

**De betekenis van het  
zout- en silicaatgehalte in  
Nederlandse kustwateren voor  
het zeegrasareaal**

**Eindrapport 1998**

**P. Kamermans (NIOO-CEMO)  
M.A. Hemminga (NIOO-CEMO)  
D.J. de Jong (RWS-RIKZ)**

**April 1998**

**BEON Rapport nr. 98-5**

**BEON project NIOO 96 EH 07**

**ISSN 0924-6576**

**Inhoudsopgave**

	blz.
<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1. Algemene probleemstelling	4
1.2. Doelstelling en vraagstelling onderzoek	5
1.3. Beleidsrelevantie	5
<b>2. Kiem- en groeiproeven bij verschillende zout- en silicaatgehalten</b>	<b>6</b>
2.1. Materiaal en methoden	6
2.1.1. <i>Groei-experimenten in klimaatkamer</i>	6
2.1.2. <i>Groei-experiment in buitenbak</i>	8
2.1.3. <i>Kiem-experimenten</i>	8
2.1.4. <i>Statistische verwerking van de gegevens</i>	9
2.2. Resultaten en discussie	10
2.2.1. <i>Proefopstellingen</i>	10
2.2.2. <i>Scheuten en bladeren in klimaatkamer-experimenten</i>	10
2.2.3. <i>Bovengrondse produktie en eind-biomassa in klimaatkamer-experimenten</i>	14
2.2.4. <i>Epifyten</i>	19
2.2.5. <i>Groei-experiment in buitenbak</i>	21
2.2.6. <i>Zaadkieming</i>	26
<b>3. Achteruitgang van het zeegras in Nederland</b>	<b>28</b>
3.1. Conclusies experimenteel onderzoek	28
3.2. Nadere analyse	29
3.2.1. <i>Inleiding</i>	29
3.2.2. <i>Groei-bepalende factoren</i>	29
<b>4. Aanbevelingen</b>	<b>33</b>
<b>Dankwoord</b>	<b>34</b>
<b>Literatuurlijst</b>	<b>35</b>

## Samenvatting

De mondiale achteruitgang van zeegrasvelden wordt over het algemeen toegeschreven aan toegenomen eutrofiëring en turbiditeit van het water. Echter, zeer recent zijn door analyse van lange termijn gegevens, die sedert de zeventiger jaren verzameld zijn, tot dusver onopgemerkte verbanden gelegd tussen een tweetal omgevingsfactoren en het voorkomen van zeegras. De nu beschikbare gegevens wijzen erop dat een verhoogde saliniteit (boven circa  $17 \text{ g Cl} \cdot \text{l}^{-1} = 31 \text{ psu}$  of ‰) leidt tot een achteruitgang van de diverse zeegraspopulaties in Nederland: stabiele populaties van Groot zeegras (*Zostera marina*) in de Nederlandse kustwateren zijn vrijwel uitsluitend nog te vinden op plaatsen waar zoetwateruitstroming plaatsvindt. Daarenboven is er een sterke correlatie gevonden tussen het silicaatgehalte in het water en het zeegrasareaal in de Grevelingen. Deze onderzoeksgegevens suggereren dat zowel een *matig zoutgehalte* als de *beschikbaarheid van silicaat* in de waterfase voorwaarden zijn voor vitale zeegraspopulaties en vergroting van het zeegrasareaal.

De resultaten van de groei-experimenten bij verschillende zoutgehalten geven aan dat *Z. marina* gekweekt bij een lager zoutgehalte dan het huidige zoutgehalte in de Grevelingen een grotere vitaliteit heeft dan planten die opgroeien onder omstandigheden met een hoog zoutgehalte (32 psu). Bij een laag zoutgehalte (22 psu) werden meer scheuten en bladeren per plant gevormd, was de bovengrondse productie hoger en werd meer ondergrondse-biomassa gevormd. De meerjarige zeegraspopulatie in de Grevelingen is afhankelijk van vegetatieve voortplanting door middel van het vormen van nieuwe scheuten en het overwinteren van scheuten en ondergrondse-biomassa. Dit in tegenstelling tot een éénjarige populatie, die, als de omstandigheden gunstig zijn, ieder jaar opnieuw uit zaden kan ontstaan. De vorming van meer scheuten en ondergrondse-biomassa, zoals gevonden voor *Z. marina* gekweekt bij een laag zoutgehalte, kan dus gunstig zijn voor het vergroten van het zeegrasareaal.

De resultaten van de groei-experimenten bij verschillende silicaatgehalten laten zien dat het verhogen van het silicaatgehalte (van ongeveer  $5 \mu\text{M}$  naar  $70\text{-}100 \mu\text{M}$ ) geen effect had op de groei van *Z. marina*. Een verlichting van de zoutstress door verhoging van de silicaatbeschikbaarheid is niet aangetoond met de klimaatkamer-experimenten. Het silicaatgehalte van het water is van invloed op de hoeveelheid en het type epifyt dat groeit op *Z. marina* bladeren. Bij hoge silicaatgehalten was de epifytenbelasting lager en bestond ze voornamelijk uit diatomeeën. Een eventuele rol van door silicaat gereguleerde epifyten lijkt echter onwaarschijnlijk, omdat verschillen in groei van het zeegras niet werden gevonden.

Door een relatief hoog zoutgehalte van het water zijn de planten in een relatief slechte conditie. Ze zijn daardoor waarschijnlijk gevoeliger voor hydrodynamiek. Dit zou de oorzaak kunnen zijn waarom het zeegras geleidelijk verdwijnt uit de pure zandbodems, omdat deze te weinig stabiel zijn. De planten worden teruggedrongen tot de meer geconsolideerde bodems, omdat ze daar minder energie hoeven te steken in sterke en grote wortelstokken. Aanslagen op het zeegras, zoals meer groenwieren in de zeegrasvelden door eutrofiëring of meer vraat (m.n. van ondergrondse delen) door Rotganzen, kunnen niet of slechts moeizaam worden gepareerd door de slechte groeimogelijkheden en verminderde zaadkieming.

Herstel van de zeegraspopulatie in de Nederlandse kustwateren zou kunnen worden bevorderd door het zoutgehalte in deze wateren te verlagen. Een andere mogelijkheid is om een niet-estuariene populatie die niet gevoelig is voor hoge (zuiver mariene) zoutgehalten te gebruiken voor herintroductie. Deze zal van elders moeten worden aangevoerd en dit betekent de introductie van een gebiedsvreemd ecotype.

## 1. Inleiding

### 1.1. Algemene probleemstelling

Zeegrasvelden over de gehele wereld staan onder druk als gevolg van veranderende milieuomstandigheden. Op vele plaatsen is een drastische achteruitgang van de omvang van de populaties geconstateerd, of zelfs het compleet verdwijnen ervan. De teloorgang van deze mariene vegetaties wordt algemeen als een verarming van het kustmilieu gezien: zeegrasvelden vormen een waardevol habitat voor bodemdieren en voor vissen, en trekken watervogels aan die er fourageren.

Ook in de Nederlandse kustwateren heeft de afname van het zeegrasbestand zodanige vormen aangenomen dat de twee vertegenwoordigers van de zeegrassen in Nederland, Groot zeegras (*Zostera marina*), en Klein zeegras (*Zostera noltii*) tot de zeldzame plantensoorten gerekend kunnen worden. In de Waddenzee is Groot zeegras in het sublitoraal al in de dertiger jaren verdwenen als gevolg van de zgn. wasting disease. Deze ziekte was waarschijnlijk een reactie op de sluiting van de Zuiderzee die o.a. leidde tot toegenomen stroomsnelheden, een groter getijverschil en een grotere troebelheid (de Jonge *et al.*, 1995). Naast dit verdwijnen uit het sublitoraal volgde vanaf de zestiger jaren een geleidelijke achteruitgang van de litorale vegetaties. De oorzaak van deze achteruitgang is niet volledig duidelijk, maar als mogelijke oorzaken zijn de toegenomen eutrofiëring en turbiditeit van het water in de jaren '60, '70 en '80 naar voren gebracht (de Jonge *et al.*, 1995; Philippart, 1994). Ook in het Deltagebied is het zeegrasareaal de laatste jaren sterk verminderd, m.n. in de Oosterschelde en in de Grevelingen. De achteruitgang in deze gebieden is zeer opmerkelijk, omdat de aanleg van de diverse dammen in het kader van het Deltaplan hebben geleid tot veranderingen in de waterkwaliteit die ogenschijnlijk gunstig zijn voor uitbreiding van het zeegrasareaal. In beide wateren zijn de lichtcondities door afname van de turbiditeit sterk verbeterd en is de dynamiek verminderd. Daarnaast is, zeker voor de Oosterschelde, de nutriëntenbelasting van het water sterk afgenomen door de zeer beperkte hoeveelheid rivierwater die nu nog tot het systeem wordt toegelaten.

Zeer recent zijn echter door analyse van lange-termijn gegevens, die sedert de zeventiger jaren verzameld zijn, tot dusver onopgemerkte verbanden gelegd tussen een tweetal omgevingsfactoren en het voorkomen van zeegras. De nu beschikbare gegevens wijzen erop dat een verhoogde saliniteit (boven circa  $17 \text{ g Cl} \cdot \text{l}^{-1}$ ) leidt tot een achteruitgang van de diverse zeegraspopulaties in Nederland: stabiele populaties van Groot zeegras in de Nederlandse kustwateren zijn vrijwel uitsluitend nog te vinden op plaatsen waar zoetwaterinflux plaatsvindt (Wijgergangs & de Jong, in prep.; Bellemakers & de Jong, in prep.). Daarenboven is er een sterke correlatie gevonden tussen het silicaatgehalte en het zeegrasareaal in de Grevelingen (Herman *et al.*, 1996). Deze onderzoeksgegevens suggereren dat zowel een *matig zoutgehalte* als de *beschikbaarheid van silicaat* voorwaarden zijn voor vitale zeegraspopulaties.

Op basis van de nu bekende gegevens is het aannemelijk dat de invloed van saliniteit vooral tijdens de eerste groeistadia van belang is. Zo wijzen de bestaande literatuurgegevens erop dat het kiemingspercentage van zaden van Groot zeegras lager is naarmate de saliniteit hoger is (Raaijmakers, 1995; Hootsmans *et al.*, 1987). Recente analyses van silicaat in zeegrassen uitgevoerd op het NIOO-CEMO tonen aan dat het gehalte aan silicium in Groot zeegras aanzienlijk kan zijn: ca. 0.5 % van het drooggewicht in monsters uit het Veerse Meer, 0.3 % in monsters uit de Zandkreek en 0.05 % in monsters uit de Grevelingen (Hemminga *et al.*, in prep.). Dit zijn waarden van eenzelfde grootte-orde als het fosfaatgehalte in Groot zeegras (Hemminga *et al.*, in prep.). Op basis van onderzoeksgegevens over silicium-accumulerende landplanten kan wat betreft de betekenis van silicium voor zeegras gedacht worden aan groeibevordering (Bélanger *et al.*, 1995). Daarnaast is bekend dat voldoende siliciumbeschikbaarheid de stress samenhangend met een hoge omgevingsaliniteit in sommige planten vermindert (Sangster & Hodson, 1986; Liang *et al.*, 1996). Saliniteit en silicaat zouden dus op

verschillende momenten tijdens de ontwikkeling en groei van de plant een rol kunnen spelen: saliniteit in de fasen van kieming en eerste groei, en silicaat tijdens de latere groeifasen.

De correlatie tussen het silicaatgehalte in het water van de Grevelingen en de fluctuaties van het zeegrasareaal suggereren dat de vitaliteit van de populatie een afgeleide is van silicaatopname door de bladeren (Herman *et al.*, 1996). Aangezien het poriewater in de bodem ongetwijfeld silicaat bevat, roept dit de vraag op waarom de plant silicium-gelimiteerd zou kunnen zijn bij beschikbaarheid van dit element in de bodem. Recent op het NIOO-CEMO uitgevoerde proeven met zeegrasplanten in gecompartmenteerde incubatievaten wijzen er op dat de wortels zeer beperkt zijn in hun opnamecapaciteit m.b.t. silicaat, dit in tegenstelling tot de bladeren (Hemminga *et al.*, in prep). Daarom wordt verondersteld dat Groot zeegras maar geringe hoeveelheden silicium aan de bodem kan onttrekken, en dat opname vooral vanuit de waterkolom moet plaatsvinden.

Een lage saliniteit en een hoog silicaatgehalte in een kustgebied zijn gekoppeld aan de toevoer van zoet water. Rivieren verlagen uiteraard de saliniteit van het kustwater, maar voeren bovendien veel silicaat aan; wereldwijd 80% van de silicaatinput in het mariene milieu (Tréguer *et al.*, 1995). Als gevolg van de Deltawerken is de rivierinvloed op de Oosterschelde en de Grevelingen nagenoeg verdwenen (Herman *et al.*, 1996). Voorts kan nog opgemerkt worden dat ook in de Waddenzee veel veranderd is met betrekking tot de aanvoer van zoet water, o.a. door afsluiting van de Zuiderzee en van de Lauwerszee, en door het saneren van polderuitlaten. Indien saliniteit en silicaat inderdaad de vitaliteit van het zeegras zo sterk beïnvloeden als verondersteld, dan worden daarmee ook de contouren voor toekomstige beheersmaatregelen zichtbaar die kunnen leiden tot herstel van het zeegrasbestand: deze zullen een gedoseerde grotere toevoer van zoet (rivier)water inhouden.

## 1.2. Doelstelling en vraagstelling onderzoek

(1) Door experimenteel onderzoek de betekenis van het zout- en silicaatgehalte in het water voor kieming en groei van Groot zeegras bepalen.

(2) Analyse van de achteruitgang van het zeegras in de Nederlandse kustwateren in het licht van de eerder geformuleerde hypothese over de waterkwaliteit.

## 1.3. Beleidsrelevantie

Belde soorten zeegras kunnen worden beschouwd als kenmerkende soorten voor estuaria en ondiepe, beschutte kustwateren. Daarnaast vormen ze ook een karakteristiek habitatype in deze wateren, dat leefmogelijkheden biedt aan tal van andere planten (met name epifytische wieren) en dieren (bodemdieren, kleine vissen, vogels). Dit habitatype is de afgelopen decennia sterk achteruitgegaan in heel Nederland. Een gevolg hiervan is onder andere dat fouragerende vogels sterker zijn aangewezen op omliggende landbouwgronden (van Haperen, 1992). Het beleid is er op gericht om de arealen van destijds zo mogelijk terug te brengen. Het uitgevoerde onderzoek heeft als doel een bijdrage te leveren aan de kennis die nodig is voor de onderbouwing van dit beleid.

