit onderzoek voortkwamen wordt gegeven in bijlage 1. De voornaamste resultaten worden samengevat in de Jonge et al. (1997), van Katwijk (2000), en van Katwijk et al. (2000).

Tot in de dertiger jaren van de twintigste eeuw kwam er in de westelijke Waddenzee 6.000 tot 15.000 hectare Groot zeegras (*Zostera marina* L.) voor (Oudemans et al. 1870, den Hartog & Polderman 1975). Het is toen grotendeels verdwenen en heeft zich nooit hersteld (bv. den Hartog 1987, Reise et al. 1989). In het Nederlandse deel van de Waddenzee groeit nog 87 hectare Groot zeegras en 26 hectare Klein zeegras (1999) (de Jong 2000). Het afsterven van Groot zeegras in de dertiger jaren viel samen met (1) het uitbreken van de zeegrasziekte in het gehele Noord-Atlantische verspreidingsgebied, (mogelijk samenhangend met toenemende druk van de mens op het milieu), (2) het bouwen van dijken en dammen zoals met name de Afsluitdijk en (3) een aantal jaren met weinig zonlicht in het groeiseizoen. Er is geen consensus over de bepalende factor(-en) (overzicht in den Hartog 1996, de Jonge et al. 1996).

Het uitblijven van herstel na de catastrofe werd toegeschreven aan de toegenomen troebelheid van het water, en de later toenemende schelpdiervisserij (van den Hoek et al. 1979, Giesen et al. 1990a,b, de Jonge & de Jong 1992). In het kader van 'herstel natuurwaarden' wil de overheid Groot zeegras graag terughebben in de Waddenzee (Anonymous 1989). Groot zeegras vormt een onderwaterwoud waarin vele soorten vissen een schuilplaats vinden, een kinderkamer voor krabben en schelpdieren en een foerageermogelijkheid voor alikruikjes en andere slakjes die van algen op het zeegras leven (bv. van Goor 1919, Heck et al. 1995, Horinouchi & Sano 1999, Mattila et al. 1999, Valentine & Heck 1999). Ook kan zeegras een stabiliserende werking hebben en bescherming bieden tegen kwelderosie doordat slib wordt ingevangen en vastgehouden, waardoor natuurlijke barrières ontstaan (Rasmussen 1977, Beardall et al. 1988, Gacia et al. 1999, van Katwijk 1999, van Katwijk et al. 2000, van Katwijk 2000, pers. comm. D.J. de Jong, R. Hughes).

Vóór de zeegrascatastrofe in de dertiger jaren van de twintigste eeuw kwamen er in de Waddenzee in principe twee zones met Groot zeegras voor (Harmsen 1936, van Katwijk 2000, van Katwijk et al. 2000). De hogere zone, rond NAP, is geschikt voor eenjarige, slappe planten. Als ze bij laagwater droogvallen liggen ze plat op de vochtige wadbodem, waardoor ze niet uitdrogen. De lagere zone, strekt zich uit vanaf iets boven laagwater tot een diepte waar licht limiterend wordt. Hier groeiden, tot in de negentien-

dertiger jaren, meerjarige, enigszins stevige planten, waarvan het onderste deel, de schede, rechtop bleef staan bij droogvallen. Ze waren daardoor gevoelig voor uitdrogen. Tegelijkertijd waren ze beter bestand tegen hoge waterdynamiek.

INLEIDING

De overheid wil Groot zeegras herintroduceren in de Nederlandse Waddenzee (Anonymous 1989, zie ook 'Achtergrond'). Voorafgaand aan herintroductie moet men zich afvragen of de Waddenzee (nog steeds of opnieuw) geschikt is voor zeegras. Dit werpt de vraag op welke factoren cruciaal zijn voor zeegrasgroei. Hier is reeds veel onderzoek naar gedaan. Belangrijke factoren voor de groei van Groot zeegras zijn licht (bv. Giesen et al. 1990a, b, van Katwijk et al. 1998), verstoring (de Jonge 1990, de Jonge & de Jong 1992), waterdynamiek (Hermus 1995, van Katwijk & Wijgengangs 2000, van Katwijk & Hermus subm.), sedimentdynamiek (bv. Boley 1988, Fonseca 1996, van Katwijk & Hermus subm.), mate van uitdrogen (bv. Harmsen 1936, Hermus 1995, van Katwijk & Wijgengangs 2000), nutriënten (bv. Short et al. 1995, Taylor et al. 1995, van Katwijk et al. 1997, 1999) en zoutgehalte (Kamermans et al. 1999, van Katwijk et al. 1999).

Over het algemeen komt Groot zeegras in Nederlandse zoute wateren voor op beschutte, onverstoorde plaatsen met enige zoetwaterinvloed, tussen NAP en laagwater. Een hoge stikstofbelasting, m.n. ammonium, heeft een negatief effect op Groot zeegras. Hoewel niet ieder van deze factoren op iedere plek in de Nederlandse Waddenzee precies bekend is, kan men toch in grote lijnen aangeven op welke plekken de kansen voor Groot zeegras relatief groot zijn, en waar de kansen klein tot nihil zijn, o.a. met behulp van de voorlopige GIS-kaarten die door het RIKZ ontwikkeld zijn (de Jonge et al. 1997, 2000) en met bekende nutriënten- en saliniteitsgegevens (ongepubliceerde gegevens Rijkswaterstaat en J.E.E. van Beusekom). Er lijken méér geschikte plekken te zijn dan de thans bekende groeiplaatsen van Groot zeegras. Dit, en de waarneming dat er binnen en rondom bestaande zeegrasvelden grote plekken onbegroeid zijn, terwijl ze bijzonder geschikt lijken te zijn voor kolonisatie, en absoluut bereikbaar voor zaden (pers. obs. auteurs, D.J. de Jong, V.N. de Jonge), heeft er toe geleid om het onderhavige onderzoek naar locale standplaatsvoorwaarden uit te voeren.

In deze studie zijn begroeide en onbegroeide plekken in een viertal zeegrasvelden met elkaar vergeleken om inzicht te verkrijgen in locale standplaatsvoorwaarden, met name sedimentkarakteristieken en biotische kenmerken. Centrale vraag bij dit onderzoek is: waarom groeit het zeegras op de ene plek wél en op de andere niet? Er zijn verklaringen mogelijk voor de afwezigheid van zeegras waar we níet in geïnteresseerd zijn, omdat ze te zeer voor de hand liggen of omdat de betreffende verklaring reeds bekend is. Dit zijn de volgende: er zijn geen diasporen (zaad of stekken) aanwezig, de plek is verstoord door menselijke activiteit (de Jonge 1990), of de plek valt langer droog of is minder beschermd (van Katwijk & Wijgengangs 2000). De onderhavige studie is verkennend en correlatief. Gevonden verschillen tussen plekken met en zonder zeegras kunnen namelijk ook het gevolg zijn van de aanwezigheid van het zeegras zelf. Dit is een algemeen voorkomend

probleem bij veldonderzoek, waarbij immers meestal meerdere factoren tegelijk variëren. Aan de andere kant bieden beschrijvingen en metingen van de veldsituatie een zo dicht mogelijke benadering van de werkelijkheid, waardoor interpretatie van de resultaten naar andere veldsituaties meer geoorloofd is dan bij experimenten onder meer gecontroleerde omstandigheden.

Vier Groot zeegrasvelden zijn onderzocht in deze studie. De plekken zonder zeegras waren grote open plekken in het zeegrasveld en/of aangrenzende onbegroeide zones die aan de volgende voorwaarden moesten voldoen: (1) er moest naar grote waarschijnlijkheid Groot zeegraszaad terechtkomen, en (2) er mocht geen verstoring (visserij/pierenstekerij) optreden, en (3) de plekken met en zonder zeegras mochten naar schatting niet van elkaar verschillen wat betreft dynamiek of de duur van droogvallen. Het wordt niet verwacht dat de waterkwaliteit op onbegroeide plekken belangrijk zal afwijken van de waterkwaliteit op de nabijgelegen begroeide plekken, echter, enige afwijking is theoretisch mogelijk als gevolg van de invloed van zeegras op waterbewegingen, waardoor de uitwisseling van nutriënten en fytotoxines tussen bodem en water wordt beïnvloed (Koch & Gust 1999, Nepf & Koch 1999)¹. Onderzocht zijn met name de chemische samenstelling van het bodemwater, het organisch stofgehalte en korrelgroottesamenstelling van het sediment, en veldkenmerken zoals de hoeveelheid wadpierhoopjes, de aanwezigheid van grazers and algenbegroeiing.

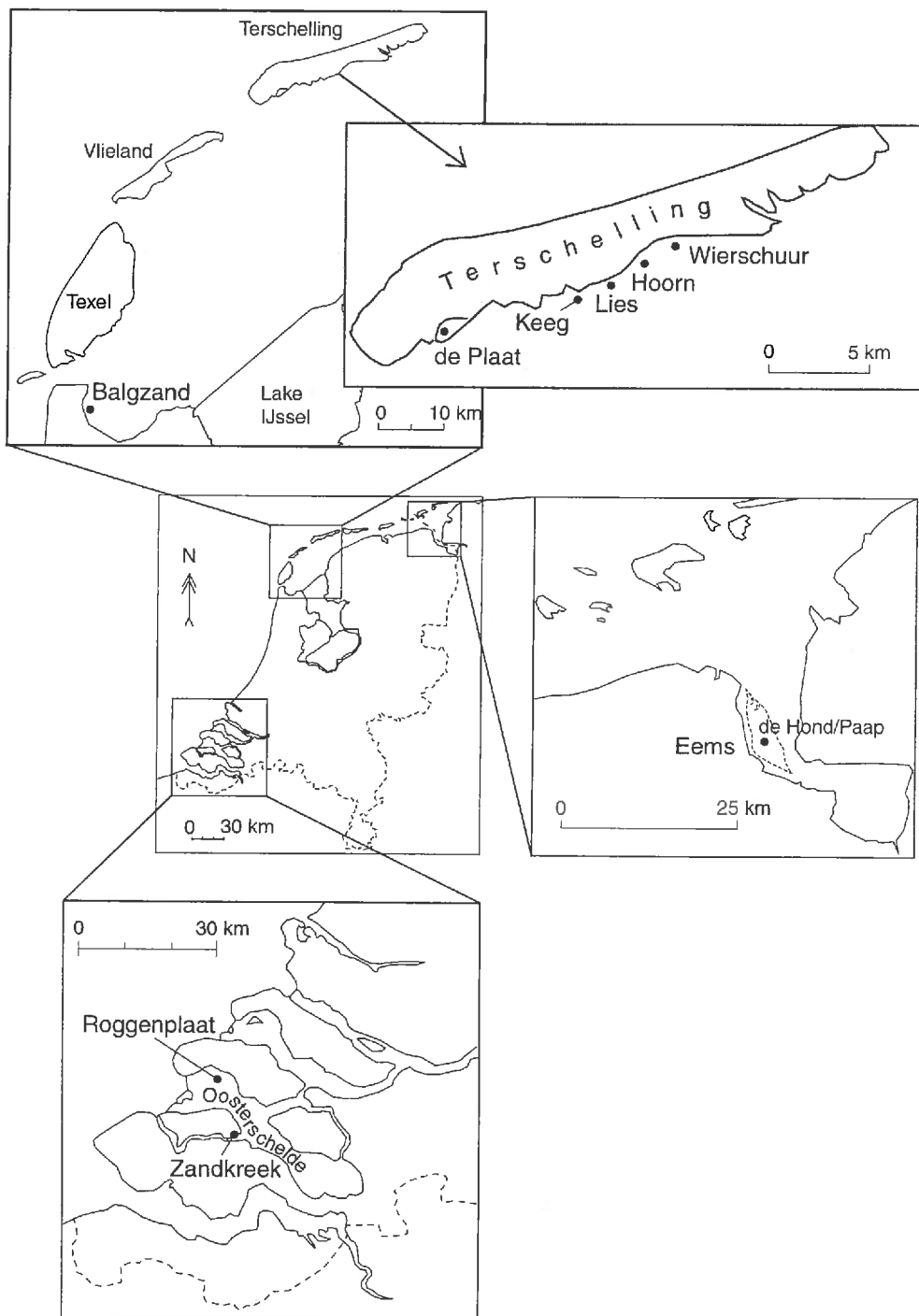
Behalve onbegroeide plekken in en vlak naast zeegrasvelden zijn ook een aantal locaties zonder Groot zeegrasvelden in de nabijheid onderzocht, om te zien of de omgevingsvariabelen op deze locaties afwijken van de omgevingskenmerken van Groot zeegraslocaties. Zo kan een schatting gemaakt worden van de geschiktheid van deze locaties voor Groot zeegrasaanplant. Tevens is een Klein zeegrasveld onderzocht, om eventuele verschillen tussen omgevingsvariabelen in Groot en Klein zeegrasvelden te verkennen.

Het Groot zeegras van de vier onderzochte zeegrasvelden, Zandkreek en Roggenplaat in ZW-Nederland (beide in de Oosterschelde gelegen) en Terschelling (de Plaat) en Eems in de Waddenzee, vertoont een verschillende voortplantingstrategie (eenjarig, meerjarig en tussenvormen)².

¹ Het effect van zeegras op waterbewegingen en de uitwisseling van stoffen tussen bodem en water, en de menging over de hoogte van het zeegrasveld ('vertical mixing') is zeer complex: bij golven is menging groot, bij stroming is de menging juist klein. Nutriënten en andere stoffen uit de bodem komen grotendeels terecht bij de zeegrasplanten indien de waterdynamiek matig is, bij hoge zowel als lage waterdynamiek komen er weinig stoffen uit de bodem bij de zeegrasplanten. In genoemde publicaties wordt dit uitvoerig behandeld.

² Deze populaties komen overigens niet precies voor in de zones zoals bovengenoemd. Zo komt de overwegend eenjarige Terschellingse populatie dieper voor dan gebruikelijk, waarschijnlijk als gevolg van de beschutting door een omringende dam (zie Gebiedsbeschrijving'). In de Eemsmonding liggen de planten rond NAP, maar is een groot deel van de planten om onbekende redenen meerjarig.

Vergelijking van deze vier velden geeft daarom inzicht in de voorwaarden voor meerjarigheid en/of de gevolgen van meerjarigheid.



Figuur 1. Kaart van de onderzochte locaties.

GEBIEDSOMSCHRIJVING

In figuur 1 zijn de vier onderzochte zeegraslocaties weergegeven. De omvang van de zeegrasvelden wordt gegeven in tabel 1.

Waddenzee

In de Waddenzee komt het Groot zeegras nog op twee plekken voor. Dit zijn de Hond/Paap in de Eems, en de Plaat op Terschelling. Beide locaties zijn opgenomen in dit onderzoek.

Eems: de Paap in de Eemsmonding

De Paap is een droogvallende plaat in de monding van de rivier de Eems die uitmondt in de Waddenzee. In 1973 werd voor het eerst melding gemaakt van de aanwezigheid van enkele Groot zeegrasplanten aan de vastlandskust van het Eems estuarium (Polderman & den Hartog 1975). Het latere veld ligt in de stroom- (de Jonge 1992) en windluwte (de Jonge 1995) van een kunstmatig eilandje (olieboorwinput) op het meest zeewaarts gelegen deel van deze plaat. Verder is uit een publicatie van de Swart et al. (1997) bekend dat in dit deel van het estuarium de waterdispersie relatief laag is evenals de stroomsnelheidsamplitude, allemaal aanwijzingen dat de getijgedreven waterdynamiek in dit deel van het estuarium relatief laag is. Het vermoeden bestaat derhalve dat de beschutting door het eilandje een belangrijke factor is geweest voor de groei van de lokale zeegraspopulatie. Het zeegrasveld ligt tussen +0.10 m en -0.40 m NAP (ongepubliceerde gegevens Rijkswaterstaat). De populatie in de Eems is voor een groot deel meerjarig, hoewel delen van de populatie uitsluitend uit zaad opkomen (Hermus 1995; pers. obs.).

Terschelling: de Plaat

Bij de haven van Terschelling ligt een kunstmatige dam. Hierdoor is een beschutte kom gecreëerd. In deze havenkom komt een populatie Groot zeegras voor. Eind jaren tachtig van de twintigste eeuw kwam een paar ha Groot zeegras voor (de Jong & de Jonge 1989; Giesen 1990, pers. comm. M. Bellemakers). In 1990 is schade toegebracht aan delen van deze Groot zeegras populatie door twee kokkelvissers (de Jonge 1990). Het zeegrasveld ligt op \pm -0.50 m NAP (metingen in samenwerking met Rijkswaterstaat Terschelling uitgevoerd). Deze populatie volgt een overwegend éénjarige voortplantingstrategie, 2-10 % spruit uit wortelstokken (van Katwijk et al. 1998, Wijgergangs & de Jong 1999).

Oosterschelde

In de Oosterschelde komt Groot zeegras op een aantal plekken voor. De belangrijkste groeiplaatsen zijn de Zandkreek en de Roggenplaat (Figuur 1, Tabel 1). Deze beide populaties zijn betrokken in het onderzoek. De Oosterschelde was voor de uitvoering van de Deltawerken een estuarium met directe getij- en rivierinvloed. In 1960 is er een eerste begin gemaakt met de aanleg van waterbouwkundige werken in de Oosterschelde. In 1987 is

uiteindelijk de laatste hand gelegd aan de uitvoering en voltooiing van het Deltaplan aldaar. De invloeden van de aanleg van de dammen en sluisen in de Oosterschelde op het systeem en het zeegras zijn beschreven in Wijgengangs & de Jong (1999).

De Zandkreek

De Zandkreek ligt bij de sluisopening van het Veerse Meer in de Oosterschelde. Via de sluis wordt af en toe water van het Veerse Meer in de Oosterschelde gelaten. Het water uit het Veerse Meer is brak en bevat vele voedingsstoffen (van Lent & Verschuure 1994, ongepubliceerde gegevens Rijkswaterstaat). Dit kan leiden tot een sterke ontwikkeling van epifyten en groenwieren in de Zandkreek, hetgeen ongunstig voor zeegras is (den Hartog 1994). De verlaging in het zoutgehalte als gevolg van de inlaat is echter gunstig voor zeegras (Wijgengangs 1994; Kamermans et al. 1999; van Katwijk et al. 1999). Dit verklaart waarschijnlijk de aanwezigheid van zeegras op deze locatie. Momenteel komen er in de Zandkreek-noord twee soorten zeegras voor. Het grootste deel is Klein zeegras, *Zostera noltii*, en op lager gelegen platen komt Groot zeegras, *Zostera marina*, voor. Groot zeegras ligt op een diepte van ± 0.90 m boven gemiddeld laagwater. Het Groot zeegrasveld komt ieder jaar uitsluitend uit zaad op.

De Roggenplaat

De Roggenplaat is een zandplaat in het westelijke deel van de Oosterschelde. Op deze plaat zijn mosselpercelen aangelegd. De populatie Groot zeegras is nogal wisselend van omvang. Er zijn jaren dat er een grotere populatie voorkomt en jaren dat er vrijwel geen zeegrassen meer voorkomen. De planten staan vlak boven de laagwaterlijn (Bellemakers & de Jong, 1995, de Jong pers. comm.). Bij de veldbezoeken tijdens laagwater in 1998 bleken de planten korte tijd droog te vallen. De populatie bestaat uit overwegend meerjarige planten. Het is een klein veld met een hoog bedekkingspercentage en heel vitale planten.

Voortplantingstrategie zeegrasvelden

De onderzocht Groot zeegrasvelden konden gerangschikt worden op voortplantingstrategie. De populatie op de Roggenplaat is meerjarig, de populatie in de Eemsmonding is grotendeels meerjarig, de populatie bij Terschelling is overwegend eenjarig, en de populatie in Zandkreek is volledig eenjarig (pers. obs., pers. comm. D.J. de Jong, V.N. de Jonge, C. den Hartog). Om correlaties met voortplantingstrategie te testen werd de factor meerjarigheid geconstrueerd, met de waarden 1 t/m 4 (als rangnummer) toegekend aan respectievelijk de populaties van Zandkreek, Terschelling, Eems en Roggenplaat.

Overige locaties

Hieronder volgt een beschrijving van de onderzochte locaties die niet in de nabijheid van een Groot zeegras waren gelegen (Figuur 1, Tabel 1). De gebieden zijn geselecteerd op basis van GIS-berekeningen van geschikte Groot zeegraslocaties (de Jonge et al. 1997, 2000). Een bijkomend argument voor de keuze van Balgzand en Wierschuur was de aanwezigheid van Groot zeegras tot het begin zeventiger jaren.

Balgzand

Het Balgzand is gelegen tussen Den Helder en de Afsluitdijk. Tot circa 1970 kwam hier nog zeegras voor, waarna het geheel is verdwenen (den Hartog & Polderman 1975). Op deze locatie zijn transplantatie experimenten uitgevoerd met zowel Groot als Klein zeegras in 1993 en 1994 (Hermus 1995). De transplantaties waren destijds alleen gedurende het eerste groeiseizoen succesvol. In het tweede seizoen kwamen er geen zaailingen op, waarschijnlijk deels als gevolg van de uitzonderlijke weersomstandigheden zoals een extreem verlaagde saliniteit in het voorjaar (18‰; in vergelijking het gemiddelde in 1919-1981 is 30.4‰, Giesen 1990, ongepubliceerde gegevens RWS), met voortijdige kieming als gevolg gevolgd door een langdurige koudeperiode. Daarnaast zijn er waarschijnlijk veel zaaddragende stengels de open zee ingedreven (van Katwijk & Hermus subm.). Waarschijnlijk is het zo dat hoe groter een transplantatie, hoe meer zaaddragende stengels voor het gebied behouden kunnen blijven als gevolg van de ontstane luwte binnen het zeegrasveld.

Terschelling: de Wierschuur

De Wierschuur ligt aan de zuidkust van Terschelling in de buurt van het wantij³. Het is een open onbeschut wad. De waterdynamiek is hier relatief hoog en het sediment is dan ook vrij zandig. Bij Wierschuur zijn in 1992, 1993 en 1994 transplantatie-experimenten uitgevoerd die eveneens slechts gedurende één groeiseizoen succesvol waren, hetgeen niet alleen aan de kleine omvang van de transplantaties te wijten was (zie boven), maar ook aan een lage zaailingoverleving (van Katwijk & Schmitz 1993; Hermus 1995; van Katwijk & Hermus subm.). Dit is nader onderzocht door van Katwijk & Wijgangers (2000). Waarschijnlijk is de combinatie van het zandige substraat, de afwezigheid van reliëf waardoor een laagje water kon blijven staan en de afwezigheid van beschutting bij de Wierschuur, fataal is geweest voor een succesvolle ontwikkeling van Groot zeegras uit zaad in het jaar na transplantatie (van Katwijk & Wijgangers 2000).

Terschelling: Keeg, Lies en Hoorn

De locaties Keeg, Lies en Hoorn langs de zuidkust van Terschelling lijken geschikt te zijn voor Groot zeegras (de Jonge et al. 1997, 2000, pers. obs.), en kunnen mogelijk bereikt worden door zaadhoudende zeegrasstengels die

³ “Draaiing of stilstand in het water, waar twee vloedstromen elkaar ontmoeten.”

vanaf de Plaat naar het oosten drijven. Incidenteel zijn Groot zeegrasplanten waargenomen bij de Keeg en bij Hoorn (Philippart pers. comm., pers. obs.). Toch hebben zich hier tot op heden geen Groot zeegrasvelden ontwikkeld. Bij Keeg en Hoorn komt wel Klein zeegras voor.

METHODE

Bemonstering

Plots

In de nazomer en het najaar van 1998 werden drie plots gelegd in de zeegrasvelden, en drie op open plekken in en nabij de zeegrasvelden. Daarnaast werd een aantal plots gelegd in locaties zonder zeegras in de nabijheid, en in één geval in een Klein zeegrasveld (tabel 2). De onbegroeide plots in en naast de zeegrasvelden werden zodanig gekozen dat : (1) er naar grote waarschijnlijkheid Groot zeegraszaad terechtkomt, en (2) er geen verstoring aanwezig was (visserij/pierenstekerij). Voorts mochten de onbegroeide plots niet waarneembaar verschillen van de begroeide plots, bijvoorbeeld doordat ze opmerkelijk veel natter of droger waren of beschutter gelegen.

Tabel 1. Oppervlak (ha) bedekt met zeegras (Groot en Klein zeegras) in de twee gebieden van de Oosterschelde (Z Zandkreek, R Roggenplaat) en vijf gebieden in de Waddenzee. Bij Oosterschelde-locaties is onderscheid gemaakt in de totale bedekking (bovenste tabel) en de bedekking > 5% (middelste tabel). Gegevens afkomstig van Wijgengangs & de Jong 1999 en de Jong 2000. K Klein zeegras G Groot zeegras. - Niet gekarteerd; ¹Bedekking > 5%

		1977	1984	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998
Z	KG	120	94	124	119	151	111	112	56	35	72	23	30	21	21
R	G	-	-	-	47	38	0	-	1	-	-	-	8	-	-

		1977	1984	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998
Z	KG	115	84	98	91	102	71	48	42	29	26	18	18	17	17
R	G	-	-	-	14	26	0	-	1	-	-	-	5	-	-

		1970	1972 1973	1987 1988	1990	1991	1994	1995	1996	1997	1998	1999
De Plaat	G	-	-	-	-	23	±25	10,4 ¹	10,4	3,0 ¹	0,6 ¹	0,8 ¹
Eems	G	-	-	4	18	9,7	26,7 ¹	32,1 ¹	95 ¹	63,1 ¹	±60 ¹	27,7 ¹
Balgzand	K	±90	12	1	-	1	±0	-	-	-	-	-
Keeg	K	-	15	23	-	20	-	-	-	-	-	-
Hoorn	K	-	115	84	-	-	10	12,3 ¹	-	12,8 ¹	16,9 ¹	-

Een plot mat 10x10m. Per plot werden een aantal parameters geschat (tabel 3 links). Binnen de plots werden drie subplots van 1x1m binnen het 10x10m plot gelegd. Hierin werd een aantal andere parameters geschat (tabel 3 rechts). Het bedekkingspercentage van de waterfilm en het laagje bovenstaand water werden geschat om te controleren of de begroeide plekken in de zeegrasvelden in dit opzicht niet afwijken van de onbegroeide plekken, omdat het belang van deze factor al bekend was uit eerdere waarnemingen en bevestigd door onderzoek (van Katwijk & Wijgengangs 2000), en daardoor niet van belang wordt geacht voor dit onderzoek (zie inleiding). De schattingen in de zeegrasvelden zijn alle tijdens laagwater verricht, zodat het achterblijvende laagje water enigszins vergelijkbaar was. Op de overige locaties kon het voorkomen dat het water bleef staan, m.n. Keeg, Lies en Wierschuur. Hier hebben de gegevens over de waterfilm geen waarde, maar zijn volledigheidshalve in de resultatenbespreking opgenomen. De gegevens over biota in de zeegrasvelden zijn goed vergelijkbaar aangezien alle in de maand september zijn bemonsterd. De overige locaties zijn later bemonsterd en daardoor minder goed vergelijkbaar.

In de subplots werden bodemwatermonsters en sedimentmonsters genomen. In het bodemwater werden totaal P, PO₄, NO₃, NH₄, Total Inorganic Carbon (TIC), saliniteit, K, Na, Na Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Al, Si en pH gemeten. In het sedimentmonsters werd het organisch stofgehalte en de korrelgrootteverdeling gemeten. De monster- en analysemethoden worden hieronder besproken. Op de locaties Keeg, Lies en Hoorn zijn alleen bodemwaterparameters onderzocht.