## 2. Klem- en groei-proeven bij verschillende zout- en silicaatgehalten

### 2.1. Materiaal en methoden

#### 2.1.1. Groei-experimenten in klimaatkamer

In de mesocosmosfaciliteiten van het NIOO-CEMO zijn onder gecontroleerde condities drie experimenten uitgevoerd waarbij het zout- en silicaatgehalte werd gevarieerd. De groei van zeegras is hierbij gedetailleerd onderzocht. De opstelling voor de groei-experimenten bestond uit een aantal plexiglas cilindrs met bodem (diameter 30 cm en hoogte 50 cm). Iedere cilinder had een watertoevoer (vanuit een mediumvat) die op 10 cm boven de bodem van de cilinder uitkwam. Ook had elke cilinder een waterafvoer op 2 cm beneden de bovenrand van de cilinder. De cilindrs werden direkt naast de watertoevoer belucht met een bruissteentje. De cilindrs waren in een klimaatkamer onder 10 TL buizen geplaatst. Het lichtregime was 14L:10D. De lichtintensiteit in de cilindrs varieerde (afhankelijk van de plaats op de tafel en in de cilinder) van  $260 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  tot  $410 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (PAR). Deze waarden liggen ver boven het verzadigingslichtniveau van *Zostera marina* (maximaal  $88 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , Dennison, 1987). In de eerste twee experimenten, met ieder twee behandelingen, waren de cilindrs per behandeling om en om op de tafel geplaatst en in experiment drie zijn de vier behandelingen random over de 12 plaatsen verdeeld. De temperatuur in de kamer was  $14^\circ\text{C}$  gedurende de donkerperiode en liep op tot  $18^\circ\text{C}$  tijdens de lichtperiode. De warmte van de lampen werd met behulp van een ventilator zo veel mogelijk afgevoerd. Per behandeling werden 1 mediumvat (PVC, 185 l) en 3 cilindrs gebruikt. Het medium werd met een snelheid van 5 ml per min uit het vat naar de cilindrs gepompt.

Het medium bestond uit gedemineraliseerd water waaraan zeezout (met vitamines en sporenelementen, maar zonder stikstof, fosfaat en silicaat) was toegevoegd om tot het juiste zoutgehalte te komen. In dit hoofdstuk wordt het zoutgehalte aangegeven in Practical Salinity Units (psu). Deze waarden kunnen worden omgerekend naar chloriniteit met behulp van de volgende formule  $\text{psu} = 1.805 \text{Cl} + 0.03$ . Gedurende de experimenten was het lage zoutgehalte 22 (=  $12.2 \text{ g Cl} \cdot \text{l}^{-1}$ ) en het hoge zoutgehalte 32 (=  $17.7 \text{ g Cl} \cdot \text{l}^{-1}$ ). De waarden zijn gekozen omdat het de onder- en bovengrens zijn van de zoutgehalten die sinds 1973 in de Grevelingen zijn waargenomen (Wijgergangs & van Katwijk, 1993). Als silicaatbehandeling werd het medium ofwel zo veel mogelijk silicaatvrij gehouden of er werd silicaat toegevoegd ( $70\text{-}100 \mu\text{M Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ). Dit silicaatgehalte is hoger dan wat maximaal in de Grevelingen is aangetroffen (ongeveer  $40 \mu\text{M}$ ). Als nutriënten werd verder aan ieder vat  $\text{NH}_4\text{Cl}$  toegevoegd tot een concentratie van  $10 \mu\text{M}$ , en  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  tot een concentratie van  $5 \mu\text{M}$ . Vanaf dag 50 van het tweede groei-experiment is de fosfaatconcentratie verlaagd tot  $2.5 \mu\text{M}$  om de groei van cyanobacteriën tegen te gaan. Bij het derde groei-experiment is deze concentratie nog verder verlaagd tot  $0.625 \mu\text{M}$  zodat stikstof en fosfaat aanwezig waren in de Redfield ratio van 16:1. De stikstof- en fosfaatconcentraties van alle drie de experimenten zijn vergelijkbaar met waardes die in de Grevelingen voorkomen. Tabel 1 geeft een overzicht van de gekozen zout- en silicaatgehalten voor ieder experiment.

Zeegras planten van ongeveer gelijke grootte zijn verzameld nabij de Slikken van Flakkee in de Grevelingen. Scheuten zijn losgeknipt van hun zusterscheuten aan het rhizoom. Deze losse scheuten met wortels zijn individueel in genummerde 300 ml polyethyleen potjes met gezeefd (2mm) Grevelingensediment geplaatst. Bij Exp. 3 is onderscheid gemaakt tussen scheuten aan het uiteinde van het rhizoom (apex) en scheuten direct daar achter (R1) (Fig. 1). De planten zijn vervolgens 2-4 weken in een buitenbasin met Oosterscheldewater gezet om de wortels te laten herstellen. Het water werd twee maal per week verversd. De data van verzamelen van de planten en het begin en eind van de experimenten zijn weergegeven in Tabel 1. In iedere cilinder werd een gelijk aantal planten geplaatst bestaande uit 1 scheut. Van deze genummerde planten was het aantal bladeren, en de lengte en breedte van ieder blad, direkt daarvoor bepaald. Uit de overgebleven planten werden enkele planten *at random* gekozen voor bepaling van de begin-biomassa van de bladeren en van de rhizoom

met wortels. Per cylinder werden vier uniforme planten random geselecteerd die gedurende het gehele experiment iedere 7-10 dagen werden opgemeten (aantal scheuten, aantal bladeren, lengte en breedte van ieder blad, en eventuele bloeiwijzen en zaadvorming). De toename in bladoppervlakte van deze planten werd omgerekend naar produktie in mg drooggewicht per dag. Na iedere meting wisselden alle planten binnen de cylinder van plaats. Wekelijks werd ook nieuw medium aangemaakt. Het nutriëntengehalte en het zoutgehalte van het water in de mediumvaten en in de cylinders werd regelmatig gecontroleerd. Halverwege het derde experiment zijn 4 planten per cylinder bemonsterd voor een tussentijdse biomassa bepaling. Aan het einde van ieder experiment zijn de vier gemeten planten per cylinder bemonsterd voor de eind-biomassabepaling. In de planten van Exp. 2 is na deze biomassa bepaling het silicaatgehalte bepaald.

Tabel 1. Enkele gegevens van de drie groei-experimenten in de klimaatkamer-opstelling.

Exp. no.	zout (psu)	silicaat ( $\mu\text{M}$ )	aantal cylinders	aantal planten per cylinder	planten verzameld	start exp.	eind exp.
1	22/32	70	6	10	15-4-96	16-5-96	17-7-96
2	30	5/70	6	14	16-7-96	2-8-96	9-10-96
3	22/32	5/100	12	14	13-5-97	9-6-97	6-11-97

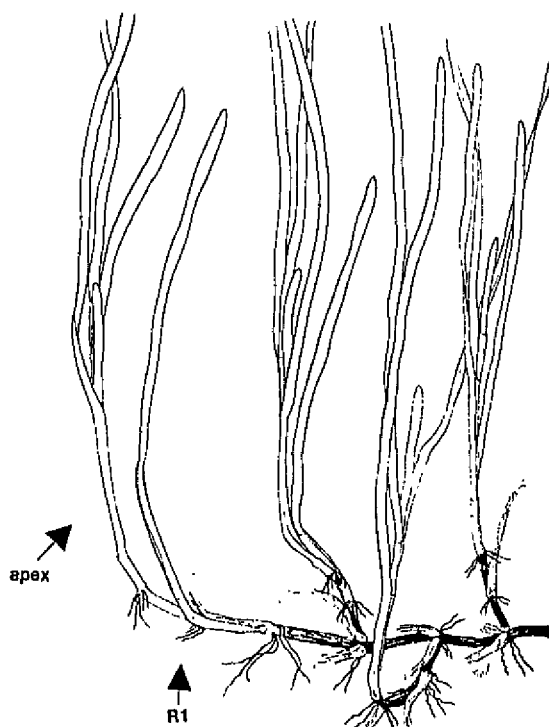


Fig. 1. *Zostera marina* met apex- en R1-scheut.

### ***Epifyten***

Gedurende het derde groei-experiment is aandacht besteed aan de hoeveelheid en het type epifyten op de bladeren van het zeegras. Op dag 30, 78 en 112 is het derde blad verwijderd van 12 planten per behandeling van de planten die niet iedere 10 dagen werden gemeten. De epifyten werden met een objectglasje van de bladeren geschraapt en in medium van de betreffende behandeling verzameld. Voor de bepaling van de biomassa werd 40 ml van een mengmonster afkomstig van 4 bladeren gefiltreerd over vooraf gewogen filters (0.2 µm poriewijde). Na 2 dagen drogen bij 60 °C werd het gewicht van het filter opnieuw bepaald en kon de epifyten biomassa gerelateerd worden aan het oppervlakte van de 4 bemonsterde bladeren. Van hetzelfde mengmonster werd 20 ml gefixeerd met een Lugol oplossing ter bepaling van de soortensamenstelling van de epifyten. De algen werden ingedeeld in drie groepen (diatomeeën, cyanobacteriën en filamenteuze roodwieren) en per monster werd een minimum van 200 cellen geteld bij een vergroting van 450 x. Per behandeling werden 3 mengmonsters van 4 bladeren verwerkt. Daarnaast zijn in het veld zeegrasbladeren verzameld. Op 21 juli en 28 augustus 1997 in de Grevelingen en op 21 juli en 1 september 1997 in het Veerse Meer, dat een hoger silicaatgehalte en een lager zoutgehalte heeft dan de Grevelingen. Per bemonsteringsdatum zijn 9 bladeren per locatie individueel op de hierboven beschreven wijze verwerkt.

#### ***2.1.2. Groei-experiment in buitenbak***

Op 16 juli 1997 is een extra groei-experiment ingezet waarbij het effect van ongefiltreerd zeewater dat was verzameld in de Grevelingen of de Oosterschelde werd getest. Dit experiment was bedoeld om de aanwezigheid van eventuele andere bestanddelen dan zout of silicaat in het water te testen (te denken valt aan plant-toxische stoffen, die uit de aangrenzende landbouwgebieden worden gespoeld). Het in dit experiment gebruikte Oosterschelde en Grevelingen water had een onderling vergelijkbaar zout-en nutriëntengehalte. Het experiment werd uitgevoerd in 4 aquaria van 0.45 m x 0.35 m x 0.41 m (2 per behandeling) die in een groot (2m x 5m x 1.2m) buitenbasin met Oosterscheldewater waren geplaatst om opwarming te voorkomen. Voor het derde groei-experiment waren meer planten verzameld en in potjes met sediment geplaatst dan uiteindelijk in dat experiment werden gebruikt. Deze planten waren sinds 9 juni 1997 in het buitenbasin met Oosterschelde water blijven staan. Voor dit vierde groei-experiment werden 12 van die planten gebruikt. In ieder aquarium werden 4 planten geplaatst die elke 10 dagen op de boven beschreven wijze werden gemeten. Het water in de aquaria werd wekelijks verversd vanuit grote opslagtanks. De voorraad in de opslagtanks werd 1x verversd (op dag 20). Het experiment duurde 40 dagen, tot 25 augustus 1997.

#### ***2.1.3. Kiem-experimenten***

Zaadvorming vindt wel plaats in de Grevelingen, maar zaailingen worden de laatste 7 jaar slechts heel sporadisch gevonden (pers. obs. J.M. Verschuure). Om te onderzoeken of de zaden niet kiemen vanwege een te hoog zoutgehalte, of vanwege een gebrek aan silicaat, zijn enkele kiem-experimenten uitgevoerd.

In 1996 zijn bloei-stengels van Groot zeegras met zaden op 2 september verzameld in de Grevelingen. In 1997 zijn bloei-stengels van Groot zeegras met zaden op 28 augustus 1997 in de Gevelingen en op 1 september 1997 in het Veerse Meer verzameld. De stengels zijn in netten gedaan die vervolgens in een buitenbasin met Oosterscheldewater zijn gehangen om de zaden te laten rijpen. In 1996 zijn de rijpe zaden na 1 maand bij 14 °C gezet en eind oktober bij 4 °C. In 1997 zijn de rijpe zaden na 3 weken bij 4 °C gezet.

#### ***Effect van silicaat***

##### ***Kiemtest 1***

De in 1996 verzamelde zaden zijn na een koudeperiode van 7 maanden in duplo in petrischalen met 20



ml gedemineraliseerd water waaraan zout en nutriënten waren toegevoegd geplaatst in de klimaatkamer naast de cylinders van Exp. 3. Het medium had een zoutgehalte van 1 (psu). Bij dit zoutgehalte vonden Hootsmans *et al.* (1987) het hoogste kiemingspercentage van Groot zee gras uit de Oosterschelde. De stikstofconcentratie van het medium was 10  $\mu\text{M}$  en de fosfaatconcentratie 0.65  $\mu\text{M}$ . Eén behandeling bevatte zo min mogelijk silicaat (1.6  $\mu\text{M}$  Si) en de andere behandeling een hoog silicaatgehalte (120  $\mu\text{M}$  Si). De petrischalen waren random neergezet en werden vijf maal per week doorgeschoven. De test duurde 4 weken. Vrijwel dagelijks werden het aantal gekiemde zaden geteld.

#### *Kiemtest 2*

De in 1997 verzamelde zaden zijn na een koudeperiode van 11 dagen ingezet. De behandelingen waaraan de zaden werden blootgesteld zijn: 0  $\mu\text{M}$ , 40  $\mu\text{M}$  en 100  $\mu\text{M}$  Si. Hieraan is voor iedere behandeling nog stikstof toegevoegd tot een concentratie van 10  $\mu\text{M}$  en fosfaat tot een concentratie van 0.625  $\mu\text{M}$ . Het medium bestond uit gedemineraliseerd water waaraan zout (met vitamines en sporenelementen, maar zonder stikstof, fosfaat en silicaat) en de gewenste nutriënten was toegevoegd. Het medium werd éénmaal per week ververs. In het begin was het zoutgehalte 1psu, maar dit is per week verhoogt tot een maximum van 20 psu. Iedere behandeling is in triplo uitgevoerd. De zaden zijn in potjes (6 cm breed, 8.5 cm hoog en 0.2 liter inhoud) met sediment gepoot en in emmers met 7 l medium gezet. Het sediment was afkomst van de Zandkreek. In iedere emmer zijn 8 potjes geplaatst. Elk 'type' zaad (Veerse en Grevellingen meer) in 4 potjes. In ieder potje zijn dan weer 5 zaden van hetzelfde type gepoot. De potjes zijn random in de emmers gezet. Iedere emmer werd belucht voor circulatie van de nutriënten en voor voldoende zuurstof toevoer. Dit experiment werd uitgevoerd in de klimaatkamer bij een temperatuur van 16 tot 19 °C en onder TL buizen. Het lichtregime was 14L:10D. De emmers zijn random neergezet. Vijf maal per week werden ze doorgeschoven. Vrijwel iedere dag werd er gekeken naar het aantal ontkiemde zaden.