Tabel 2. Locaties, monsterdata en aantal plots (replica's).

Locatie	Monsterdatum	Groot zeegras	Aantal replica's
Eems, de Paap	1, 2 september 1998	met + zonder	3 + 3
Terschelling, de Plaat	4 en 5 september 1998	met + zonder	3 + 3
Oosterschelde, de Roggenplaat	8 september 1998	met + zonder	3 + 3
Oosterschelde, de Zandkreek	22 september 1998	met + zonder	3 + 3
Oosterschelde, de Zandkreek	22 september 1998	Klein zeegras	1
Keeg, Lies en Hoorn (Terschelling)	5 oktober 1998	zonder	3, 2, 2, resp.
Wierschuur (Terschelling)	16 november 1998	zonder	3
Balgzand	1 december 1998	zonder	1

Tabel 3. Gemeten en geschatte parameters in plots (10x10m) en subplots (1x1m)

10x10 m plot	1x1 m plot
Bedekkingspercentage waterfilm	% Zeegrasbedekking
Laagje bovenstaand water (cm)	% Bloeischeuten
% Bedekking macro-algen	% Epifytenbedekking op het zeegras
Dikte van de aerobe laag (cm)	Aantal wadslakjes (per dm ²)
Voetafdrukdiepte (cm) ⁴	Aantal alikruiken (per m ²)
	Aantal wadpieren (per m ²)

Bodemwater- en sedimentmonsters

Bodemwater werd bemonsterd met behulp van brede keramische cups (lysimetercups) van 5,5 cm, die ca. 2 cm onder het sedimentoppervlak werden geplaatst. Per subplot werden drie lysimetercups ingezet en door vacuüm zuigen m.b.v. een 50 ml spuit werd bodemwater aan de bodem onttrokken. De lysimetercups werden eenmaal doorgespoeld. Uit het monster werd een TIC-monster genomen met behulp van 1 ml spuitjes. Per subplot (dus drie lysimetercups) werden de bodemwatermonsters bij elkaar gedaan in een 100 ml polyethyleenpotje. Per subplot werden drie sedimentmonsters genomen van 2,2 cm doorsnee en 8 cm diepte. Deze werden gemengd.

De pH van het bodemwater werd gemeten binnen 5 uur na monsternamen. Daarna werd de pH van het bodemwater omlaag gebracht met citroenzuur zodat precipitatie van metalen voorkomen werd (0,4 ml citroenzuur per 100 ml monster). Alle monsters werden koud naar het laboratorium vervoerd en gedurende 3 weken in de koelcel bij 4 °C bewaard. Daarna werden ze ingevroren bij -20 °C, zodat de analyse nog een aantal weken uitgesteld kon worden. De sedimentmonsters zijn direct ingevroren. De TIC-monsters werden bewaard bij 4 °C.

Analyses

NH₄, NO₃, PO₄ en Cl gehalten in het bodemwater werden colorimetrisch gemeten met een Technicon AAII systeem volgens respectievelijk de salicylaatmethode (Kempers & Zweers 1986), de hydrazinesulfaatmethode (Grasshoff et al. 1983), de ammoniummolybdaat met ascorbinezuurmethode (Henriksen 1965) en de mercuriothiocynaat, ofwel de ferriammoniumsulfaatmethode (O'Brien 1962). Saliniteit werd berekend volgens Stumm & Morgan (1981). K en Na zijn bepaald m.b.v. vlamfotometrie. Totaal P,

⁴ Een veldmethode om de sedimentsamenstelling te schatten is de voetafdrukdiepte (Sindowski 1973, Dijkema 1991).

totaal S, Mg, Ca, Fe, Si, Mn, Zn en Al werden gemeten met een Inductively Coupled Plasma spectrofotometer (ICP). TIC werd bepaald met behulp van een Horiba Pir-2000 IC-analysator. Organisch stofgehalte van het sediment werd bepaald m.b.v. de gloeiverliesmethode (bij 500°C)⁵ en de korrelgrootteanalyse van het gevriesdroogde sediment werd uitgevoerd met behulp van een Malvern Particle Sizer, type 3600 E (User Manual version 6.0 and 6.2, 1987).

Statistische verwerking

Alle parameterwaarden waren lognormaal verdeeld, behalve de pH en de parameters die werden uitgedrukt als %. Als centrale maat werd het gemiddelde (bij normaal verdeelde parameters), of het teruggetransformeerde gemiddelde van de loggetransformeerde waarden (bij lognormaal verdeelde parameters) gebruikt. Als maat voor de spreiding werd de 'standard error of the mean' (stdm) gebruikt, die bij lognormaal verdeelde parameters werd berekend volgens Mood et al. (1974). Verschillen tussen de behandelingen zijn getoetst met variantie-analyse (ANOVA) met behulp van de procedure GLM (SAS 1989), waarbij rekening is gehouden met het split-plot⁶ karakter van de proefopzet. De plots van 10x10m gelden als experimentele en statistische eenheid. Alle parameters die in 1x1m subplots binnen deze 10x10m plots zijn gemeten en geschat, werden gemiddeld per plot. Sedimentmonsters werden gemengd per plot.

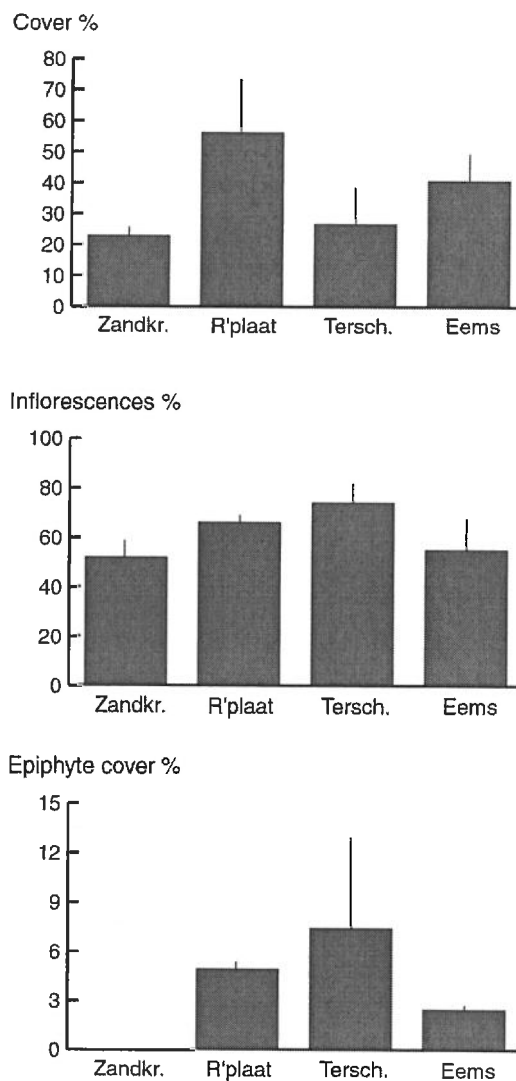
⁵ Het bij 60°C gedurende 48 uur gedroogde monster wordt gewogen, gedurende 4 uur bij 500°C gegloeid in een oven, en vervolgens na afkoeling weer gewogen. Het procentuele gewichtsverlies is een maat voor het organisch stofgehalte.

⁶ Het is een split-plot proef omdat de factor begroeiing (begroeid vs. onbegroeid) varieert BINNEN de locaties (zeegrasvelden). Locatie is dan de 'main plot factor', en begroeiing is de 'subplot factor' (zie bijvoorbeeld Freund & Littell 1985).

RESULTATEN

Proefopzet

Het onderzoek was opgezet met de verwachting dat de begroeide en onbegroeide delen van de zeegrasvelden niet met elkaar zouden verschillen wat betreft de aanwezigheid van een (permanent) laagje water, noch in de waterkwaliteit van het bovenstaand water, zie 'Inleiding'. Het bleek dat de waterfilm (% bedekking door water) en de hoogte van het bovenstaand water bij laagwater inderdaad niet verschilde tussen begroeide en onbegroeide delen (Tabel 4). Ook de waterkwaliteit van het bovenstaand water op het moment van monstereen gaf geen verschil te zien tussen begroeide en onbegroeide delen van de zeegrasvelden (ongepubliceerde resultaten).



Figuur 2. Groot zeegrasbedekking, aantal bloeiwijzen en epifytenbedekking van de vier onderzochte Grootzeegrasvelden Zandkreek, Roggenplaat, Terschelling (de Plaat) en Eems.

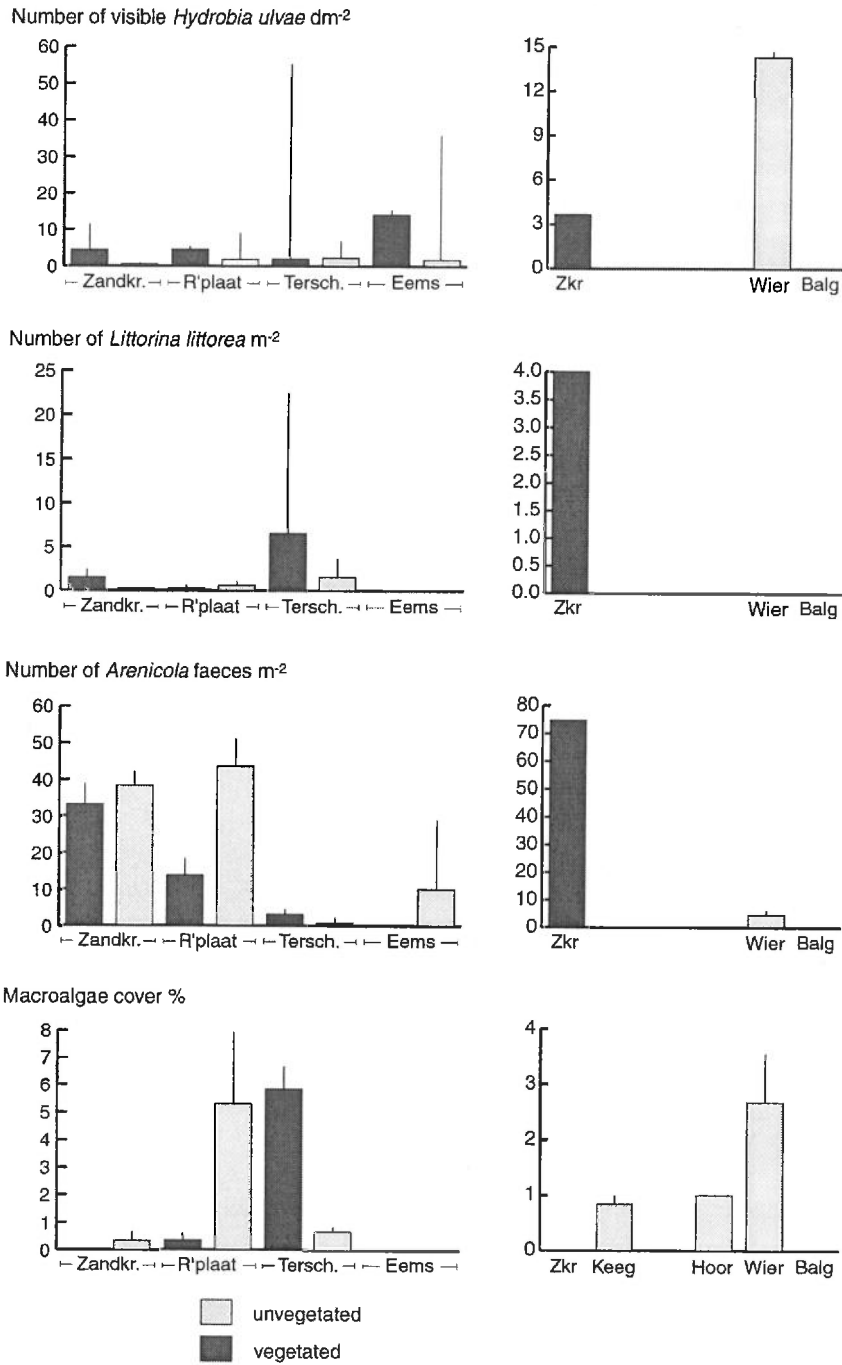
Vier Groot zeegrasvelden

De aanwezigheid van zeegras blijkt sterk gecorreleerd te zijn met een lagere saliniteit en het hiermee gecorreleerde Na-gehalte van het bodemwater. De saliniteit van het bodemwater in de begroeide plekken is gemiddeld over de vier zeegrasvelden 26,7‰ (stdm 6,8), terwijl dit op onbegroeide delen 37,0‰ (stdm 9,1) is. Deze correlatie geldt in mindere mate ook voor Ca en Mg. Het Si gehalte van het bodemwater is juist wat hoger in het zeegrasveld dan erbuiten. Tenslotte is het aantal alikruiken beduidend hoger in zeegrasvelden dan erbuiten (Figuur 3, 6 en 7, Tabel 4).

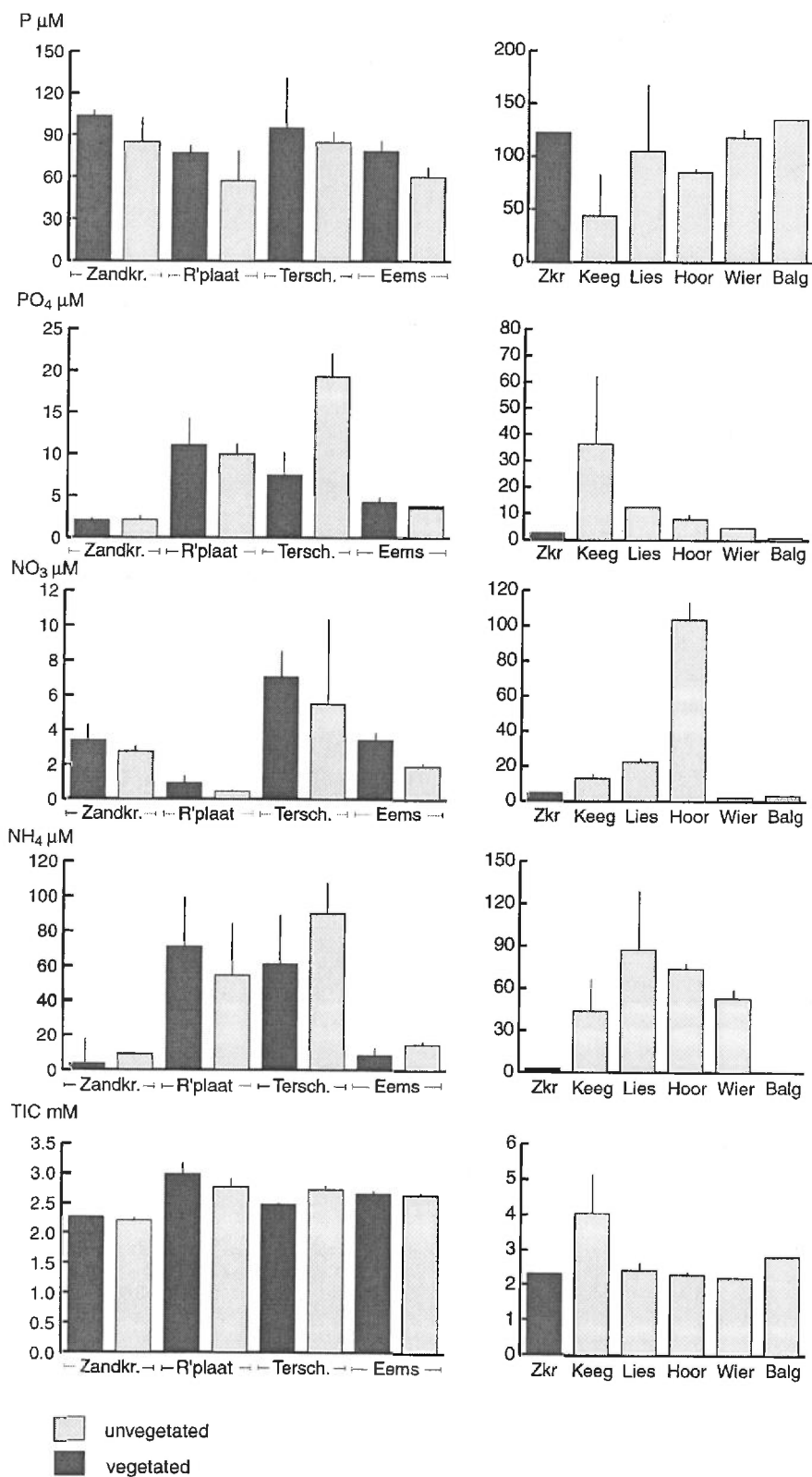
Tabel 4. Split-plot ANOVA toets van de karakteristieken van vier zeegrasvelden. Loc=locatie (Zandkreek, Roggenplaat, Terschelling en Eems), Zeegras=met vs. zonder zeegras, en hun interactie Loc*zeegr. * $0,01 \leq p < 0,05$; ** $0,001 \leq p < 0,01$; *** $p < 0,001$; n.v.t. niet van toepassing; overige niet significant.

Parameter	Loc	Zee-gras	Loc* Zeegr		Loc	Zee-gras	Loc* Zeegr
P				pH	***		
PO ₄	***			% Organisch materiaal	***		*
NO ₃	**			Mediane korrelgrootte	***		
NH ₄	***			% fractie < 50 µ	***		
Total Inorganic C	***			% fractie < 16 µ	***		
Saliniteit	*	***		Aantal wadslakjes			
K	**			Aantal alikruiken		**	**
Na	*	***		Aantal wadpierhopen	***		*
Ca	***	*	*	% Macro-algenbedekking	*		**
Mg	***	*		Voetafdrukdiepte	***		
S	***		*	Cm aeroob sediment	**	*	
Fe	*	*		% waterbedekking			
Mn	***	*		Cm bovenstaand water			
Zn		*		% Zeegrasbedekking		n.v.t.	n.v.t.
Al	**			% Bloeiende planten		n.v.t.	n.v.t.
Si	***	*	*	% Epifytenbedekking		n.v.t.	n.v.t.

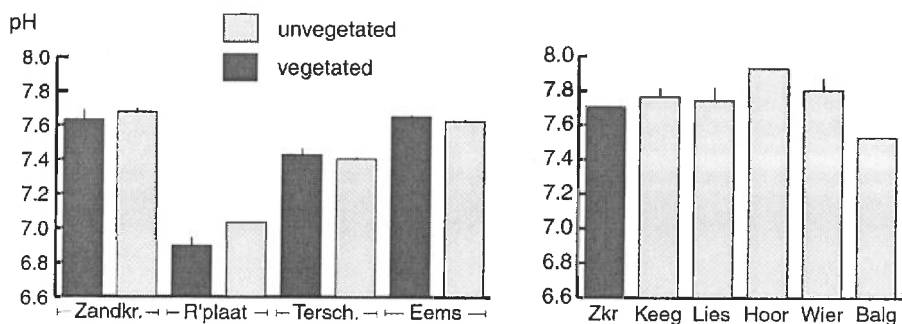
De verschillen in sedimentkarakteristieken en de andere onderzochte veldkenmerken tussen de vier zeegraslocaties zijn groot (Figuren 3-9, tabel 4). De bodemwatersamenstelling op de locaties Zandkreek, Roggenplaat, Terschelling (de Plaat) en Eems verschilt m.n. in gehalten van PO₄, NO₃, NH₄, TIC, pH, K, Na, Ca, Mg, S, Mn, Al en Si ($p < 0,01$). De korrelgroottes (ook voetafdrukdiepte), het organisch stofgehalte en de dikte van de aerobe laag verschillen sterk van locatie tot locatie ($p < 0,01$).



Figuur 3. Fauna- en florakenmerken van de Groot zeegrassvelden en vijf overige locaties: het aantal wadslakjes (*Hydrobia* species), alikruiken (*Littorina* species), wadpierhoopjes (*Arenicola faeces*) en de macro-algenbedekking. Links: vergelijking van begroeide (vegetated) en onbegroeide (unvegetated) plots in Zandkreek, Roggenplaat, Terschelling (de Plaat), Eems. Rechts overige locaties: Klein zeegrassveld in de Zandkreek (Zkr), Keeg, Lies, Hoorn, Wierschuur, Balgzand. Gemiddelden of geometrische gemiddelden en standard error of the mean zijn gepresenteerd.



Figuur 4. Nutriëntensamenstelling van het bodemwater in vier Groot zeegrasvelden en vijf overige locaties. Locatieaanduidingen, zie Figuur 3. Geometrische gemiddelden en standard error of the mean zijn gepresenteerd.



Figuur 5. pH van het bodemwater in vier Groot zeegrasvelden en vijf overige locaties. Locatieaanduidingen, zie Figuur 3. Gemiddelden en standard error of the mean zijn gepresenteerd.

Het Eemsbodewater heeft het laagste ionengehalte: saliniteit, K, Na, Ca en Mg zijn er het laagst ($p < 0,05$). De korrelgroottes van het sediment en voetafdrukdiepte zijn verschillend ($p < 0,05$) voor ieder van de locaties: Zandkreek > Eems > Roggenplaat > Terschelling. Negatief hiermee gecorreleerd zijn het organisch stofgehalte van het sediment, en het NH_4 , PO_4 en Si gehalte van het bodemwater.

Tabel 5. Correlatie (positief +, of negatief -) van de verschillende factoren met de mate van meerjarigheid (zie 'Methode') van de zeegrasvelden⁷. +/- $0,01 \leq p < 0,05$; +/+/- $0,001 \leq p < 0,01$; +++/+/- $p < 0,001$; n.v.t. niet van toepassing; overige niet significant.

	Begroeide delen	Onbegroeide delen
Total Inorganic C	+++	++
S	--	-
pH	--	--
Si	++	
Fe		--
NO_3	-	-
PO_4	+	
Zn	-	-
Al	-	-
Fractie < 50 μ	+	
Bedekking	-	n.v.t.

⁷ Indien ook in onbegroeide delen correlaties met meerjarigheid bestaan, zou dit een aanwijzing kunnen zijn dat de betreffende factor ook buiten het begroeide deel beïnvloed zou kunnen worden door meerjarigheid, bijvoorbeeld doordat export van organisch materiaal optreedt vanuit het begroeide deel van het zeegrasveld naar de tussen- en nabijgelegen onbegroeide plekken (Koch 1999). Om deze reden zijn zowel de correlaties in begroeide als in onbegroeide delen van de zeegrasvelden gepresenteerd in deze tabel.

De macro-algenbedekking is op de meeste plekken laag (<1%), alleen op onbegroeide delen van Roggenplaat, en begroeide delen op de Plaat op Terschelling loopt dit op tot ca. 5% (Figuur 3, Tabel 4). In het algemeen zijn macro-algenbedekkingen maximaal vanaf juni/juli, en verminderen met het dalen van de temperatuur in de loop van de herfst (pers. obs.).

Tabel 6. Verschillen in bodemwatersamenstelling tussen locaties zonder Groot zee gras in de buurt, en de Groot zee grasvelden bij Zandkreek, Roggenplaat, Terschelling en Eems. De vergelijking wordt gemaakt met begroeide ('met') en onbegroeide ('zon') plots in de zee grasvelden⁸. Alleen parameters die significant verschillen in een van de locaties worden weergegeven. Boven: locaties langs de zuidkust van Terschelling, Onder: Balgzand en het Klein zee grasveld in de Zandkreek. N.B. Sedimentkarakteristieken zijn niet gemeten in Keeg, Lies en Hoorn. * 0,01≤p<0,05; ** 0,001≤p<0,01; *** p<0,001. Overige niet significant.

	Keeg		Lies		Hoorn		Wierschuur		
	zee gras	met	Zon	met	zon	met	zon	met	zon
P		*							*
PO ₄		***	**						
NO ₃		**	**	**	**	***	***		
TIC		**	**					*	*
Na			*						
Ca									***
Mg								*	**
S								*	***
Mn									*
Fe		*							*
Si						*			
Zn		**							*
pH						*	*		*
Bovenst.water		***	***	***	***				
Waterbedekking		*	*					*	*

Wordt vervolgd

⁸ Er is gekozen om de locaties zonder zee gras in de nabijheid te vergelijken met zowel de begroeide als de onbegroeide delen van de Groot zee grasvelden. Om de geschiktheid van een locatie voor Groot zee gras te bepalen is het namelijk nodig om te vergelijken met *begroeide* delen van het Groot zee grasveld indien de betreffende factoren *voorwaarden* zijn voor de aanwezigheid van Groot zee gras, terwijl vergelijking met *onbegroeide* delen nodig is indien de betreffende factoren het *gevolg* zijn van de aanwezigheid van Groot zee gras. Het onderhavige onderzoek kan hierover geen uitsluitsel geven, zodat beide gepresenteerd worden.

(vervolg Tabel 6)

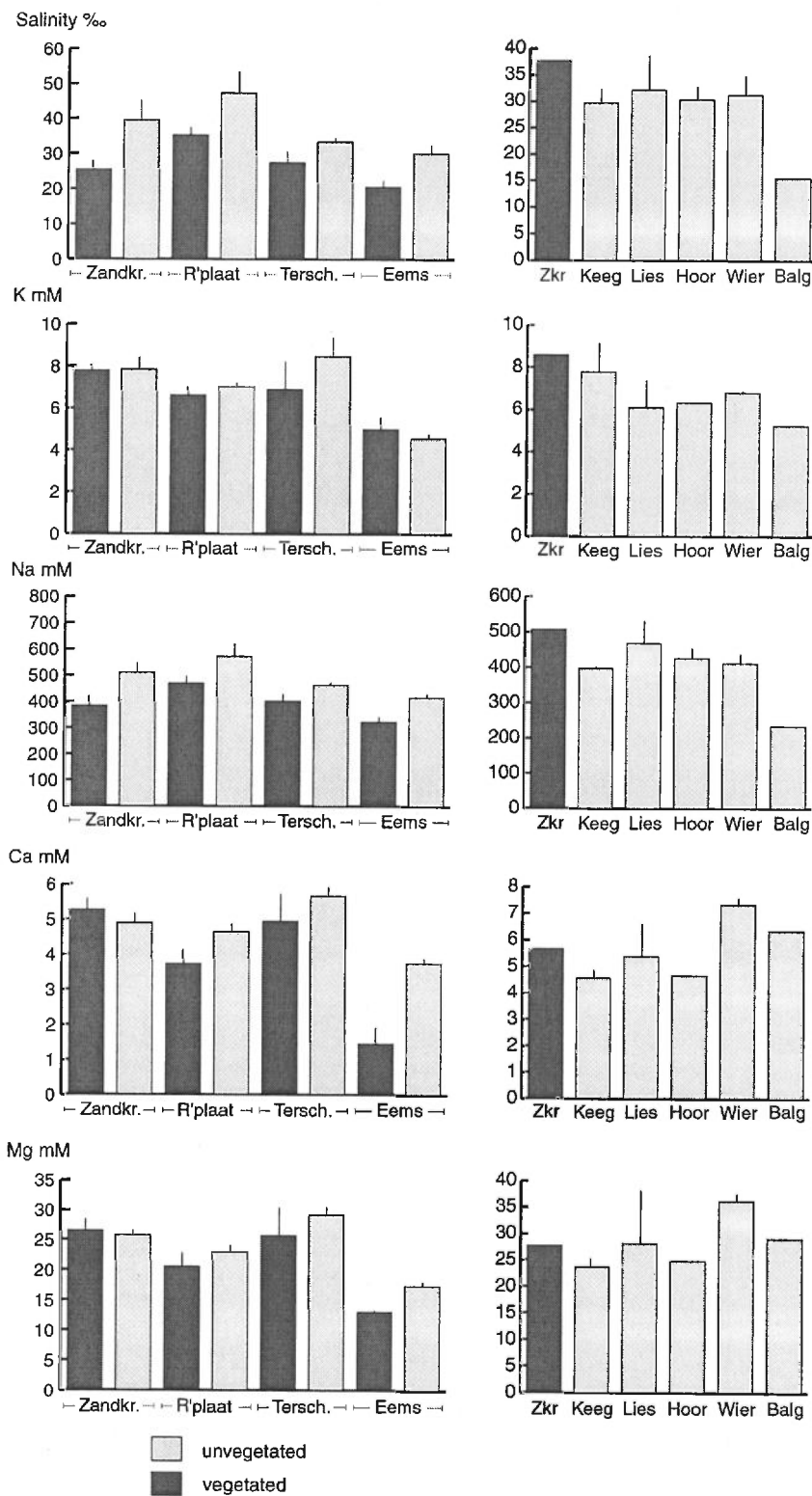
	Zandkr. Klein z.		Balgzand	
	zeegras	met zon	met	zon
NH ₄				**
saliniteit				**
Na			*	***
Mn				*
Fe				*
Al		*		
Waterbedekking		*		