#### **Effect van saliniteit en silicaat**

##### *Kiemtest 3*

De in 1997 verzamelde zaden zijn na een koude periode van 11 dagen in triplo in petrischalen met 10 ml gedemineraliseerd water waaraan zout en nutriënten waren toegevoegd geplaatst in de klimaatkamer van het groeiexperiment, steeds 5 zaden van 1 locatie per petrischaal. De test had dezelfde vier behandelingen als het derde groei-experiment:

LL = laag zoutgehalte (22 psu) en een zo laag mogelijk silicaatgehalte ( $\pm 5 \mu\text{M}$  Si)

LH = laag zoutgehalte (22 psu) en hoog silicaatgehalte (100  $\mu\text{M}$  Si)

HL = hoog zoutgehalte (32 psu) en een zo laag mogelijk silicaatgehalte ( $\pm 5 \mu\text{M}$  Si)

HH = hoog zoutgehalte (32 psu) en hoog silicaatgehalte (100  $\mu\text{M}$  Si).

De petrischalen waren random neergezet en werden vijf maal per week doorgeschoven. De test duurde 35 dagen. Vrijwel dagelijks werd het aantal gekiemde zaden gecontroleerd.

#### **2.1.4. Statistische verwerking van de gegevens**

De resultaten van de experimenten zijn statistisch geanalyseerd met behulp van de variantie-analyse (ANOVA) en t-test. De t-test is gebruikt voor het testen van de significantie van verschillen tussen twee behandelingen, de één-wegs-variantie analyse (one-way ANOVA) met Tukey Kramer procedure als post hoc test voor de significantie van verschillen tussen meer dan twee behandelingen, de twee-wegs-variantie-analyse (two-way ANOVA) is gebruikt voor het effect van behandeling en cylinder of aquarium nummer, of het effect van behandeling en tijd, en de driewegs-variantie-analyse (three-way ANOVA) voor het effect van behandeling, het effect van tijd en het effect van cylinder of aquarium nummer of het type zaad. De factor cylinder of aquarium nummer was genest in behandeling. Eventuele interacties tussen de factoren werden ook getest. Homogeniteit van varianties werd gecontroleerd met box plots. In alle gevallen werd een significantieniveau van 5% aangehouden. De testen zijn uitgevoerd met het computerprogramma STATISTICA.

## 2.2. Resultaten en discussie

### 2.2.1. Proefopstellingen

Gedurende de klimaatkamer-experimenten liet het zoutgehalte geen grote afwijkingen zien van de beoogde waardes, maar het silicaatgehalte van het water had niet altijd de gewenste concentratie (Fig. 2a,b,3a,b&4a,b, Tabel 1). Gedurende Exp. 1 werden de waardes lager dan  $70 \mu\text{M}$  (Fig. 2d) veroorzaakt doordat in eerste instantie (tot dag 30) gebruik werd gemaakt van een slecht oplosbare siliciumverbinding ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). De te hoge silicaatgehaltenes (hoger dan  $70 \mu\text{M}$  van dag 0-15 in Exp. 2, Fig. 3c,d, en hoger dan  $100 \mu\text{M}$  van dag 67 -88 in Exp.3, Fig. 4c,d) kunnen worden toegeschreven aan het tijdelijk slecht functioneren van de deminwater-installatie. Silicaat werd onvoldoende uit het leidingwater verwijderd en de installatie leverde deminwater met silicaatconcentraties van  $30\text{-}60 \mu\text{M}$ . Dit verklaart ook de tijdelijk hoge silicaatconcentraties in de laag silicaat-behandelingen (Fig. 3c,d, &4c,d). Na herstel van de deminwater-installatie liepen de concentraties terug naar de gewenste niveau. De silicaat-concentraties in de cylinders waren bij alle experimenten beduidend lager dan in het medium (Fig. 2c,d,3c,d&4c,d). Dit wijst op silicaat opname. De stikstof-concentraties van het medium waren wat hoger dan de verwachte  $10 \mu\text{M}$  (Fig. 2e,f,3e,f&4e,f). De fosfaat-concentraties van het medium waren wel volgens verwachting (Fig. 2g,h,3g,h&4g,h). Ook voor stikstof en voor fosfaat geldt dat de concentraties in de cylinders lager waren dan in het medium. De opname van stikstof was sterker dan die van fosfaat. Dit is in overeenstemming met de grotere behoefte aan stikstof.

Tijdens de experimenten werd een grote variatie tussen individuen zichtbaar. Dit wordt weerspiegeld in het herhaaldelijk voorkomen van cylinder effecten (Tabel 2). Deze cylinder effecten worden veroorzaakt door dat de resultaten van 1 van de cylinders binnen één behandeling afwijken van de andere 2. De effecten zijn waarschijnlijk geen echte cylinder effecten veroorzaakt door betere of slechtere licht- of temperatuurs-omstandigheden. Waarschijnlijk is het een gevolg van de natuurlijke variabiliteit tussen de individuen. De betreffende cylinder wijkt af omdat slechts 1 van de 4 individuen binnen die cylinder beter, of slechter groeit. Bovendien is de afwijking niet steeds dezelfde. Bij de laag zout laag silicaat behandeling van Exp. 3 bijvoorbeeld vertoont cylinder 3 een afwijkend hoog aantal bladeren voor de apex-planten, en juist het laagste aantal bladeren voor de R1-planten. Bovendien wordt niet bij ieder experiment een significant cylinder effect gevonden ondanks het feit dat de opstelling voor de drie experimenten identiek was. Ook bij het groei-experiment in de buitenbak komen dergelijke effecten voor. Het aantal scheuten en het aantal bladeren, alsmede de ratio tussen ondergrondse en bovengrondse-biomassa lieten een significant aquarium effect zien (three-way ANOVA's,  $P < 0.05$ ). Dat wil zeggen dat de verschillen tussen de beide aquaria binnen één behandeling significant waren. Opnieuw heeft dit vermoedelijk te maken met het feit dat de variatie tussen de planten erg groot was.

### 2.2.2. Scheuten en bladeren in klimaatkamer-experimenten

De resultaten laten zien dat in alle behandelingen een toename van het aantal scheuten en bladeren, dus groei, optrad gedurende alle experimenten (Fig. 5; three way ANOVA's,  $P < 0.001\text{-}0.05$ ).

In Exp. 1 (twee zoutgehaltenes) waren significant meer scheuten en bladeren per plant aanwezig bij een laag zoutgehalte (Fig. 5a,b; three-way ANOVA's,  $P < 0.001$ ). Voor het aantal bladeren werd ook een significante interactie tussen zoutgehalte en tijd gevonden (three-way ANOVA,  $P < 0.001$ ). Dit betekent dat het effect van zoutgehalte pas in de loop van de tijd duidelijk werd.

De resultaten van Exp. 2 (twee silicaatgehaltenes) laten geen significant effect van een verhoogd silicaatgehalte op het aantal aanwezige scheuten en bladeren zien (three-way ANOVA's; Fig. 5c,d).

## Exp. 1

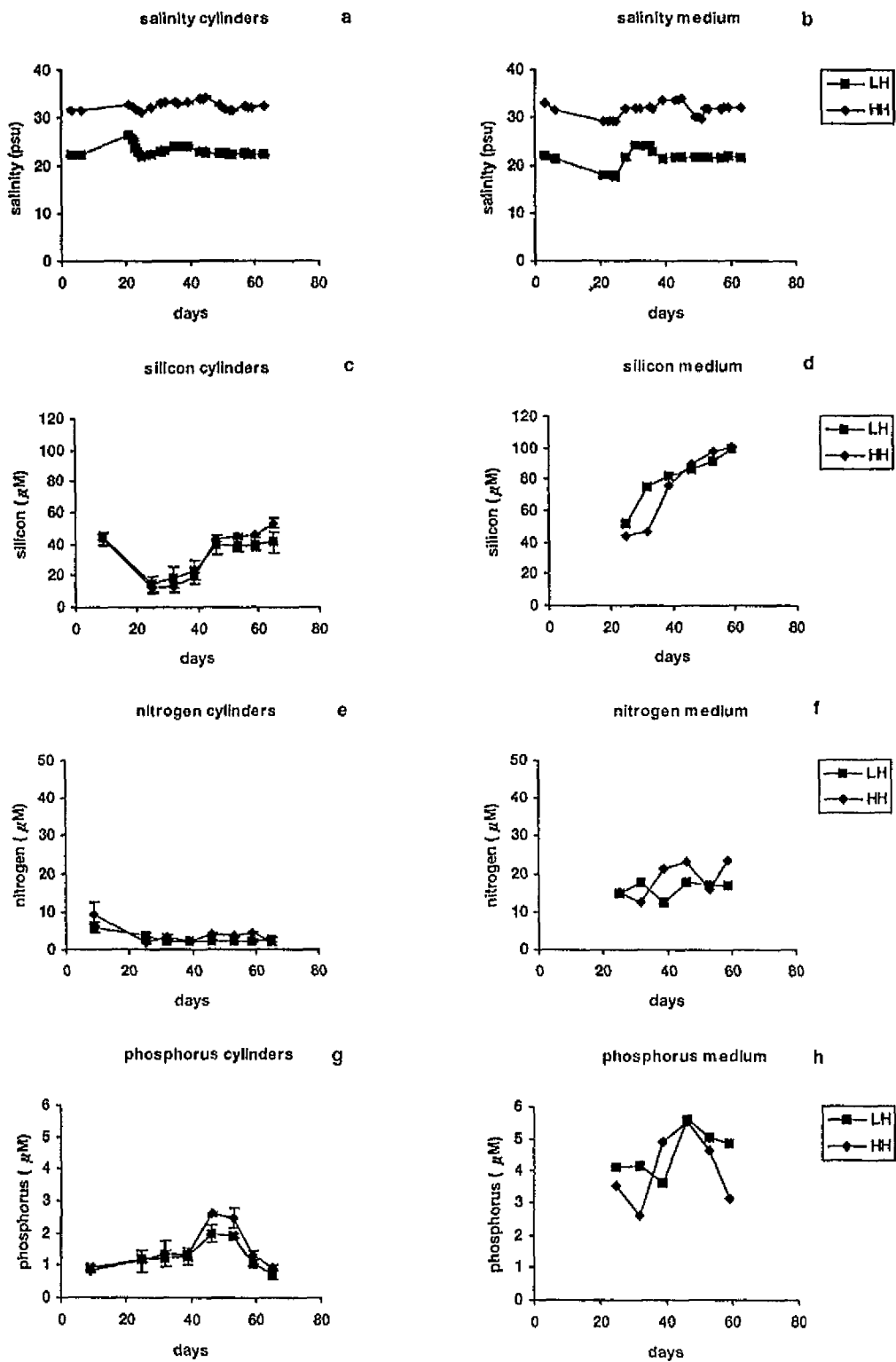


Fig. 2. De zout-gehaltenes (a,b), silicaat- (c,d), stikstof- ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_x$ ) (e,f), en fosfaat-concentraties (g,h) in de cylinders (gemiddelde van 3 cylinders met standaard fout) en de media gedurende Exp. 1. LH = laag zoutgehalte hoog silicaatgehalte en HH is hoog zoutgehalte hoog silicaatgehalte (zie Tabel 1).

## Exp. 2

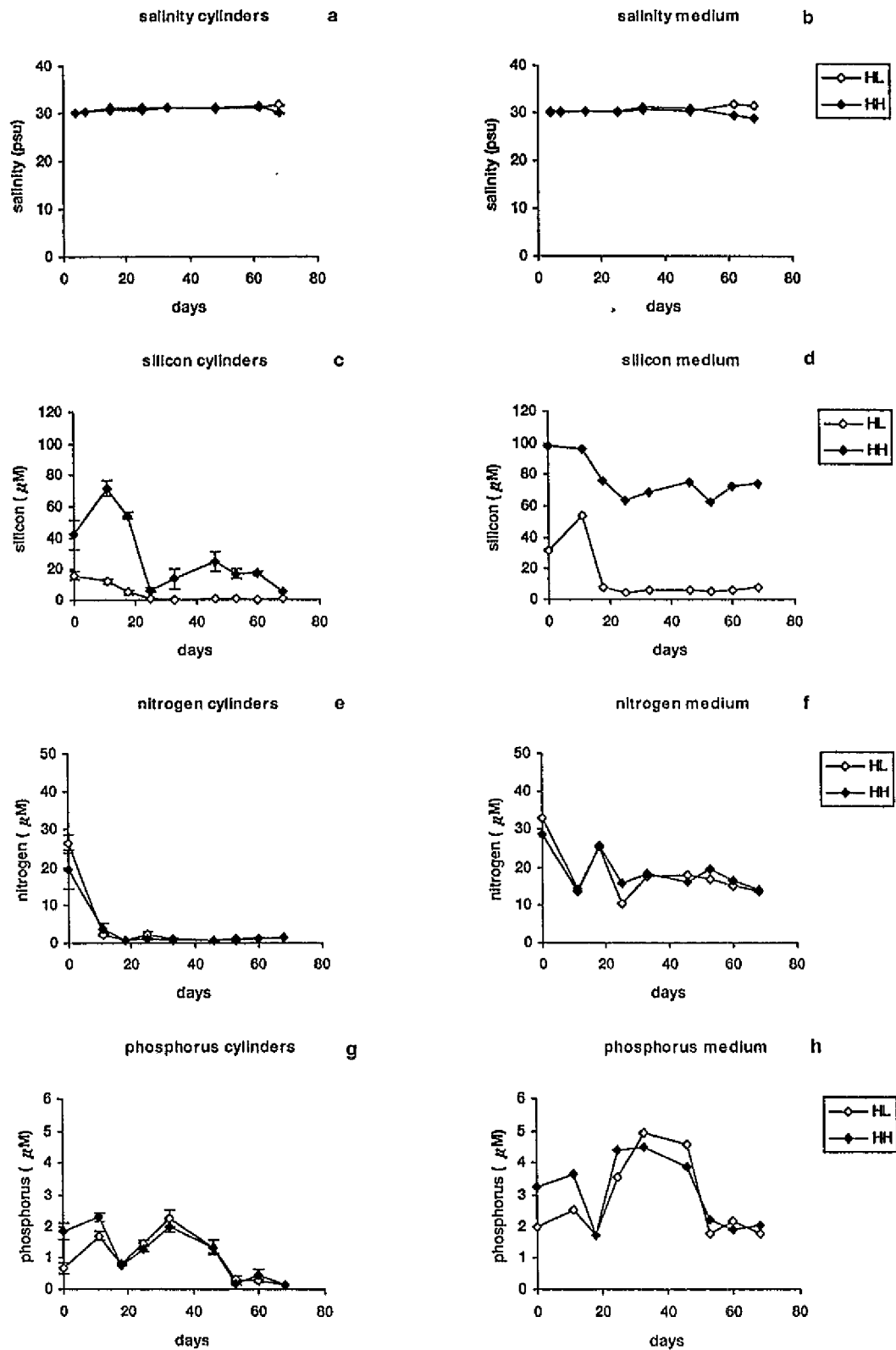


Fig. 3. De zout-gehaltenes (a,b), silicaat- (c,d), stikstof- ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_x$ ) (e,f), en fosfaat-concentraties (g,h) in de cylinders (gemiddelde van 3 cylinders met standaard fout) en de media gedurende Exp. 2. HL = hoog zoutgehalte laag silicaatgehalte en HH is hoog zoutgehalte hoog silicaatgehalte (zie Tabel 1).