Voortplantingstrategie en bodemwaterkenmerken

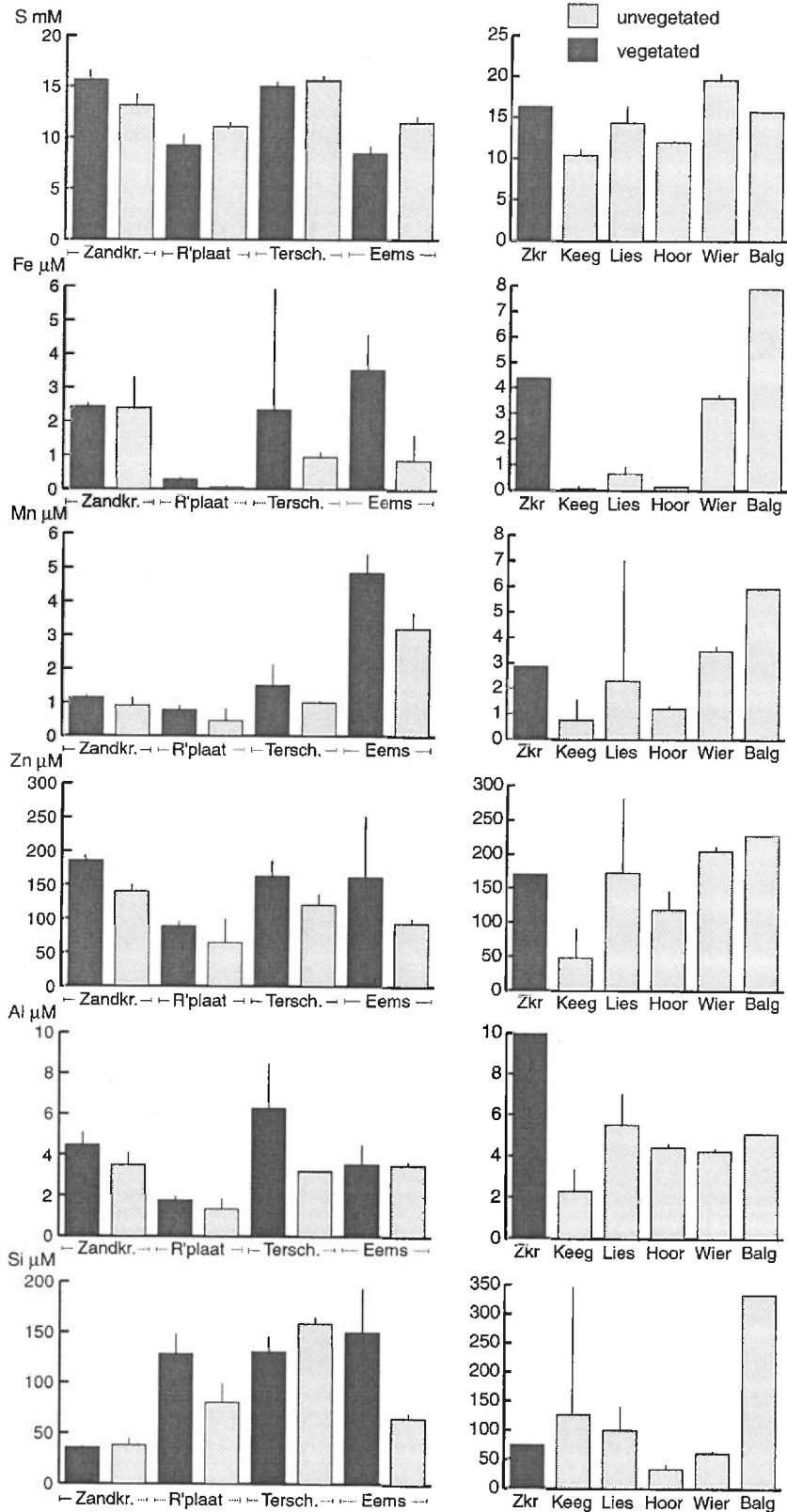
De mate waarin een zeegrasveld meerjarig is (Roggenplaat meerjarig, Eems grotendeels meerjarig, Terschelling overwegend eenjarig, Zandkreek volledig eenjarig, zie 'Gebiedsomschrijving'), blijkt sterk gecorreleerd te zijn met het anorganisch koolstofgehalte (TIC) in het bodemwater. Dit geldt ook voor de onbegroeide plekken in de nabijheid van deze velden (Tabel 5, Figuur 10). Ook blijkt Si positief gecorreleerd te zijn met meerjarigheid, en pH en zwavelgehalte zijn negatief gecorreleerd, evenals het Fe-gehalte op onbegroeide plekken. Zwakkere correlaties zijn er met NO₃, PO₄, Zn, Al en de fractie < 50 µm. De zeegrasbedekking is positief gecorreleerd met meerjarigheid.

Locaties zonder zeegras in de nabijheid

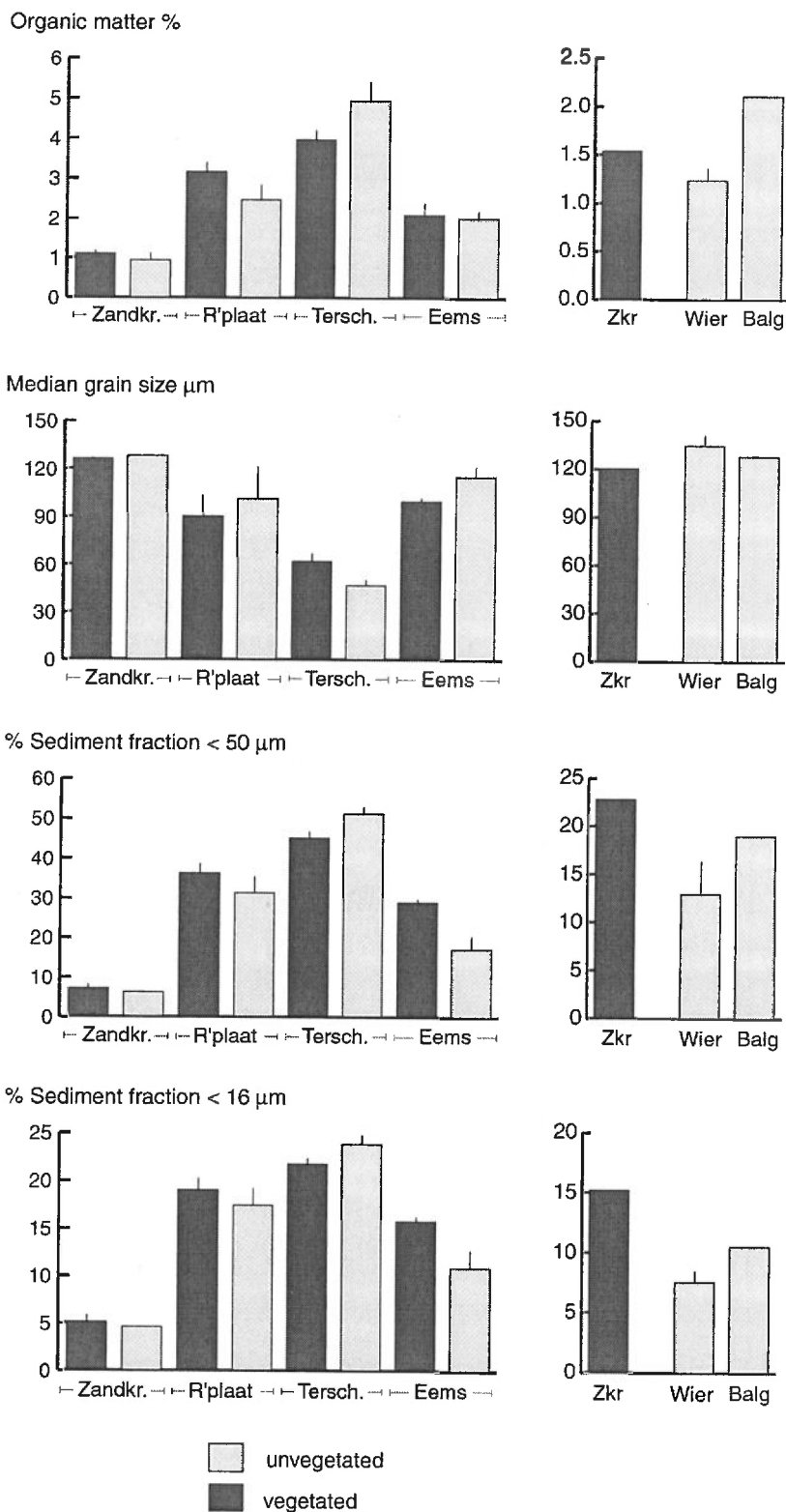
Het nitraatgehalte van het bodemwater in Keeg, Lies en Hoorn is gemiddeld veel hoger dan het nitraatgehalte van het bodemwater in zowel begroeide als onbegroeide delen in zeegrasvelden (Figuur 4, Tabel 6). Bodemwater in Keeg heeft voorts hogere fosfaatgehaltenes, lagere zinkgehaltenes en hogere TIC gehaltenes (Figuur 4 en 7, Tabel 6). Sedimentmonsters konden niet genomen worden in Keeg, Lies en Hoorn a.g.v. de hoge waterstand ten tijde van de bemonstering (Figuur 9, Tabel 6), zodat korrelgrootte en organisch stofgehalte van het sediment niet bekend zijn. De korrelgrootte zal echter niet veel afwijken van de andere locaties, omdat de diepte van de voetafdruk overeenkomt. De diepte van de voetafdruk is zeer sterk gecorreleerd met de korrelgrootte en het organisch stofgehalte op andere locaties (Figuur 11, p<0,001). Het Ca, Mg en S-gehalte in het bodemwater bij Wierschuur is hoger dan in het bodemwater van de Groot zeegrasvelden (Figuur 6 en 7, Tabel 6). Bodemwater van Balgzand heeft een lagere saliniteit (en ook Na gehalte) en een lager ammoniumgehalte dan het bodemwater op onbegroeide plekken van de Groot zeegrasvelden (Figuur 4 en 6, Tabel 6). Het sediment en de bodemwatersamenstelling van Wierschuur, Balgzand en het Klein zeegrasveld in Zandkreek wijken niet noemenswaardig af van de begroeide sedimenten en bodemwatersamenstelling van de begroeide delen van de zeegrasvelden (Figuren 3-9, Tabel 6).



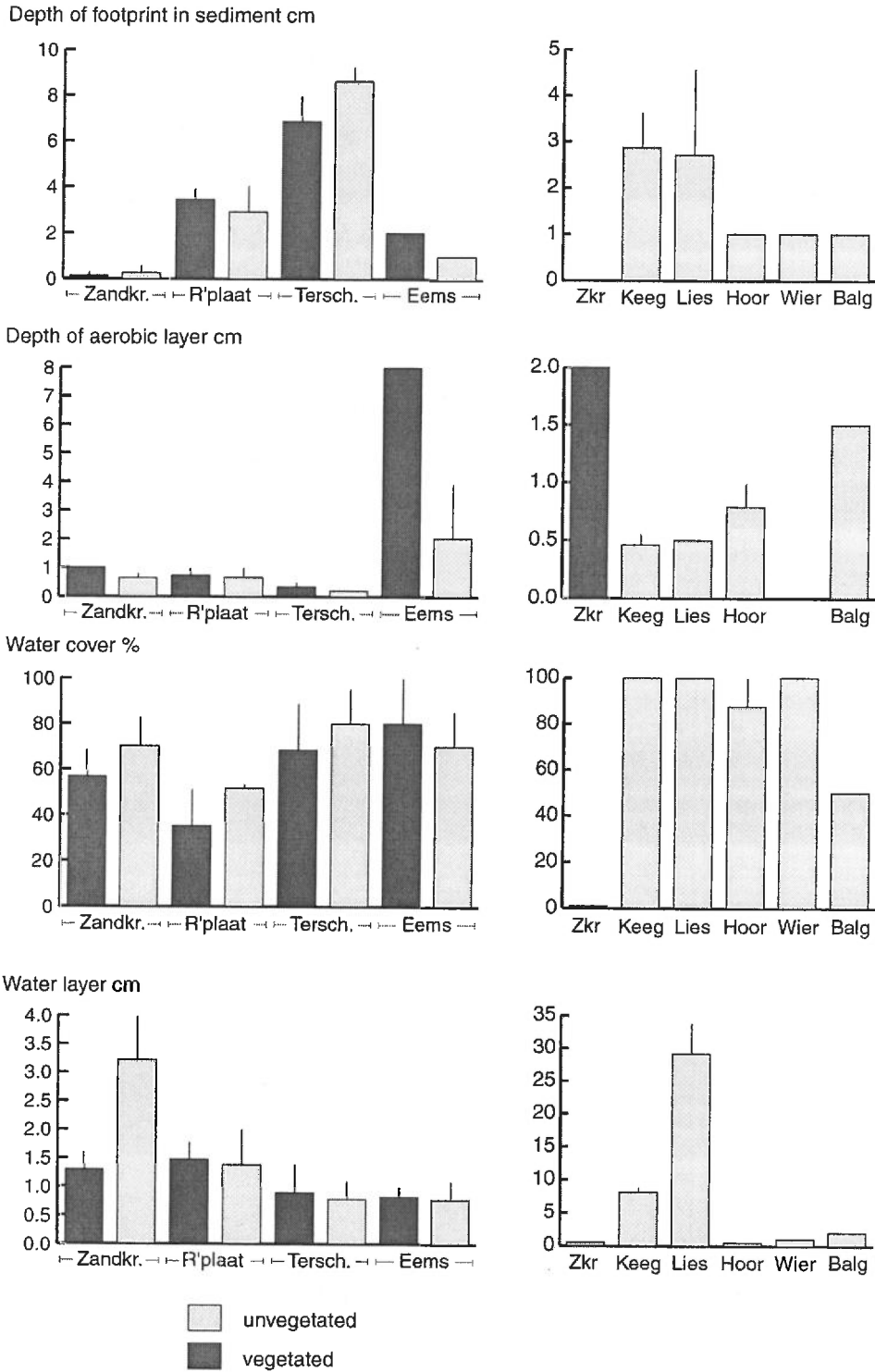
Figuur 6. Ionensamenstelling van het bodemwater in vier Groot zeegrassvelden en vijf overige locaties (overige ionen zie Figuur 7). Locatieaanduidingen, zie Figuur 3. Geometrische gemiddelden en standard error of the mean zijn gepresenteerd.