## Exp. 3

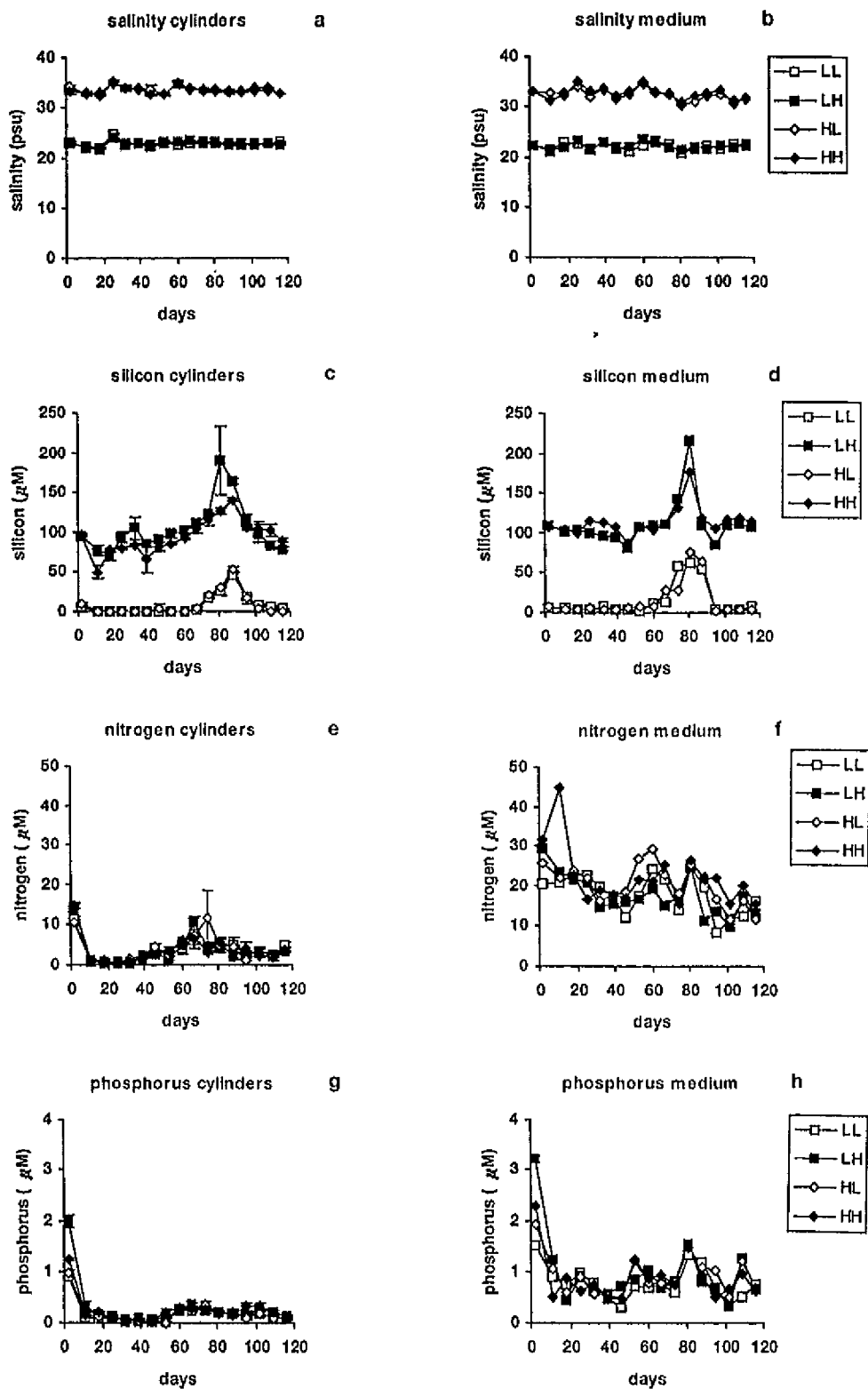


Fig. 4. De zout-gehaltenes (a,b), silicaat- (c,d), stikstof- ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_x$ ) (e,f), en fosfaat-concentraties (g,h) in de cylinders (gemiddelde van 3 cylinders met standaard fout) en de media gedurende Exp. 3. LL = laag zoutgehalte laag silicaatgehalte, LH = laag zoutgehalte hoog silicaatgehalte, HL = hoog zoutgehalte laag silicaatgehalte en HH is hoog zoutgehalte hoog silicaatgehalte (zie Tabel 1).

*Tabel 2. Overzicht van de statistische testen waarbij een significant cylinder effect werd gevonden, ns = niet significant. Bij Exp. 3 is het aantal nieuw gevormde bladeren, verloren bladeren, de bovengrondse productie en het bladoppervlak alleen uitgerekend voor de apex-planten.*

variabele	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3 (apex)	Exp. 3 (R1)
aantal scheuten	P<0.001	ns	P<0.001	ns
aantal bladeren	P<0.001	P<0.05	P<0.001	P<0.001
aantal nieuw gevormde bladeren	P<0.05	ns	P<0.001	
aantal verloren bladeren	ns	ns	P<0.001	
bovengrondse productie	P<0.05	P<0.01	P<0.001	
bladoppervlak	P<0.001	P<0.001	P<0.001	

In Exp. 3 (twee zoutgehaltes en twee silicaatgehaltes) is onderscheid gemaakt tussen apex-planten en R1-planten. De toename in het aantal scheuten en bladeren was beduidend groter bij de apex-planten dan bij de R1-planten (Fig. 5e,f,g,h). In beide gevallen werden de meeste scheuten en bladeren waargenomen bij een laag zoutgehalte, maar voor de apex-planten was de gunstigste behandeling de behandeling met een gelijktijdig laag silicaatgehalte (LL), terwijl dat voor de R1-planten de behandeling met een gelijktijdig hoog silicaatgehalte was (LH). Behandelingen die significant afwijken van elkaar zijn te vinden in Tabel 3. In dit experiment werden de minste scheuten en bladeren aangetroffen bij een hoog zoutgehalte en een laag silicaatgehalte (HL behandeling, Tabel 3).

Zoals verwacht uit het grotere aantal aanwezige bladeren bij een laag-zoutgehalte was het aantal nieuw gevormde bladeren ook hoger in de laag-zoutgehalte behandeling van Exp. 1 (Fig. 6a; three-way ANOVA, P<0.001). Het aantal verloren bladeren was echter ook iets hoger bij een laag zoutgehalte (Fig.6b; three-way ANOVA, P<0.05).

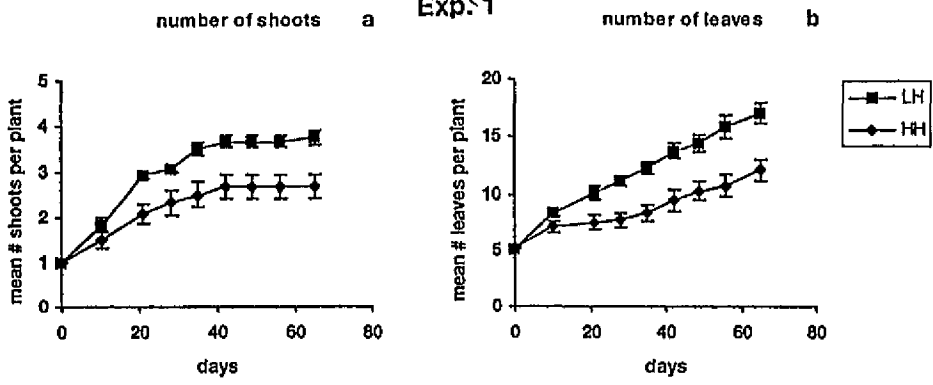
In Exp. 2 werd geen effect van silicaat op het aantal nieuw gevormde of het aantal verloren bladeren gevonden (Fig. 6c,d; three-way ANOVA's).

In het combinatie Exp. 3 vertoonde de hoog silicaatgehalte behandeling echter wel significant meer nieuw gevormde bladeren dan de laag silicaatgehalte behandeling (Fig. 6e; Tabel 3). Het aantal verloren bladeren was in alle behandelingen gelijk (Fig. 6f; three-way ANOVA).

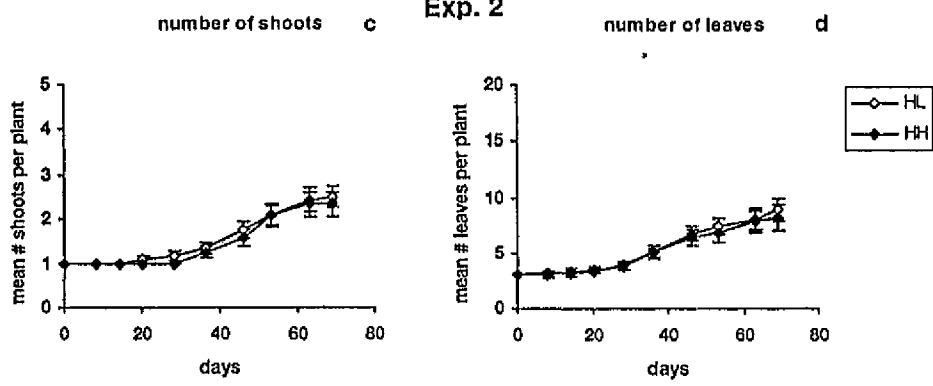
In alle drie de experimenten nam zowel het aantal nieuw gevormde bladeren als het aantal verloren bladeren toe in de tijd (Fig. 6, three-way ANOVA's, P<0.001).

### **2.2.3. Bovengrondse productie en eind- biomassa in klimaatkamer-experimenten**

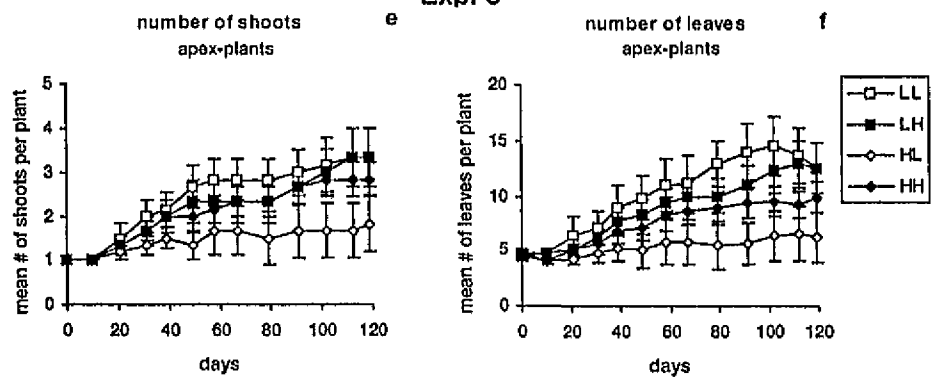
De bovengrondse productie was significant hoger bij een laag zoutgehalte in Exp. 1 (Fig. 7a; three-way ANOVA, P<0.05). De gevormde bladeren waren weliswaar significant kleiner dan bij een hoog zoutgehalte (Fig. 7b; three-way ANOVA, P<0.001), maar omdat er meer bladeren werden geproduceerd (Fig. 5b en 6a) was de productie per plant toch groter.



Exp. 2



Exp. 3



Exp. 3

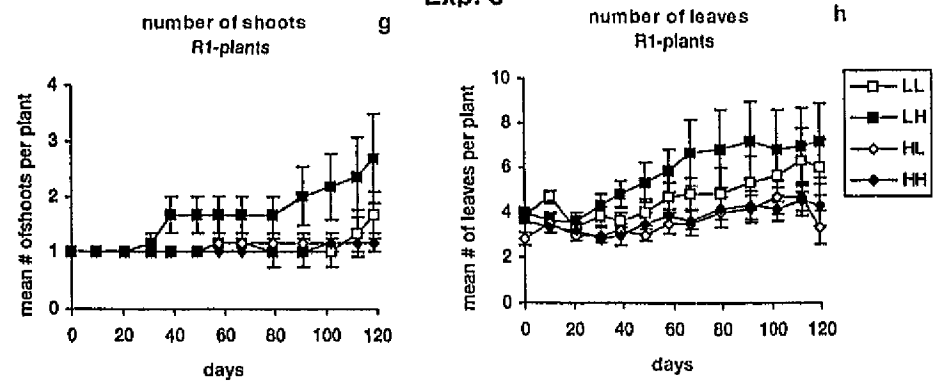


Fig. 5. Het aantal scheuten en bladeren van de zeegrasplanten gedurende Exp. 1 (a,b; gemiddelde van 12 met standaard fout), Exp. 2 (c,d; gemiddelde van 12 planten met standaard fout), en Exp. 3 apex-planten (e,f; gemiddelde van 6 planten met standaard fout) en R1-planten (g,h; gemiddelde van 6 planten met standaard fout). LL = laag zoutgehalte laag silicaatgehalte, LH = laag zoutgehalte hoog silicaatgehalte, HL = hoog zoutgehalte laag silicaatgehalte en HH is hoog zoutgehalte hoog silicaatgehalte (zie Tabel 1).

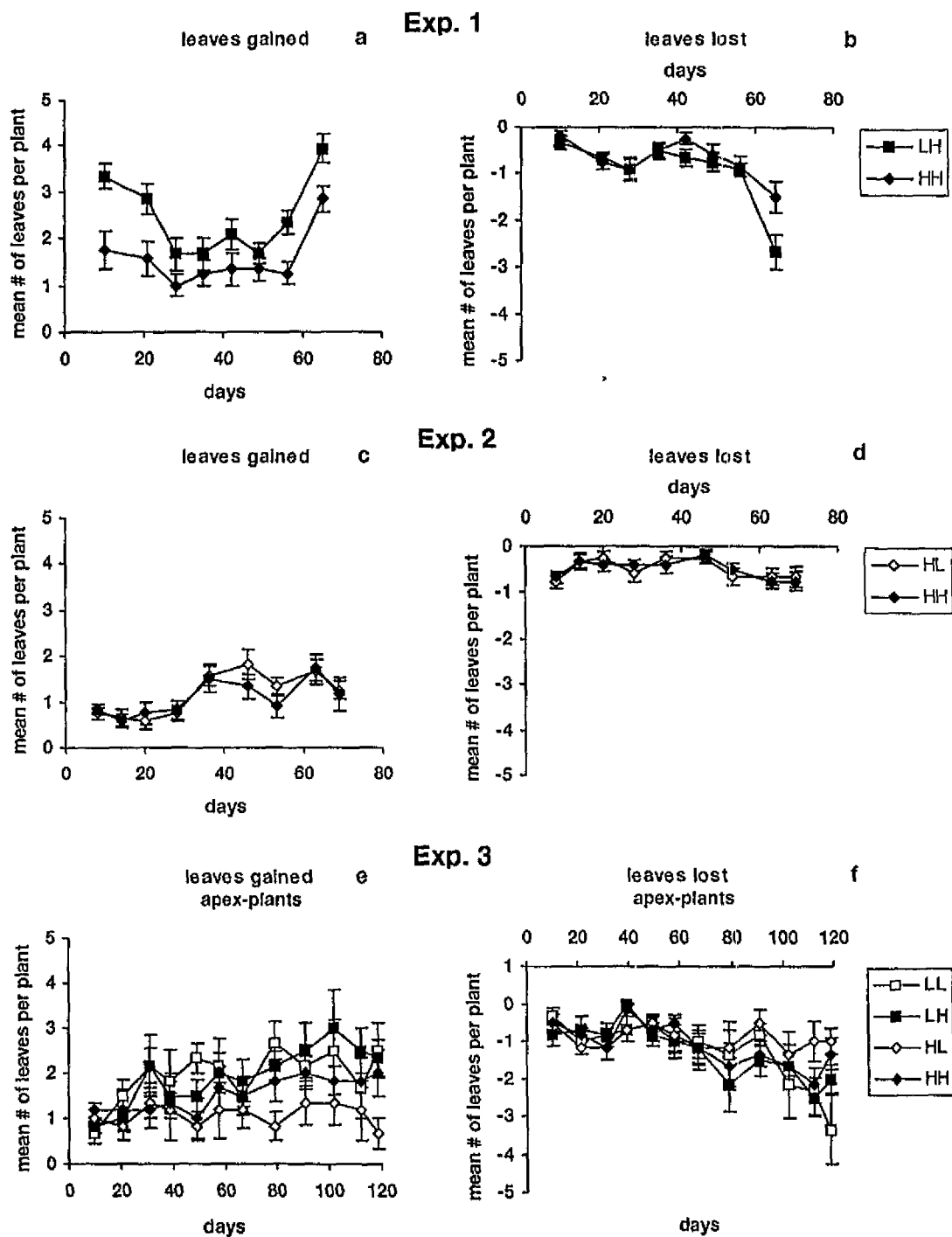


Fig. 6. Het aantal nieuw gevormde bladeren en verloren bladeren van de zee grasplanten gedurende Exp. 1 (a,b; gemiddelde van 12 planten met standaard fout), Exp. 2 (c,d; gemiddelde van 12 planten met standaard fout), en Exp. 3 apex-planten (e,f; gemiddelde van 6 planten met standaard fout). LL = laag zoutgehalte laag silicaatgehalte, LH = laag zoutgehalte hoog silicaatgehalte, HL = hoog zoutgehalte laag silicaatgehalte en HH is hoog zoutgehalte hoog silicaatgehalte (zie Tabel 1).



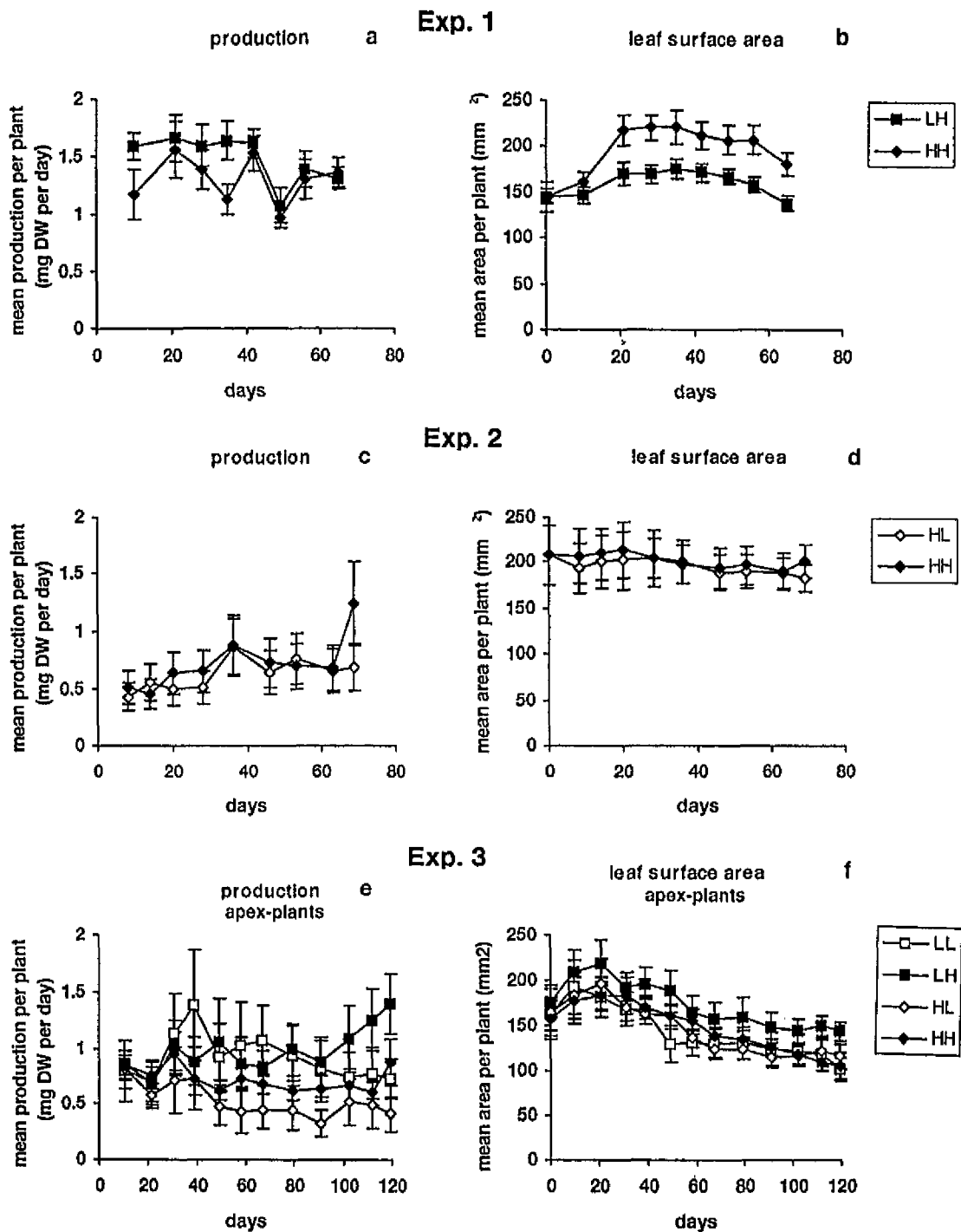


Fig. 7. De bovengrondse productie en bladoppervlak per plant gedurende Exp. 1 (a,b; gemiddelde van 12 planten met standaard fout), Exp. 2 (c,d; gemiddelde van 12 planten met standaard fout), en Exp. 3 apex-planten (e,f; gemiddelde van 6 planten met standaard fout). LL = laag zoutgehalte laag silicaatgehalte, LH = laag zoutgehalte hoog silicaatgehalte, HL = hoog zoutgehalte laag silicaatgehalte en HH is hoog zoutgehalte hoog silicaatgehalte (zie Tabel 1).

Tabel 3. Overzicht van significante verschillen tussen de behandelingen van Exp. 3 bepaald met een Tukey Kramer procedure als post hoc test na ANOVA. LL= laag zout en laag silicaat, LH = laag zout en hoog silicaat, HL = hoog zout en laag silicaat, HH = hoog zout en hoog silicaat; \* =  $P < 0.05$ , \*\* =  $P < 0.01$ , \*\*\* =  $P < 0.001$ . Het aantal nieuw gevormde bladeren, verloren bladeren, de bovengrondse produktie en het bladoppervlak alleen uitgerekend voor de apex-planten.

variabele:	behandeling:			
	LL	LH	HL	HH
<i>apex-planten</i>				
scheuten	HL***	HL***	LL***LH***HH***	HL***
bladeren	HL***HH***	HL***	LL***LH***HH**	LL***HL***
nieuw blad	HL***	HL***	LL***LH***HH*	HL*
<i>R1-planten</i>				
scheuten	LH***	LL***HL***HH***	LH***	LH***
bladeren	LH*HL**HH*	LL*HL***HH***	LL**LH***	LL*LH***
<i>apex-planten</i>				
produktie	HL***	HL***HH*	LL***LH***	LH*
blad oppervlak	LH***	LL***HL***HH***	LH***	LH***
ondergrondse-biomassa	HL*		LL*	
ratio onder/boven	HH*		HH*	LL*HL*
<i>R1-planten</i>				
bovengrondse-biomassa	HL**		LL**	
ondergrondse-biomassa	HL**HH**		LL**	LL**
ratio onder/boven			HH**	HL**

De bovengrondse produktie en bladgrootte werden niet beïnvloed door het silicaatgehalte in Exp. 2 (Fig. 7c,d; three-way ANOVA's).

Ook in Exp. 3 was de bovengrondse produktie significant hoger bij een laag zoutgehalte (Fig. 7e; Tabel 3). Ditmaal werden significant grotere bladeren bij een laag zoutgehalte gevonden (behandeling laag zoutgehalte hoog silicaatgehalte; Fig. 7f; Tabel 3). In dit experiment is het opvallend dat het gemiddelde bladoppervlak in alle behandelingen afnam gedurende de tijd (Fig. 7f; three-way ANOVA,  $P < 0.001$ ). De produktie werd wederom niet beïnvloed door het silicaatgehalte (Fig. 7e; Tabel 3). Een significant verschil in bladgrootte tussen de silicaat-behandelingen werd ook niet gevonden in Exp. 3 (Fig. 7f; Tabel 3).

Naast het bepalen van het aantal aanwezige scheuten en bladeren gedurende de experimenten is aan het einde van de experimenten ook de bovengrondse-biomassa bepaald, d.w.z. het gewicht van de scheuten en bladeren van één plant tesamen. Tevens is de ondergrondse-biomassa (het rhizoom-wortel stelsel) van deze planten bepaald. In Exp. 1 was de bovengrondse- en ondergrondse-biomassa significant toe genomen ten opzichte van de beginsituatie (Fig. 8a; one-way ANOVA met post hoc test,  $P < 0.001$ ; en Fig. 8b; one-way ANOVA met post hoc test,  $P < 0.01$ ). De bovengrondse- en ondergrondse-biomassa waren lager bij een hoog zoutgehalte (Fig. 8.). Dit was significant voor de ondergrondse-

biomassa (t-test,  $P < 0.05$ ). De ratio tussen bovengrondse- en ondergrondse-biomassa was zodoende significant hoger in de hoog zoutgehalte behandeling (Fig. 8c; t-test,  $P < 0.05$ ). Dit ondersteunt de vorming van relatief minder ondergrondse-biomassa bij een hoog zoutgehalte.

Ook in Exp. 2 nam de biomassa toe ten opzichte van de beginsituatie (Fig. 8d,e). Het silicaatgehalte had geen effect op de eindbiomassa (Fig. 8d,e,f; t-tests).

In Exp. 3 nam de ondergrondse-biomassa halverwege het experiment (Fig. 9b) en aan het einde van het experiment (Fig. 10b,e) significant toe ten opzichte van de beginsituatie (one-way ANOVA's met post hoc tests,  $P < 0.05$ ). De bovengrondse-biomassa werd slechts bij één bemonstering significant beïnvloed door de behandeling. De hoog zoutgehalte met gelijktijdig laag silicaatgehalte behandeling was significant lager dan de laag zoutgehalte met gelijktijdig laag silicaatgehalte behandeling voor de R1-planten van Exp. 3 (Fig. 10d; Tabel 3). De ondergrondse-biomassa was significant hoger bij een laag zoutgehalte (Fig. 10b,e; Tabel 3). Dit verschil was echter nog niet significant bij de tussentijdse biomassa bepaling van Exp. 3 (Fig. 9b; one-way ANOVA). Het silicaatgehalte had ook hier geen effect op de biomassa (Tabel 3) Fig. 9&10). De ratio tussen bovengrondse- en ondergrondse-biomassa was significant hoger in de hoog zoutgehalte met gelijktijdig hoog silicaatgehalte behandeling dan in de hoog zoutgehalte met gelijktijdig laag silicaatgehalte behandeling (Tabel 3).

Het silicaatgehalte van zowel de bladeren als het rhizoom-wortel stelsel was hoger in de hoog silicaatgehalte behandeling van Exp. 2 (Fig. 11). Het verschil was echter niet significant (t-test).

#### 2.2.4. Epifyten

Het silicaatgehalte van het water zou op een indirecte wijze van invloed kunnen zijn op de groei van *Z. marina* via de epifytengroei op de bladeren. Daarom is gedurende Exp. 3 de epifyten-begroeiing op de zeegrassbladeren gevolgd. Op het moment van bemonstering was de leeftijd van een derde blad gemiddeld 37 dagen. Deze leeftijd verschilde niet per behandeling (one-way ANOVA). De epifyten belasting was meestal lager op bladeren gevormd bij een hoog silicaatgehalte dan bij een laag silicaatgehalte (Fig. 12a). De verschillen waren echter niet significant (two-way ANOVA). Daarnaast werden altijd minder cyanobacteriën en relatief meer diatomeeën aangetroffen op de bladeren uit de hoog silicaatgehalte behandelingen (Fig. 12b). Alleen de laag zout laag silicaatgehalte behandeling had significant minder diatomeeën dan de andere drie behandelingen (two-way ANOVA met post hoc test,  $P < 0.05$ ). Aangezien diatomeeën silicium nodig hebben voor het maken van hun skeletstructuur is het niet verwonderlijk dat dit type epifyt juist dominant is in de behandelingen met een hoog silicaatgehalte. De verschillen tussen de behandelingen waren veel kleiner op dag 78 en dag 112 dan op dag 30. Dit kan veroorzaakt zijn door het slecht functioneren van de demin-installatie tussen dag 67 en 88. In die periode was het silicaatgehalte van het water ook verhoogd in de laag silicaatgehalte behandelingen (Fig. 4). Desalniettemin suggereren deze resultaten dat de planten minder belast worden met epifyten bij een hoog silicaatgehalte. Dit zou zo kunnen zijn omdat de silicaat-behoevende diatomeeën bij een hoog silicaatgehalte kunnen domineren. Dit type epifyt bereikt om nog onbekende redenen een lagere biomassa dan cyanobacteriën. Een lagere epifyten belasting zou gunstig kunnen zijn voor de groei van het zeegras omdat meer licht de bladeren bereikt en minder concurrentie voor nutriënten plaats vindt.