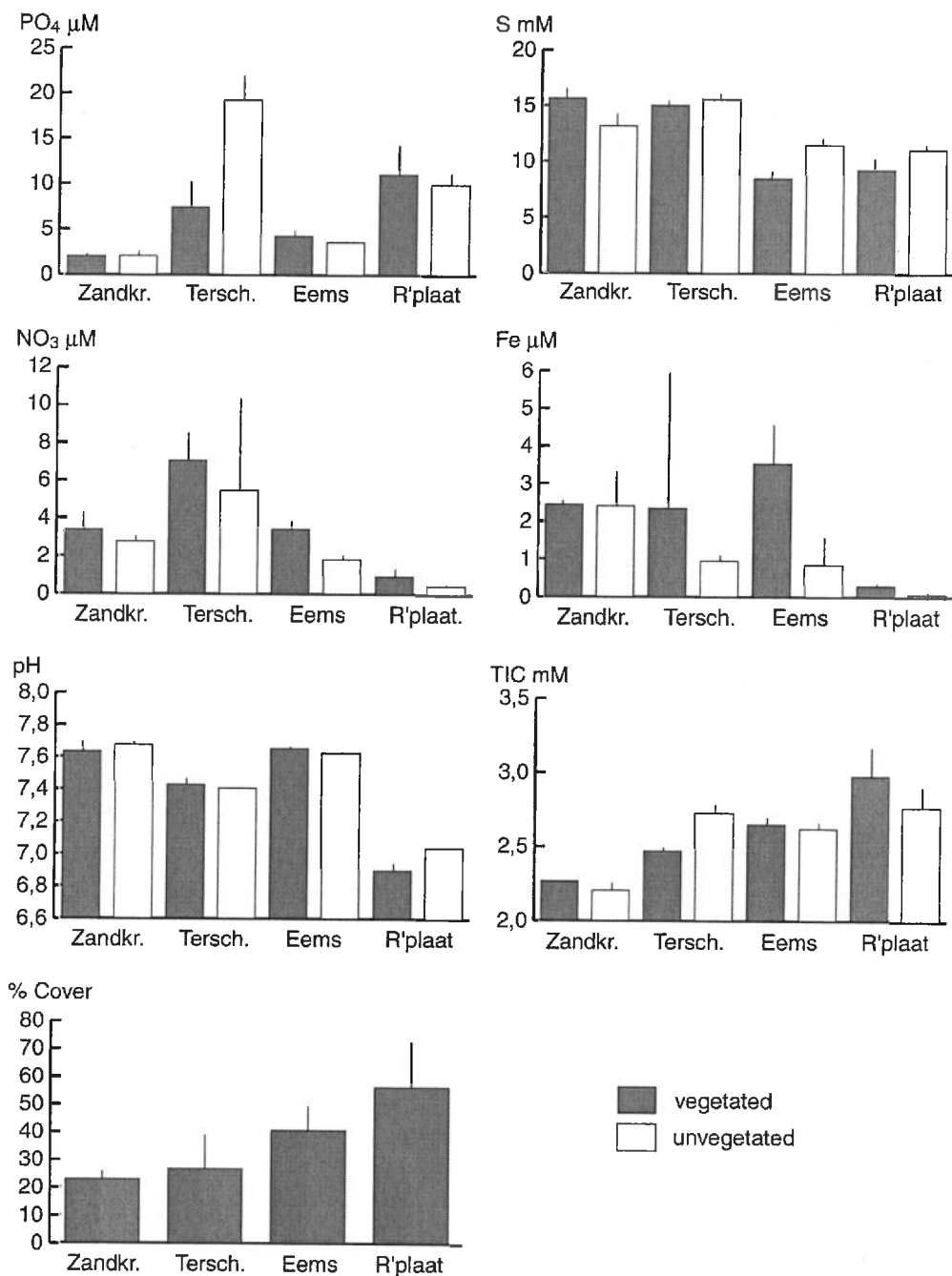
Figuur 7. Overige ionensamenstelling van het bodemwater in vier Groot zeegrasvelden en vijf overige locaties (voornaamste ionen zie Figuur 6). Locatieaanduidingen, zie Figuur 3. Geometrische gemiddelden en standard error of the mean zijn gepresenteerd.



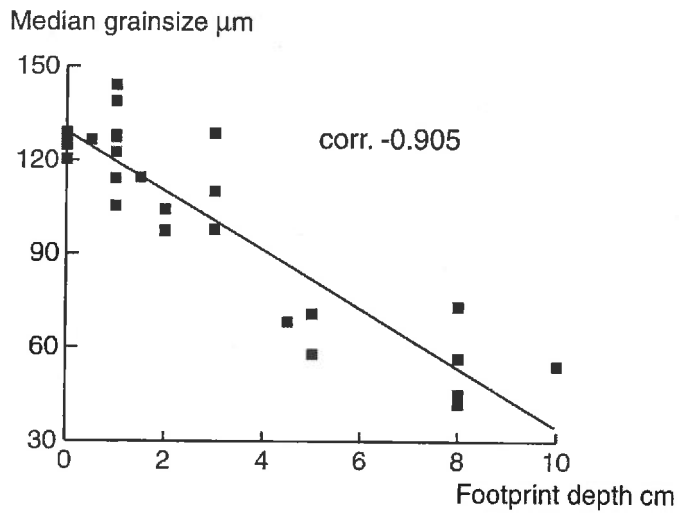
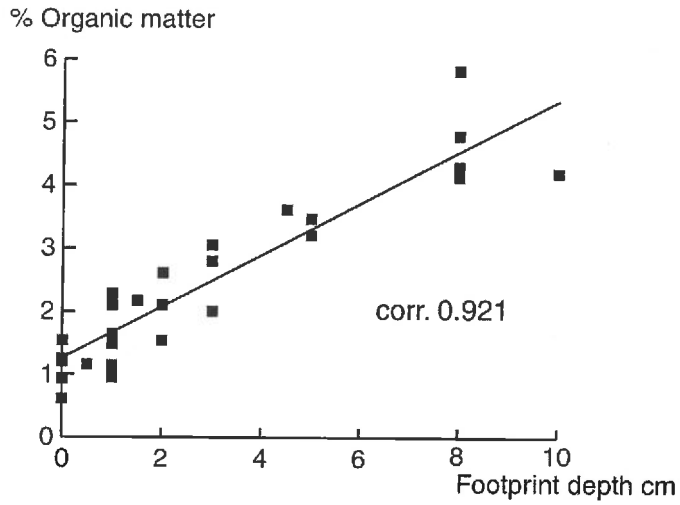
Figuur 8. Sedimentkenmerken van vier Groot zeegrasvelden en vijf overige locaties. Locatieaanduidingen, zie Figuur 3. Gemiddelden of geometrische gemiddelden en standard error of the mean zijn gepresenteerd.



Figuur 9. Algemene plotkenmerken van vier Groot zeegrasvelden en vijf overige locaties. Locatieaanduidingen, zie Figuur 3. Gemiddelden of geometrische gemiddelden en standard error of the mean zijn gepresenteerd.



Figuur 10. Overzicht van de bodemwaterfactoren die gecorreleerd zijn met de mate van meerjarigheid van de vier Groot zeegravelden en de zeegrasbedekking van de velden. De zeegravelden zijn gerangschikt van eenjarig (links) naar meerjarig (rechts). (De gegevens in deze figuur zijn eerder gepresenteerd in Figuur 2, 4, 5 en 7). Locatieaanduidingen zie Figuur 3. Gemiddelden of geometrische gemiddelden en standard error of the mean zijn gepresenteerd.



Figuur 11. Relatie tussen voetafdrukdiepte en het organisch stofgehalte en mediane korrelgrootte van het sediment. Gegevens van de vier Groot zeegrasvelden en de locaties Wierschuur en Balgzand.

DISCUSSIE

Zeegrasvelden: begroeid versus onbegroeid

De begroeide plekken in de zeegrasvelden blijken een lagere saliniteit (m.n. Na en Cl) en een iets hoger silicium gehalte in het bodemwater te hebben dan de onbegroeide plekken. Het verschil in saliniteit is aanzienlijk: 26,7‰ gemiddeld in de begroeide delen, en 37,0‰ in de onbegroeide delen. Dit kan niet worden toegeschreven aan verschillen in de tijd, aangezien de begroeide en onbegroeide plekken vrijwel gelijktijdig bemonsterd zijn per locatie. Ook kan het niet worden toegeschreven aan de aanwezigheid van plaatselijke uitstroom- of lozingspunten van zoet water, aangezien deze niet in de directe omgeving van de zeegrasvelden voorkomen, en de onbegroeide monsterpunten zodanig zijn gekozen dat ze niet alle aan één kant van een eventuele zoutgradiënt zijn gelegen.

Een lage saliniteit is gunstig voor zeegras, zowel voor de kieming (bv. Hootsmans et al. 1987 en referenties hierin) als voor de productiviteit en ontwikkeling van volwassen planten (Kamermaans et al. 1999; van Katwijk et al. 1999). De lagere saliniteit in zeegrasvelden kan twee oorzaken hebben: (1) er bestaat een mozaïekstructuur van hogere en lagere saliniteit op wadplaten, en zeegras groeit met name op de plekken met lagere saliniteit, of (2) het zeegras modificeert het sediment zodanig dat er een lagere saliniteit in het bodemvocht ontstaat. Dit laatste is ook gevonden voor mangrovemoerassen in Noord Australië, door Ridd & Sam (1996).

Ad 1. De hoge standaardafwijkingen van de saliniteit in de onbegroeide delen van Zandkreek en Roggenplaat duiden erop dat hier inderdaad sprake is van een grote plaatselijke variatie in saliniteit. Bij Terschelling (de Plaat) en Eems is dit niet het geval, maar langs de rest van de zuidkust van Terschelling wel. Een mozaïekstructuur van plekken met hoge en lagere saliniteit is voorstelbaar op plaatsen met grondwaterinvloed of plaatsen met variabele sedimenteigenschappen waarbij het regenwater in sommige sedimenttypes beter wordt vastgehouden dan in andere. Een beter vochtvasthoudend vermogen kan ook het gevolg zijn van begroeiing door diatomeeën en andere kittende organismen.

Ad 2. Na en Cl nemen in principe niet deel aan biochemische processen in de bodem zodat deze processen geen verklaring kunnen bieden voor een eventuele beïnvloeding van de saliniteit door het zeegras. Een verhoging van het sediment door het invangen van slib door zeegras⁹ zou een aanleiding kunnen zijn voor verhoogde kwel of meer opslag van regenwater. De

⁹ Het is bekend dat de aanwezigheid van zeegras een verhoging van het sediment tot gevolg kan hebben. Vooral bij Klein zeegras is dit in het veld goed waarneembaar maar bij Groot zeegras gebeurt het ook (Den Hartog en van der Velde 1970, persoonlijke observaties auteurs). Door de verhoging kan het uiteindelijk te droog worden voor Groot zeegras zodat de plant verdwijnt (den Hartog pers. Comm.). Dit effect treedt met name op bij meerjarige populaties. Groot zeegras vestigt zich meestal in depressies.

bedekking door een waterlaagje en de hoogte van de waterlaag bleek niet te verschillen tussen onbegroeide en begroeide plekken, en ook is het sediment op begroeide plekken niet fijner en organischer dan op onbegroeide plekken. Daarom is er waarschijnlijk geen sprake van een verhoging van het sediment op begroeide plekken, en is ook deze verklaring onwaarschijnlijk. Een derde mogelijkheid is dat de planten de bodem afdekken en daarmee verdamping tegengaan. Deze verklaring wordt ook geopperd door Ridd & Sam (1996) voor de veel lagere saliniteit in het bodemwater van mangrovemoerassen in vergelijking met naastgelegen platen.

Om uitsluitel te geven over de verklaring van de lagere saliniteit in de begroeide delen van zeegrasvelden, zou men moeten testen of dit verschil in saliniteit ook optreedt in het vroege voorjaar, wanneer er vrijwel geen bovengrondse delen zijn. Zo nee, dan ligt het waarschijnlijk aan het tegengaan van verdamping. Zo ja, dan wordt verklaring 1 aannemelijk, en moet de oorzaak van de variaties in saliniteit worden onderzocht. Zolang hierover nog geen zekerheid over is, dienen locale verschillen in saliniteit in kaart gebracht te worden voorafgaand aan transplantaties. Transplantaties moeten dan alleen worden uitgevoerd op plekken met een relatief lage saliniteit.

Tenslotte is het aantal alikruiken beduidend hoger in het zeegrasveld, hetgeen verklaard kan worden door de aanwezigheid van epifyten op de zeegrasbladeren. Er is geen correlatie tussen grazers en epifyten, waarschijnlijk omdat de correlatie plaatselijk zowel negatief (de grazers zijn klaar met grazen) als positief (ze moeten nog beginnen) kan zijn.

Voortplantingstrategie: eenjarig of meerjarig.

Als de zeegrasvelden gerangschikt worden op volgorde van voortplantingstrategie: Roggenplaat meerjarig, Eems grotendeels meerjarig, Terschelling grotendeels eenjarig en Zandkreek eenjarig, blijkt dat hoe groter het aandeel meerjarige planten in een populatie, hoe meer anorganisch koolstof (TIC), een lagere pH, en minder totaal S en Fe (mogelijk als gevolg van neerslag van FeS, i.v.m. sulfaatreductie, bv. Schlesinger 1997) in het bodemwater wordt gemeten. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een grotere hoeveelheid vers organisch materiaal in meerjarige zeegrasvelden in vergelijking met eenjarige zeegrasvelden, afkomstig van (1) afgestorven zeegras met hun epifyten (niet alleen is de bedekking hoger, zoals blijkt uit deze studie, maar het seizoen duurt ook langer) en (2) doordat een zeegrasveld met een grotere bladdichtheid meer gesuspendeerd materiaal opvangt (Gacia et al. 1999). Er is geen verhoogd organisch stofgehalte gevonden in het sediment van meerjarige populaties, maar het aanwezige organisch materiaal is waarschijnlijk beter afbreekbaar waardoor de turnover hoger wordt. Hoe meer afbreekbaar organisch materiaal, hoe sterker de sulfaatreductie, hetgeen de hogere TIC en lagere pH, S en Fe-gehalten verklaart (Schlesinger 1997). Deze samenhang, d.i. hoe dichter het zeegrasveld, hoe sterker de sulfaatreductie (terwijl het totale organisch stofgehalte niet verhoogd is,

vermoedelijk omdat de turnover hoger is), werd ook gevonden in Deense Groot zeegrasvelden met verschillende dichtheden (Holmer & Nielsen 1997).

De samenhang tussen deze factoren en de meerjarigheid van de zeegrasvelden geldt in grote lijnen voor zowel onbegroeide als begroeide plekken, zodat het aannemelijk is dat de begroeide delen van het zeegrasveld ook de tussen- en nabijgelegen onbegroeide delen van de wadplaat beïnvloedt, bijvoorbeeld door export van organisch materiaal (Koch 1999).

Daarnaast is het siliciumgehalte positief gecorreleerd met meerjarigheid. Dit is waarschijnlijk ook het gevolg van het voortdurend invangen van fijn slib door de zeegrasplanten. Naarmate er meer zeegrasblad per m² is wordt de hoeveelheid ingevangen gesuspendeerd materiaal groter (Gacia et al. 1999). Het verband tussen siliciumgehalte en de invang van fijn materiaal wordt ondersteund door de sterke correlaties tussen silicium en fosfaat, ammonium, anorganisch koolstof, korrelgrootte (negatief), en organisch stofgehalte.

In het voorgaande bleek dat silicium ook positief gecorreleerd is met de aanwezigheid van zeegras in vergelijking met onbegroeide delen van de zeegrasvelden. Ook dit kan verklaard worden door een grotere invang van fijn slib en organisch materiaal door zeegras. Een positieve correlatie tussen de aanwezigheid van zeegras en silicium werd eerder gevonden door Herman et al. (1996). Onze studie wijst uit dat dit mogelijk het gevolg is van het invangen van fijn slib door zeegras.

Verschillen tussen de vier zeegrasvelden

De vier onderzochte Nederlandse zeegrasvelden in de Oosterschelde en de Waddenzee verschillen in bodemwatersamenstelling en andere sedimentkenmerken van elkaar. Zo varieert de mediane korrelgrootte van 45 tot 145 µm en het organisch stofgehalte van minder dan 1% tot 6%. Deze parameters zijn zeer sterk gecorreleerd met het fosfaat, ammonium en siliciumgehalte: hoe organischer en fijner het sediment, hoe meer fosfaat, ammonium en silicium in het bodemwater. Dit is waarschijnlijk het gevolg van mineralisatieprocessen, die vooral ten tijde van deze studie, de nazomer, sterk zijn: de temperatuur is nog hoog, maar de hoeveelheid licht neemt af, en veel algen zijn reeds afgestorven, zodat voldoende vers organisch materiaal voorhanden is.

Daarnaast is er een ionengradiënt in het bodemwater van de onderzochte locaties. Met name het bodemwater in Eems heeft lagere Ca, Mg, K, S, Cl, en Na gehalten dan de overige locaties. De ionenconcentraties in het bodemwater variëren in de tijd (Oenema 1988) zodat de verschillen tussen de locaties met een korreltje zout moeten worden genomen. De gevonden verschillen komen echter in grote lijnen wel overeen met wat er over deze locaties bekend is (van Lent & Verschuure 1994, RWS ongepubliceerde data).

Overige locaties

De locaties Keeg, Lies en Hoorn wijken af van de zeegrasvelden door het hogere nitraatgehalte van het bodemwater. De nitraatgehaltenes in het bodemwater zijn veel hoger dan de nitraatgehaltenes in de waterlaag. De nitraatopnamecapaciteit van zeegraswortels is zeer laag (Roth & Pregnall 1988, Hemminga et al. 1994) en de benodigde aanmaak van nitraatreductase in de plantenwortels wordt waarschijnlijk geremd door de aanwezigheid van ammonium (Zimmerman et al. 1987). Het is daarom niet aannemelijk dat de hoge nitraatgehaltenes in het bodemwater een probleem vormen voor Groot zeegras.

Het bodemwater bij Keeg heeft voorts een hoog fosfaat- en anorganisch koolstofgehalte en bijzonder laag zinkgehalte in vergelijking met de andere locaties. De combinatie van verhoogd stikstof en verhoogd fosfaatgehalte in de bodem kan een negatief effect op Groot zeegras hebben als hierdoor ook de waterlaag verrijkt wordt, en algenwoekering kan optreden, waardoor zeegras overschaduw wordt (bijvoorbeeld den Hartog 1994, Short et al. 1995, Taylor et al. 1995). Er zijn, voor zover wij weten, geen directe negatieve effecten van fosfaat in het bodemwater op Groot zeegras. Een verhoogd anorganisch koolstofgehalte heeft óf geen invloed óf een positieve invloed (koolstof wordt in geringe mate ook door de wortels opgenomen, Wetzel & Penhale 1979, Penhale & Thayer 1980) en over de relatie tussen zink en Groot zeegras is, voor zover wij weten, weinig bekend. Zolang niet duidelijk is waardoor deze afwijkingen veroorzaakt zijn, is het niet aan te bevelen om op het wad bij Keeg transplantaties uit te voeren.

De locaties Wierschuur, Balgzand en het klein zeegrasveld in Zandkreek wijken nauwelijks af van de Groot zeegrasvelden. Wierschuur en Balgzand zijn dus wat betreft de onderzochte bodemwater- en sedimentkarakteristieken geschikt voor Groot zeegrasaanplant. Uit de overeenkomst in de bodemwater- en sedimentkarakteristieken tussen Groot en Klein zeegrasvelden blijkt dat deze dezelfde standplaatsvoorwaarden hebben en/of hetzelfde effect op hun omgeving hebben.

CONCLUSIES

De begroeide plekken in de Groot zeegrasvelden blijken stelselmatig een lagere bodemwatersaliniteit te hebben dan de onbegroeide plekken. Twee verklaringen hiervoor zijn denkbaar: het zeegras beschermt de bodem tegen verdamping of er zijn op een wadplaat plekken met hogere en lagere saliniteit, waarbij het zeegras bij voorkeur groeit op de plekken met lagere saliniteit. Het verband tussen saliniteit en de aanwezigheid van zeegras dient nader onderzocht te worden, om de eventuele noodzaak van selectie op lokale saliniteitsverschillen aan te tonen. Hiertoe zou men saliniteiten kunnen meten in het vroege voorjaar, wanneer er vrijwel geen bovengronds zeegras is (zie 'Discussie').

Meerjarigheid van de populatie is gecorreleerd met een aantal factoren die in verband lijken te staan met een verhoogde sulfaatreductie in het sediment. De verhoogde sulfaatreductie is mogelijk het gevolg van een grotere hoeveelheid gemakkelijker afbreekbaar organisch materiaal in meerjarige velden.

Daarnaast blijken de vier onderzochte Groot zeegrasvelden sterk van elkaar te verschillen in bodemwatersamenstelling en sedimentkenmerken.

Kennelijk kan Groot zeegras op een grote variatie aan sedimenttypen voorkomen.

Implicaties voor herintroductie

Bij herintroductie van Groot zeegras dienen de locaties zorgvuldig te worden geselecteerd. Niet alleen op regionale schaal (zie van Katwijk et al. 2000, de Jonge et al. 2000), maar ook op lokale schaal, waarbij niet alleen beschutting en de aanwezigheid van een permanent laagje water belangrijk zijn (van Katwijk & Wijgergangs 2000), maar uit de onderhavige studie blijkt dat het ook aanbeveling verdient om locaties te selecteren met een (plaatselijk) verlaagde saliniteit in het bodemwater.

Wierschuur en Balgzand zijn wat betreft bodemwater- en sedimentkenmerken geschikt voor zeegrasaanplant. De locaties Lies en Hoorn in Terschelling hebben een hoog nitraatgehalte in de bodem, maar dit vormt naar verwachting geen probleem voor Groot zeegras. Nader onderzoek naar sedimentkenmerken van Lies, Hoorn en Keeg is wenselijk. De locatie Keeg wijkt sterk af qua bodemwatersamenstelling van de overige locaties en wordt daarom vooralsnog niet geschikt geacht voor Groot zeegrasaanplant. Dit wordt ondersteund door de waarneming dat hoewel dit gebied bereikbaar is voor zaaddragende stengels die van de populatie op de Plaat wegdrijven, er zich nooit een veld gevestigd heeft.

LITERATUURREFERENTIES

- Anonymous (1989) Water voor nu en later. Derde Nota Waterhuishouding. Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Tweede Kamer 1988-1989 21250, Den Haag
- Beardall CH, Dryden RC, Holzer TJ (1988) The Suffolk Estuaries. The Suffolk Wildlife Trust, Saxmundham, Suffolk
- Bellemakers M.J.S, de Jong DJ (1995) De verspreidingsdynamiek van zeegras in de Oosterschelde: een beschrijving van de effecten van de Deltawerken. NIOO/CEMO Yerseke/ RWS RIKZ, Manuscript Middelburg
- Boley KE (1988) Morphodynamische Analyse der Wattsüdseite Hallig Hooge. Geographisches Institut der Justus Liebig Universität Giessen, Giessen
- de Jong DJ, de Jonge VN (1989) Zeegras *Zostera marina* L., *Zostera noltii* Hornem.. Een ecologisch profiel en het voorkomen in Nederland. Nota GWAO-89-1003 Rijkswaterstaat,
- de Jong DJ (2000) Werkdocument zeegraskarteringen Waddenzee. RWS/RIKZ, Middelburg
- de Jonge VN (1990) Schade door kokkelvisserij en mosselzaadvisserij aan restanten van zeegrasvoorkomens in Waddenzee en Eems estuarium. Notitie GWWS-90.12062 Rijkswaterstaat Tidal Waters Division, The Netherlands
- 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 (1992) Tidal flow and residual flow in the Ems estuary. Est Coast Shelf Sci 34:1-22
- de Jonge VN (1995) Wind driven tidal and annual gross transports of mud and microphytobenthos in the Ems estuary, and its importance for the ecosystem. In: Dyer KR, Orth RJ (eds) Changes in fluxes in estuaries. Olsen & Olsen, Fredensborg, Denmark, p 29-40
- 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, van den Bergs J, de Jong DJ (1997) Zeegras in de Waddenzee, een toekomstperspectief. RIKZ, Haren, The Netherlands

- de Jonge VN, de Jong DJ, van Katwijk MM (2000) Policy plans and management measures to restore eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea. [In Press] Helgoländer Meeresunters
- de Swart HE, de Jonge VN, Vosbeek M (1997) Application of the tidal random walk model to calculate water dispersion coefficients in the Ems Estuary. *Est Coast Shelf Sci* 45:123-133
- 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 (1987) "Wasting disease" and other dynamic phenomena in *Zostera* beds. *Aquat Bot* 27:3-14
- den Hartog C (1994) Suffocation of a littoral *Zostera* bed by *Enteromorpha radiata*. *Aquat Bot* 47:21-28
- den Hartog C (1996) Sudden declines of seagrass beds: "wasting disease" and other disasters. In: Kuo J, Phillips RC, Walker DI, Kirkman H (eds) *Seagrass Biology: Proceedings of an International Workshop. Rottnest Island, Western Australia, 25-29 January 1996*. University of Western Australia, Nedlands, p 307-314
- Dijkema KS (1991) Towards a habitat map of the Netherlands, German and Danish Wadden Sea. *Ocean Shorel Mgmt* 16:1-22
- 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
- Freund RJ, Littell RC (1985) *SAS for linear Models. A Guide to the ANOVA and GLM Procedures*. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Gacia E, Granata TC, Duarte CM (1999) An approach to measurement of particle flux and sediment retention within seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. *Aquat Bot* 65:255-268
- Giesen WBJT, van Katwijk MM, den Hartog C (1990a) Eelgrass condition and turbidity in the Dutch Wadden Sea. *Aquat Bot* 37:71-85
- Giesen WBJT, van Katwijk MM, den Hartog C (1990b) 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
- Giesen WBJT (1990) Wasting disease and present eelgrass condition.

Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen, The Netherlands

- Grasshoff K, Ehrhardt M, Kremling K (1983) *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie GmbH, Weinheim
- Harmsen GW (1936) Systematische Beobachtungen der Nordwest-Europäischen Seegrasformen. *Ned Kruidk Arch* 46:852-877
- Heck KL, Able KW, Roman CT, Fahay MP (1995) Composition, abundance, biomass, and production of macrofauna in a New England estuary: Comparisons among eelgrass meadows and other nursery habitats. *Estuaries* 18:379-389
- Hemminga MA, Koutstaal BP, van Soelen J, Merks AGA (1994) The nitrogen supply to intertidal eelgrass (*Zostera marina*). *Mar Biol* 118:223-227
- Henriksen A (1965) An automated method for determining low level concentration of phosphate in fresh and saline waters. *The Analyst* 90:29-34
- Herman PMJ, Hemminga MA, Nienhuis PH, Verschuure JM, Wessel EGJ (1996) Wax and wane of eelgrass *Zostera marina* and water column silicon levels. *Mar Ecol Prog Ser* 144:303-307
- Hermus DCR (1995) Herintroductie van zeegras in de Waddenzee. Het verloop van de beplantingen in 1992-1994 & zaadexperimenten. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- Holmer M, Nielsen SL (1997) Sediment sulfur dynamics related to biomass-density patterns in *Zostera marina* (eelgrass) beds. *Mar Ecol Prog Ser* 146:163-171
- Hootsmans MJM, Vermaat JE, Van Vierssen W (1987) Seed-bank development, germination and early seedling survival of two seagrass species from the Netherlands: *Zostera marina* L and *Z. noltii* Hornemann. *Aquat Bot* 28:275-285
- Horinouchi M, Sano R (1999) Effects of changes in seagrass shoot density and leaf height on abundances and distribution patterns of juveniles of three gobiid fishes in a *Zostera marina* bed. *Mar Ecol Prog Ser* 183:87-94
- Kamermans P, Hemminga MA, de Jong DJ (1999) Significance of salinity and silicon levels for growth of a formerly estuarine eelgrass (*Zostera marina*) population (Lake Grevelingen, the Netherlands). *Mar Biol* 133:527-539

- Kempers AJ, Zweers A (1986) Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Commun Soil Sci Plant Anal* 17:715-723
- Koch EW, Gust G (1999) Water flow in tide- and wave-dominated beds of the seagrass *Thalassia testudinum*. *Mar Ecol Prog Ser* 184:63-72
- Koch EW (1999) Sediment resuspension in a shallow *Thalassia testudinum* banks ex König bed. *Aquat Bot* 65:269-280
- Mattila J, Chaplin G, Eilers MR, Heck KL, O'Neal JP, Valentine JF (1999) Spatial and diurnal distribution of invertebrate and fish fauna of a *Zostera marina* bed and nearby unvegetated sediments in Damariscotta River, Maine (USA). *Journal of Sea Research* 41:321-332
- Mood AM, Graybill FA, Boes DC (1974) Introduction to the Theory of Statistics. McGraw-Hill, Kogakusha
- Nepf HM, Koch EW (1999) Vertical secondary flows in submersed plant-like arrays. *Limnol Oceanogr* 44:1072-1080
- O'Brien J (1962) An automated analysis of chlorides in sewage wastes. *Eng* 33:670-672
- Oenema O (1988) Diagenesis in subrecent marine sediments in the Eastern Scheldt. Anonymous Early diagenesis in recent fine-grained sediments in the Eastern Scheldt. Dissertation University of Utrecht, p 61-81
- Oudemans CAJA, Conrad JFW, Maats P, Bouricius LJ (1870) Verslag der Staatscommissie inzake de wiermaayerij. Verslag aan den Koning over de Openbare Werken in het Jaar 1869. Van Weelden en Mingenlen, Den Haag, p 199-231
- Penhale PA, Thayer GW (1980) Uptake and transfer of carbon and phosphorus by eelgrass (*Zostera marina* L.) and its epiphytes. *J Exp Mar Biol Ecol* 42:113-123
- Polderman PJG, den Hartog C (1975) De zeegrassen in de Waddenzee. *K N N V Wet Meded* 107:1-32
- 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
- Reise K, Herre E, Sturm M (1989) Historical changes in the benthos of the Wadden Sea around the island of Sylt in the North Sea. *Helgoländer Meeresunters* 43:417-433
- Ridd PV, Sam R (1996) Profiling groundwater salt concentrations in

- mangrove swamps and tropical salt flats. *Est Coast Shelf Sci* 43:627-635
- Roth NC, Pregnall AM (1988) Nitrate reductase activity in *Zostera marina*. *Mar Biol* 99:457-463
- SAS (1989) SAS/STAT User's Guide, Version 6. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Schlesinger WH (1997) Biogeochemistry. An analysis of global change. Academic Press, London
- Short FT, Burdick DM, Kaldy JE (1995) Mesocosm experiments quantify the effects of eutrophication on eelgrass, *Zostera marina*. *Limnol Oceanogr* 40:740-749
- Sindowski KH (1973) Das Ostfriesische Küstengebiet. Inseln, Watten und Marschen. Sammlung Geologischer Führer 57, Bornträger, Berlin
- Stumm W, Morgan JJ (1981) Aquatic Chemistry. An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters. John Wiley & Sons, New York
- Taylor DI, Nixon SW, Granger SL, Buckley BA, McMahon JP, Lin HJ (1995) Responses of coastal lagoon plant communities to different forms of nutrient enrichment: A mesocosm experiment. *Aquat Bot* 52:19-34
- Valentine JF, Heck KL (1999) Seagrass herbivory: evidence for the continued grazing of marine grasses. *Mar Ecol Prog Ser* 176:291-302
- 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 Goor ACJ (1919) Het zeegras (*Zostera marina* L.) en zijn beteekenis voor het leven der visschen. *Rapp Verh Rijksinst Visscherij* I(4):415-498
- van Katwijk MM, Schmitz GHW (1993) Herintroductie van Zeegras in de Waddenzee. Beplantingen 1991 en 1992. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- van Katwijk MM, Vergeer LHT, Schmitz GHW, Roelofs JGM (1997) Ammonium toxicity in eelgrass *Zostera marina*. *Mar Ecol Prog Ser* 157:159-173
- 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 (1999) Mogelijkheden van stabilisatietechnieken bij zeegrastransplantatie. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- van Katwijk MM, Schmitz GHW, Gasseling AM, van Avesaath PH (1999) The effects of salinity and nutrient load and their interaction on *Zostera marina* L. *Mar Ecol Prog Ser* 190:155-165
- van Katwijk MM, Wijgengangs LJM (2000) Enkele voorwaarden voor kieming en zaailingontwikkeling van Groot zeegras (*Zostera marina*). Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- van Katwijk MM Onderwaterbarrières voor zeegras. Als spontaan herstel en aanplant niet lukt. [In Press] *Waddenbulletin* (2000)
- van Katwijk MM, Hermus DCR, de Jong DJ, Asmus RM, de Jonge VN (2000) Habitat suitability of the Wadden Sea for restoration of *Zostera marina* beds. [In Press] *Helgoländer Meeresunters*
- van Katwijk MM, Hermus DCR Effects of physical disturbance on *Zostera marina*: transplantation experiments in the intertidal Dutch Wadden Sea. [Subm] *Mar Ecol Prog Ser*
- van Lent F, Verschuure JM (1994) Intraspecific variability of *Zostera marina* L. (eelgrass) in the estuaries and lagoons of the southwestern Netherlands: II. Relation with environmental factors. *Aquat Bot* 48:59-75
- Wetzel RG, Penhale PA (1979) Transport of carbon and excretion of dissolved organic carbon by leaves and roots/rhizomes in seagrasses and their epiphytes. *Aquat Bot* 6:149-158
- Wijgengangs LJM (1994) Zeegras in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde, relatie met voedingsstoffen en zoutgehalte. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- Wijgengangs LJM, de Jong DJ (1999) Een ecologisch profiel van zeegras en de verspreiding in Nederland. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- Zimmerman RC, Smith RD, Alberte RS (1987) Is growth of eelgrass nitrogen limited? a numerical simulation of the effects of light and nitrogen on the growth dynamics of *Zostera marina*. *Mar Ecol Prog Ser* 41:167-176

BIJLAGE 1. PUBLICATIES KUN EN RIKZ

Hieronder volgt een lijst van publicaties door de Katholieke Universiteit Nijmegen en het Rijks Instituut voor Kust en Zee in het kader van (en direct voorafgaand aan) het project "Herintroductie van Groot zeegras in de Nederlandse Waddenzee".

de Jong DJ, de Jonge VN (1989) Zeegras *Zostera marina* L., *Zostera noltii* Hornem.. Een ecologisch profiel en het voorkomen in Nederland. Nota GWAO-89-1003 Rijkswaterstaat,

de Jonge VN (1990) Schade door kokkelvisserij en mosselzaadvisserij aan restanten van zeegrasvoorkomens in Waddenzee en Eems estuarium. Notitie GWWS-90.12062 Rijkswaterstaat Tidal Waters Division, The Netherlands

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

Wijgergangs LJM (1991) Onderzoek naar groeivoorwaarden en conditie van Groot zeegras (*Zostera marina* L.) i.v.m. herintroductie in de Waddenzee. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen

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 Vries R, Kennis P (1992) De overwintering van *Zostera marina* L. in Terschelling en Sylt en kiemingsexperimenten met *Zostera marina* L. populaties. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen

van Katwijk MM (1992) Herintroductie van zeegras in de Waddenzee. 1. Mesocosmexperimenten met Groot zeegras (*Zostera marina* L.). Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen

Westerveld S, Verschuren D (1992) Het effect van beschaduwning (tweede groeiseizoen) en het effect van substraattype op *Zostera marina* in een mesocosmexperiment. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen

- Bijlage Publicaties KUN en RIKZ -

- van Katwijk MM (1993) Reintroduction of Seagrass (*Zostera marina* L. and *Z. noltii* Hornem.) in the Dutch Wadden Sea. Wadden Sea Newsletter 1993-1:22-25
- van Katwijk MM, Schmitz GHW (1993) Herintroductie van Zeegras in de Waddenzee. Bepantingen 1991 en 1992. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- Wijgergangs LJM, van Katwijk MM (1993) Zeegrassterfte in het Grevelingenmeer. Een Studie naar de Mogelijke Oorzaken van de Afname van het Groot zeegras, *Zostera marina* L., sinds eind jaren tachtig. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- Wijgergangs LJM (1994) Zeegras in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde, relatie met voedingsstoffen en zoutgehalte. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- 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, 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
- Janssen A (1996) Effect van bodemtype en populatie van herkomst op de ontwikkeling van Groot zeegras (*Zostera marina* L.) in twee mesocosmos-experimenten. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- de Jonge VN, van den Bergs J, de Jong DJ (1997) Zeegras in de Waddenzee, een toekomstperspectief. RIKZ, Haren, The Netherlands
- van Katwijk MM, Vergeer LHT, Schmitz GHW, Roelofs JGM (1997) Ammonium toxicity in eelgrass *Zostera marina*. Mar Ecol Prog Ser 157:159-173
- 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

- Bijlage Publicaties KUN en RIKZ -

- van Katwijk MM, Schmitz GHW, Gasseling AM, van Avesaath PH (1999) The effects of salinity and nutrient load and their interaction on *Zostera marina* L. Mar Ecol Prog Ser 190:155-165
- van Katwijk MM (1999) Mogelijkheden van Stabilisatietechnieken bij Zeegrastransplantatie. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- van Katwijk MM, Schmitz GHW (1999) The effects of salinity and nutrient load and their interaction on *Zostera marina* L. plant originating from the estuarine Eems population and the marine Terschelling population in The Netherlands. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- Wijgergangs LJM, de Jong DJ (1999) Een ecologisch profiel van zeegras en de verspreiding in Nederland. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- de Jong DJ (2000) Werkdocument zeegraskarteringen Waddenzee. RWS/RIKZ, Middelburg
- de Jonge VN, de Jong DJ, van Katwijk MM Policy plans and management measures to restore eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea. [In Press]Helgoländer Meeresunters (2000)
- van Katwijk MM, Hermus DCR, de Jong DJ, Asmus RM, de Jonge VN Habitat suitability of the Wadden Sea for restoration of *Zostera marina* beds. [In Press]Helgoländer Meeresunters (2000)
- van Katwijk MM, Wijgergangs LJM (2000) Enkele voorwaarden voor kieming en zaailingontwikkeling van Groot zeegras (*Zostera marina*). Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- van Katwijk MM, Wijgergangs LJM, Hermus DCR (2000) Standplaatsonderzoek Groot zeegras (*Zostera marina* L.). Vergelijking van vier Nederlandse zeegrasvelden. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- van Katwijk MM Onderwaterbarrières voor zeegras. Als spontaan herstel en aanplant niet lukt. [In Press]Waddenbulletin (2000)
- van Katwijk MM (2000) *Zostera marina* and the Wadden Sea. In: Shepard C (ed) Seas at the Millennium. Warwick Univ UK/Elsevier, Amsterdam [in press]

- Bijlage Publicaties KUN en RIKZ -

van Katwijk MM, Hermus DCR Effects of physical disturbance on *Zostera marina*: transplantation experiments in the intertidal Dutch Wadden Sea. [subm.]