De epifytengegevens van het klimaatkamer-experiment worden ondersteund door de veld gegevens. Op de monsterdagen had het Veerse-Meer water een veel hoger silicaatgehalte dan het water in de Grevelingen (respectievelijk 40 en 60  $\mu\text{M}$  Si in het Veerse Meer en 1 en 8  $\mu\text{M}$  Si in de Grevelingen). De epifyten belasting van de zeegrassen in het Veerse-Meer water was veel lager dan in het Grevelingen-water (Fig. 12c, two-way ANOVA,  $P < 0.001$ ). In het Veerse Meer kwamen uitsluitend diatomeeën voor als epifyt op zeegrassbladeren, terwijl op de bladeren verzameld in de Grevelingen heel weinig diatomeeën aanwezig waren (Fig. 12d; two-way ANOVA,  $P < 0.001$ ). In de Grevelingen domineerden

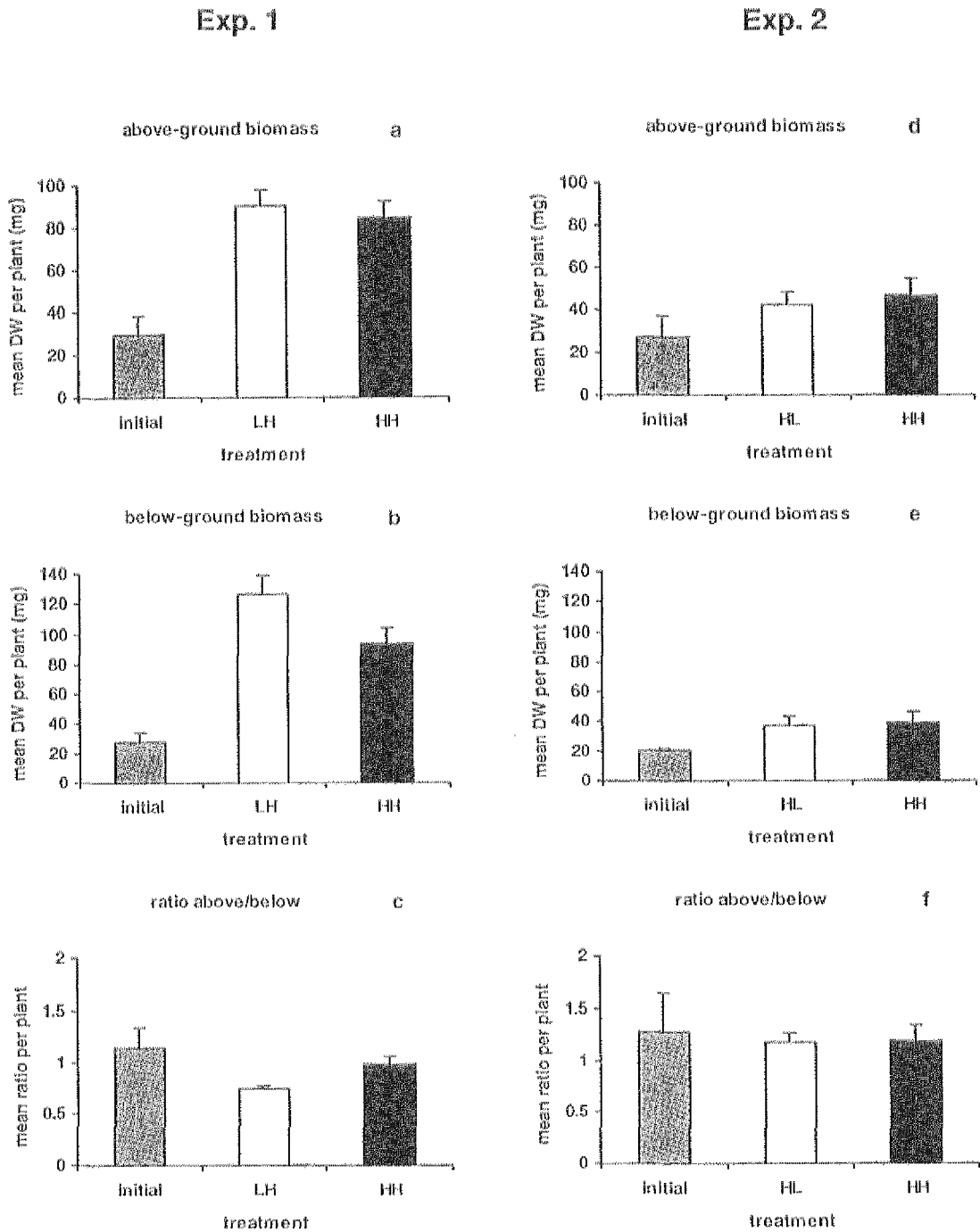


Fig. 8. De bovengrondse-biomassa, ondergrondse-biomassa en ratio tussen bovengrondse-biomassa en ondergrondse-biomassa per plant aan het eind van Exp. 1 (a,b,c; gemiddelde van 12 planten met standaard fout) en Exp. 2 (d,e,f; gemiddelde van 12 planten met standaard fout). LH = laag zoutgehalte hoog silicaatgehalte, HL = hoog zoutgehalte laag silicaatgehalte en HH is hoog zoutgehalte hoog silicaatgehalte (zie Tabel 1), de beginwaarde is met grijs aangegeven.

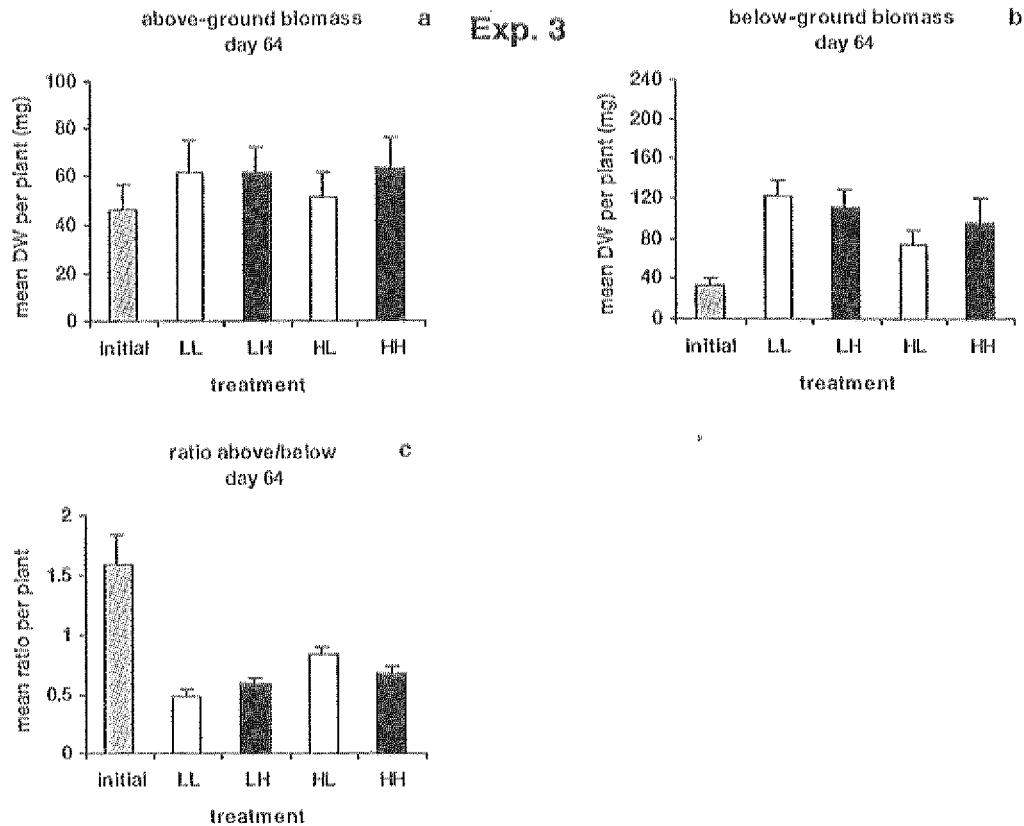


Fig. 9. De bovengrondse-biomassa (a), ondergrondse-biomassa (b) en ratio tussen bovengrondse-biomassa en ondergrondse-biomassa (c) per plant halverwege Exp. 3 (gemiddelde van 12 planten met standaard fout). LL = laag zoutgehalte laag silicaatgehalte, LH = laag zoutgehalte hoog silicaatgehalte, HL = hoog zoutgehalte laag silicaatgehalte en HH is hoog zoutgehalte hoog silicaat (zie Tabel 1), de beginwaarde is met grijs aangegeven.

filamenteuze roodwieren en cyanobacteriën (Fig. 12d). Mogelijk is naast de biomassa ook het type epifyt dat op de bladeren aanwezig is (al of niet silicaatbehoevend) van belang voor de vitaliteit van het zeegras, omdat bijvoorbeeld het verschil in pigmentsamenstelling van de drie typen epifyten (diatomeeën, cyanobacteriën en roodwieren) tot gevolg heeft dat licht bij verschillende frequenties wordt ingevangen. De klimaatkamer-experimenten lieten echter geen duidelijke effecten van een verhoogd silicaatgehalte in het water op de groei van de zeegras planten zien (zie boven). Dit maakt een eventuele rol van de epifyten minder aannemelijk.

### 2.2.5. Groei-experiment in buitenbak

In dit experiment werd het effect van ongefiltreerd zeewater dat was verzameld in de Grevelingen of de Oosterschelde op de groei van *Z. marina* uit de Grevelingen getest in een buitenbak. Tijdens het groei-experiment waren de omstandigheden in beide watertypen vergelijkbaar. Alleen het fosfaatgehalte was consistent iets hoger in het Grevelingen-water (Fig. 13). De planten toonden in alle aquaria een toename in het aantal scheuten en bladeren gedurende het experiment (Fig. 14a,b; three-way ANOVA,  $P < 0.05$ ). Er werd echter geen significant verschil in gemiddeld aantal bladeren of scheuten tussen de beide water typen gevonden (Fig. 14a,b; three-way ANOVA's). Voor het berekenen van het aantal verdwenen en het aantal nieuw gevormde bladeren alsmede het gemiddelde bladoppervlak en de produktie zijn 4 planten van gelijke begin grootte geselecteerd (1 per aquarium). Geen van deze

## Exp. 3

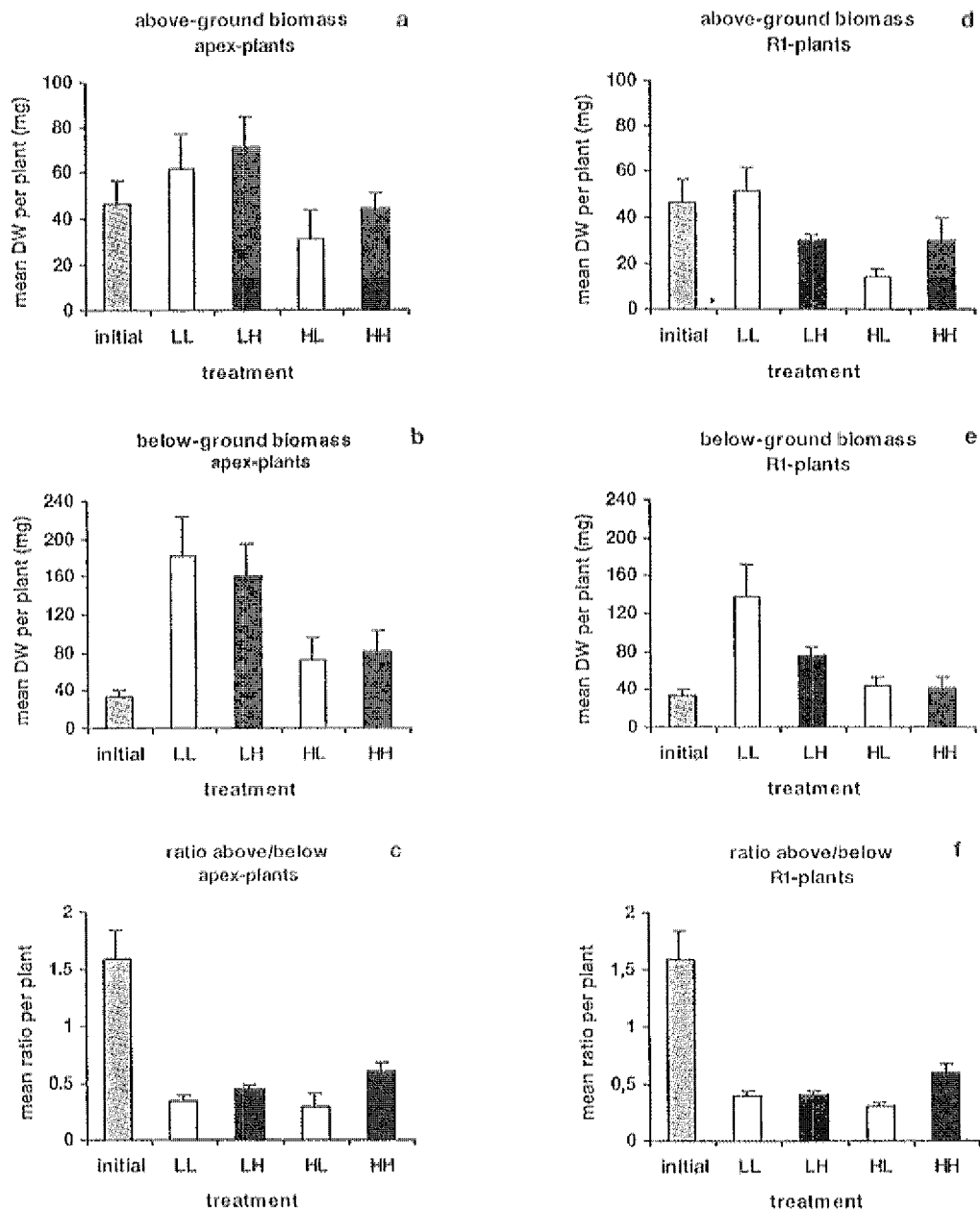


Fig. 10. De bovengrondse-biomassa, ondergrondse-biomassa en ratio tussen bovengrondse-biomassa en ondergrondse-biomassa per plant aan het eind van Exp. 3 apex-planten (a,b,c; gemiddelde van 6 planten met standaard fout) en R1-planten (d,e,f; gemiddelde van 6 planten met standaard fout). LL = laag zoutgehalte laag silicaatgehalte, LH = laag zoutgehalte hoog silicaatgehalte, HL = hoog zoutgehalte laag silicaatgehalte, HH is hoog zoutgehalte hoog silicaat (zie Tabel 1), de beginwaarde is met grijs aangegeven.

## Exp. 2

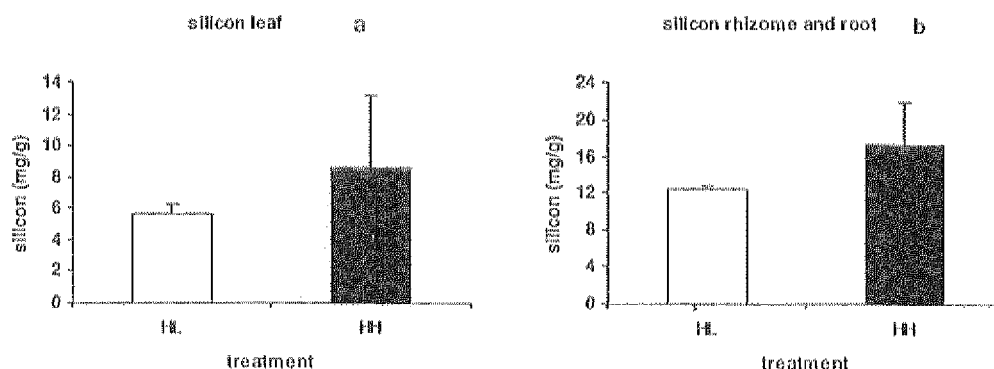


Fig. 11. Het silicaatgehalte van de bladeren (a) en rhizoom en wortels (b) aan het einde van Exp. 2 (gemiddelde van 2 monsters met standaard fout). HL = hoog zoutgehalte laag silicaatgehalte en HH is hoog zoutgehalte hoog silicaatgehalte (zie Tabel 1).

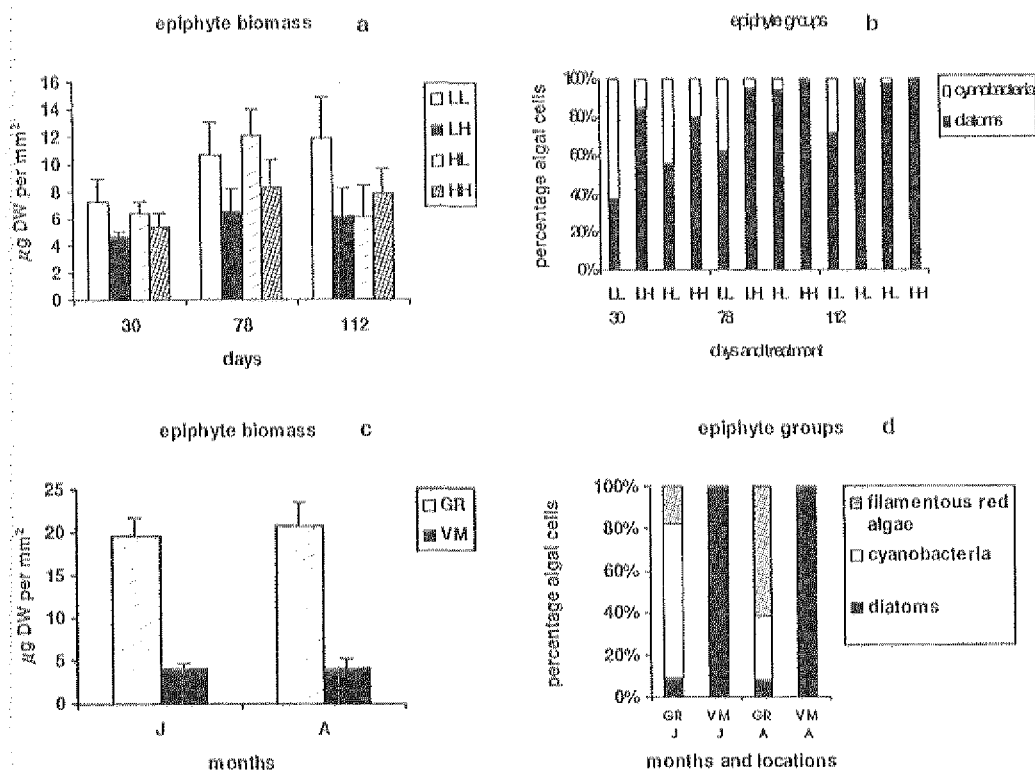


Fig. 12. Epifyten biomassa (a) en epifyten groepen (b) op zeegras bladeren op dag 30, 78 en 112 van Exp. 3 (gemiddelde van 3 cylinders met standaard fout; LL = laag zoutgehalte laag silicaatgehalte, LH = laag zoutgehalte hoog silicaatgehalte, HL = hoog zoutgehalte laag silicaatgehalte en HH is hoog zoutgehalte hoog silicaatgehalte; zie Tabel 1) en epifyten biomassa (c) en epifyten groepen (d) op zeegras bladeren in het Veerse Meer (VM) en de Grevelingen (GR) in juli (J) en augustus (A), gemiddelde van 9 bladeren met standaard fout.

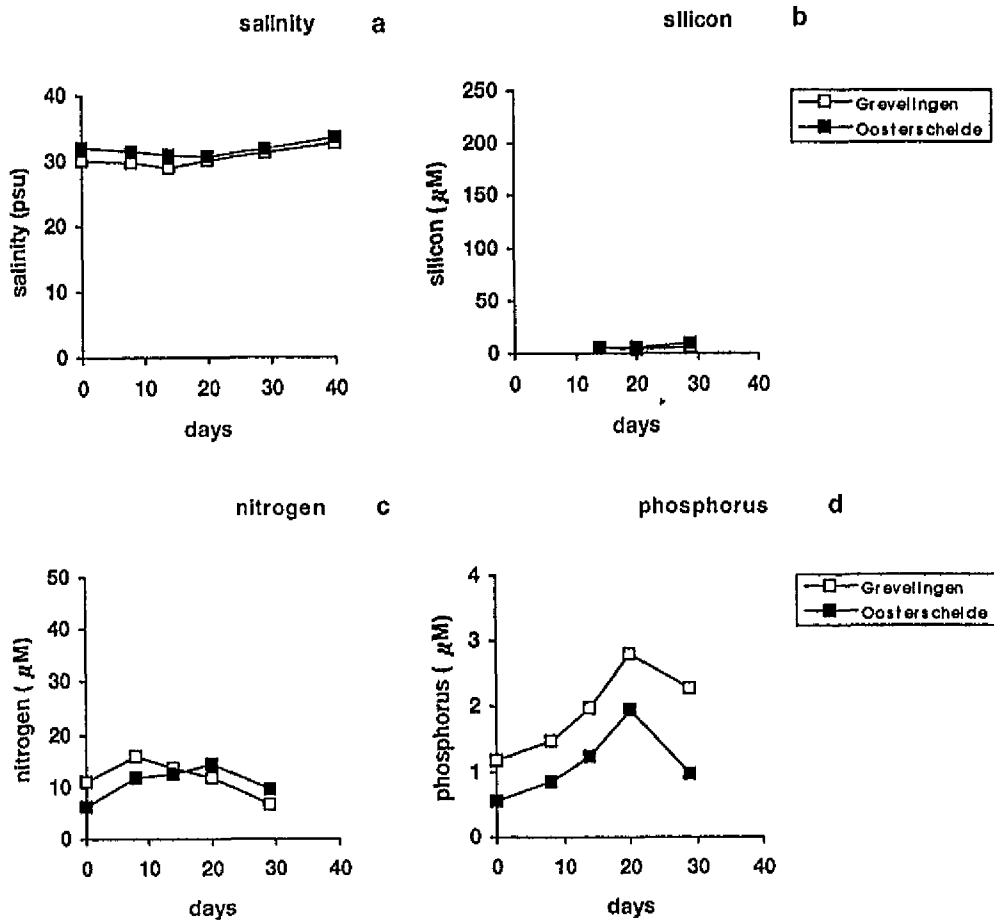


Fig. 13. Zoutgehalte (a) en silicaat- (b), stikstof- ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_x$ ) (c) en fosfaat-concentratie (d) in het Grevelingen- en Oosterschelde water gebruikt in het buitenbak-experiment.

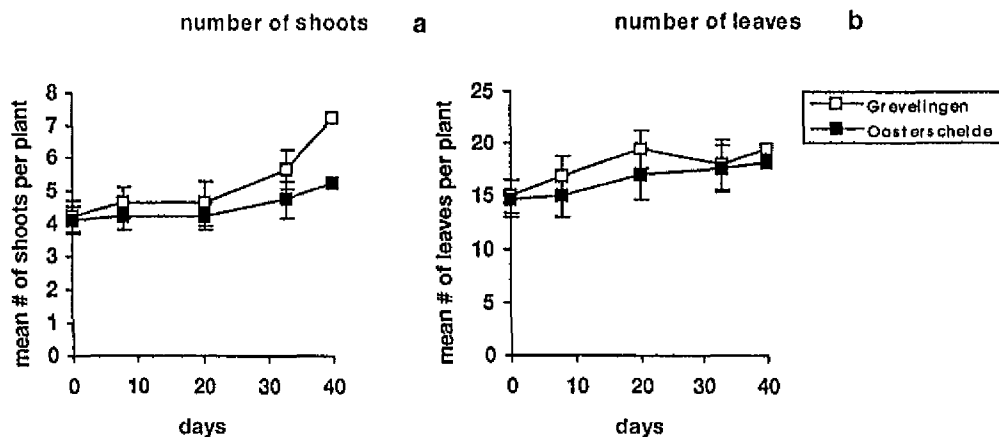


Fig. 14. Het aantal scheuten (a) en bladeren (b) van de zeegrasplanten gedurende het buitenbak-experiment (gemiddelde van 8 planten met standaard fout).



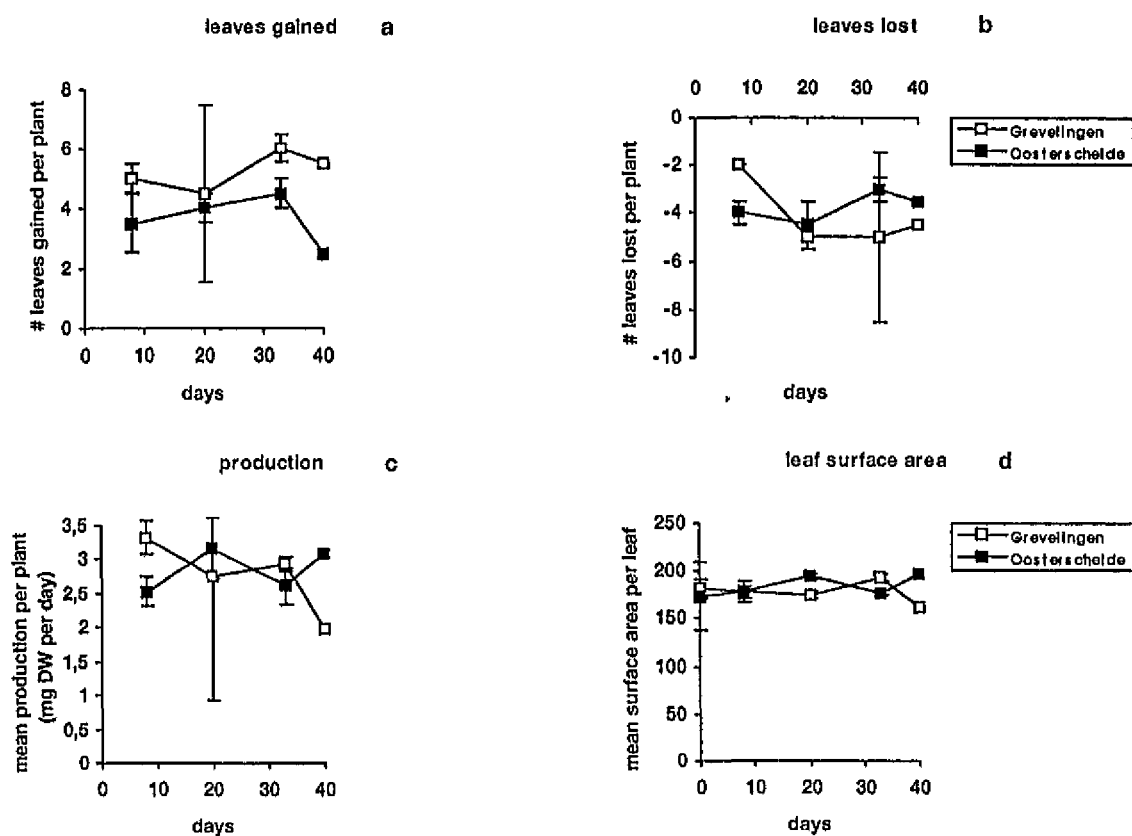


Fig. 15. Het aantal nieuw gevormde bladeren (a), verloren bladeren (b), de bovengrondse productie (c) en het bladoppervlak (d) van de zeegrasplanten gedurende het buitenbak-experiment (gemiddelde van 2 planten met standaard fout).

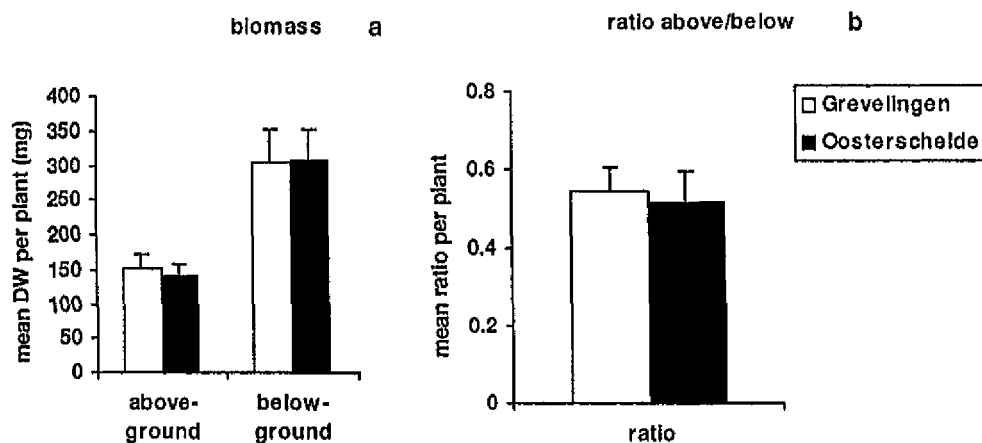


Fig. 16. De bovengrondse- en ondergrondse-biomassa (a) en de ratio tussen bovengrondse-biomassa en ondergrondse-biomassa (b) per plant aan het eind van het buitenbak-experiment (gemiddelde van 8 planten met standaard fout).

factoren verschilde significant per behandeling. (Fig. 15; two-way ANOVA's). De eind-biomassa en de ratio tussen bovengrondse- en ondergrondse-biomassa waren eveneens gelijk (Fig. 16; two-way ANOVA's). Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat het Grevelingen-water, althans in de zomer van 1997, geen andere bestanddelen lijkt te bevatten die direct remmend werken op de groei van zeegras.

### **2.2.6. Zaadkieming**

De Kiemtest 1 (effect van silicaatgehalte) liet zien dat kieming goed mogelijk is bij 1 psu. In beide behandelingen was het percentage ontkiemde zaden na 5 dagen al ruim 70 % (Fig. 17a). Silicaat is niet essentieel is voor een goede kieming van de zaden. Het kiemingspercentage was zelfs lager met een verhoogd silicaatgehalte (two-way ANOVA,  $P < 0.01$ ).

In Kiemtest 2 (effect van silicaatgehalte) nam het percentage gekiemde zaden iets minder snel toe en ook ontkiemde maximaal maar 40 %. (Fig. 17b). Dit zou te maken kunnen hebben met de kortere koudeperiode (11 dagen i.p.v. 7 maanden) waaraan de zaden zijn blootgesteld voor aanvang van het experiment. Kieming was beter bij 0 en 40  $\mu\text{M}$  Si dan bij 100  $\mu\text{M}$  (two-way ANOVA met post hoc test,  $P < 0.001$ ). Een overmaat aan silicaat lijkt zowel in deze test als in Kiemtest 1 de kieming te remmen. Er werd geen verschil in kieming tussen zaad uit het Veerse Meer of uit de Grevelingen gevonden (three-way ANOVA), maar wel een interactie tussen behandeling en type zaad (three-way ANOVA,  $P < 0.01$ ). Dit laatste komt voort uit het feit dat de Grevelingen zaden even goed kiemden als de Veerse Meer zaden bij 0  $\mu\text{M}$ , beter kiemden dan de Veerse Meer zaden bij 40  $\mu\text{M}$ , en slechter kiemden dan Veerse Meer zaden bij 100  $\mu\text{M}$ .

In Kiemtest 3 (effect van saliniteit en silicaatgehalte) was na 3 dagen één zaad uit het Veerse Meer ontkiemd in de laag zoutgehalte met gelijktijdig laag silicaatgehalte behandeling. Verdere kieming is uitgebleven. Beter kieming van deze zaden is in principe mogelijk omdat zaden uit dezelfde batch bij 1 psu wel ontkiemen (zie resultaten Kiemtest 2 hierboven). Een zoutgehalte van 22 is waarschijnlijk al te hoog voor goede kieming van Groot zeegras zaden uit de Grevelingen en het Veerse Meer.

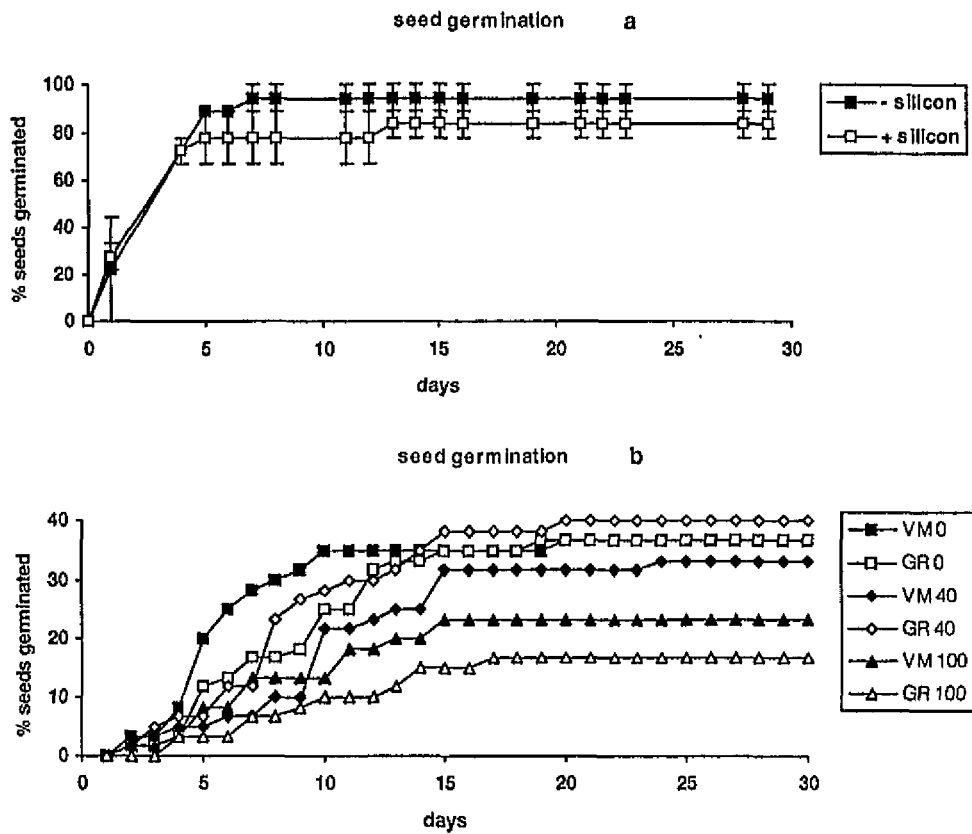


Fig. 17. Het percentage ontkiemde zaden gedurende (a) Kiemtest 1 (gemiddelde van 2 petrischalen met standaard fout) en (b) Kiemtest 2 (gemiddelde van 3 emmers), VM = Veerse Meer, GR = Grevelingen, 0 = wekelijks 0  $\mu\text{M}$  silicaat toegevoegd, 40 = wekelijks 40  $\mu\text{M}$  silicaat toegevoegd en 100 = wekelijks 100  $\mu\text{M}$  silicaat toegevoegd.

### 3. Achteruitgang van het zeegras in Nederland

#### 3.1. Conclusies experimenteel onderzoek

##### **Effect van verlaging van zoutgehalte**

De resultaten van de groei-experimenten bij verschillende zoutgehalten (hoofdstuk 2) geven aan dat *Zostera marina* planten bij een lager zoutgehalte dan het huidige zoutgehalte in de Grevelingen een grotere vitaliteit hebben, tot uiting komend in een hogere productie, dan planten die groeien onder omstandigheden met een hoog zoutgehalte (32 psu). Bij een laag zoutgehalte (22 psu) waren meer scheuten en bladeren per plant aanwezig, was de bovengrondse productie hoger en werd meer ondergrondse-biomassa gevormd.

*Z. marina* kent zowel een meerjarige overlevingsstrategie met vegetatieve voortplanting als een éénjarige strategie met voortplanting d.m.v. zaadvorming. De meerjarige strategie is de meest algemene en genetische verschillen tussen meerjarige en éénjarige populaties zijn niet duidelijk aangetoond (de Heij & Nienhuis, 1992). Het volgen van een meerjarige of éénjarige strategie wordt waarschijnlijk vooral bepaald door verschillende omgevingsfactoren zoals b.v. plaats in de getijzone, stabiliteit van het sediment en stroomsnelheid (de Heij & Nienhuis, 1992). De meerjarige zeegraspopulatie in de Grevelingen is afhankelijk van vegetatieve voortplanting door middel van het vormen van nieuwe scheuten en het overwinteren van scheuten en ondergrondse-biomassa. Dit in tegenstelling tot een éénjarige populatie, die, als de omstandigheden gunstig zijn, ieder jaar opnieuw uit zaden kan ontstaan. De vorming van meer scheuten en ondergrondse-biomassa, zoals gevonden voor *Z. marina* groeiend bij een laag zoutgehalte, kan dus gunstig zijn voor het vergroten van het zeegrasareaal.

Een optimale range van zoutgehalten is beschreven voor vele soorten zeegras (zie b.v. Zieman, 1975; Walker, 1985). Als het zoutgehalte zich boven die optimale range bevindt ontstaat zoutstress. Dit kan zich uiten in verlaagde fotosynthese snelheden (Ogata & Matsui, 1964; Biebl & McRoy, 1971). Er zijn aanwijzingen dat dit ook het geval was bij de hoog zoutgehalte behandelingen van de groei-experimenten. Aan het einde van Exp. 3 zijn enkele metingen uitgevoerd met de PAM-fluorometer. De optimale quantum efficiëntie, een maat voor de fotosynthese efficiëntie, was iets lager voor bladeren van planten gekweekt bij een hoog zoutgehalte (Kamermans & Kromkamp, ongepubliceerde gegevens).

##### **Effect van verhoging van silicaatgehalte**

De in hoofdstuk 2 gepresenteerde resultaten laten zien dat het verhogen van het silicaatgehalte (van ongeveer 5  $\mu\text{M}$  naar 70-100  $\mu\text{M}$ ) geen effect had op de groei van *Z. marina*. De silicaatgehalten van de planten waren wel iets hoger bij een verhoogd silicaatgehalte. Een verlichting van de zoutstress door verhoging van de silicaatbeschikbaarheid zoals die gevonden is voor gerst (Liang *et al.*, 1996), is niet aangetoond met de klimaatkamer-experimenten.

Het silicaatgehalte van het water is van invloed op de hoeveelheid en het type epifyt dat groeit op *Z. marina* bladeren. Bij hoge silicaatgehalten was de epifytenbelasting lager en bestond ze voornamelijk uit diatomeeën. Een eventuele rol van door silicaat gereguleerde epifyten lijkt echter onwaarschijnlijk, omdat verschillen in groei van het zeegras niet werden gevonden.

Op basis van deze resultaten kan de door Herman *et al.* (1996) geponeerde stelling dat verminderde silicaatgehalten in het water de oorzaak zijn van de achteruitgang van de zeegraspopulatie in de Grevelingen worden verworpen. De geobserveerde significante correlatie tussen het silicaatgehalte van het water en de grootte van het zeegrasareaal kan mogelijk verklaard worden door een derde, niet in de analyse betrokken, factor die covarieert met het silicaatgehalte.

## 3.2. Nadere analyse

### 3.2.1. Inleiding

Zoals in hoofdstuk 1 is beschreven, is recent is het idee naar voren gekomen dat momenteel in veel zoute wateren de beperking van aanvoer van zoet water wel eens van doorslaggevend belang zou kunnen zijn bij de achteruitgang van het zeegras in Nederland. Deze gedachte wordt ondersteund door de uitkomsten van het huidige onderzoek, waaruit blijkt dat het zoutgehalte van het water de groei van Groot zeegras beïnvloedt. In het nu volgende gedeelte wordt een bredere analyse gegeven van de achteruitgang van zeegras in de Nederlandse zoute watersystemen gedurende de afgelopen decennia. De analyse is gebaseerd op de in hoofdstuk 2 gepresenteerde experimenten, op observaties van de auteurs, en op literatuur, waarvan een deel als rapporten beschikbaar is. Veel informatie is terug te vinden in KUN- en RIKZ-rapporten van Giesen (1990), Wijgergangs (1994), Wijgergangs & Van Katwijk (1993), Wijgergangs & de Jong (in prep.), Bellemakers en de Jong (in prep.) en de Jonge & de Jong (1992), alsmede in Hemminga *et al.* (in prep.). De analyse is februari 1997 in concept-vorm besproken in een forum van zeegrasdeskundigen (K. Dijkema, M. Hemminga, D. de Jong, V. de Jonge, M. van Katwijk, W. Wolff).

De experimentele resultaten van hoofdstuk 2 worden in een algemeen kader geplaatst van groeibepalende factoren voor zeegras (3.2.2.). Per factor wordt een korte beschrijving gegeven van het belang ervan voor zeegras en hoe zeegras zich de afgelopen decennia heeft gedragen in relatie tot de betreffende factor. Daarbij wordt veelal geen onderscheid gemaakt tussen de twee soorten (Groot zeegras, *Zostera marina* en Klein zeegras, *Zostera noltii*, tenzij dit relevant is.

### 3.2.2. Groeibepalende factoren

#### **Zoutgehalte**

*Z. marina* en *Z. noltii* zijn planten, die in zoute en brakke wateren kunnen voorkomen. De ondergrens ligt ergens rond de 10g Cl/l (18 psu); de bovengrens is onduidelijk, maar ligt vermoedelijk rond of boven de 18g/l (32.4 psu) (Wijgergangs, 1994). Daarnaast tonen de in hoofdstuk 2 gepreenteerde groei-experimenten aan dat Groot zeegras een grotere vitaliteit heeft bij een zoutgehalte van 22 psu dan bij een gehalte van 32 psu. Uit literatuur is verder bekend dat zaden van Groot en Klein zeegras veel beter kiemen en opgroeien in zoete/brakke omstandigheden dan in zoute omstandigheden (o.a. Hootsmans *et al.*, 1987). De betere groei bij een laag zoutgehalte kan mogelijk verklaard worden uit het feit dat de Nederlandse zeegraspopulaties zich van oorsprong in estuariene gebieden bevonden, zoals de Zuiderzee en het Deltagebied. Deze populaties kunnen dus verondersteld worden te zijn aangepast aan relatief lage zoutgehaltes.

Ook uit de verspreidingsgegevens in b.v. de Oosterschelde en de Waddenzee lijkt te kunnen worden geconcludeerd dat een lager zoutgehalte gunstiger is. In de Oosterschelde kwam zeegras in de jaren '70 voornamelijk voor in de uitstroomgebieden of naaste omgeving van riviertjes en gemalen, waarvan er toen nog veel waren. Ook in de internationale Waddenzee lijkt er in die periode zo'n relatie met zoetwateraanvoer te zijn; uit de habitatkaart van de Waddenzee van Dijkema (1991) kan worden opgemaakt dat in de Duitse Waddenzee de meeste zeegrasvelden voorkomen in de omgeving van sluisjes en dergelijke. In het Grevelingenmeer vallen de perioden van opkomst en grote oppervlakken zeegras globaal samen met perioden met een lager zoutgehalte (<15-16g Cl-/l), en de perioden van neergang met relatief hogere zoutgehaltes (>17g Cl-/l). De watersystemen waar zeegras de afgelopen tijd niet achteruit is gegaan of zelfs vooruit is gegaan zijn Veerse Meer en Eems, systemen met relatief lage zoutgehaltes.

De feitelijke situatie is dat momenteel in de Oosterschelde zeegrassen eigenlijk alleen nog in substantiële hoeveelheden voorkomen in of rond lokale uit-stroomgebieden van zoetwater. Voor de Nederlandse Waddenzee lijkt dit iets minder duidelijk, hoewel bijvoorbeeld op Terschelling één van de

nog aanwezige zeegrasvelden rond een sluisje ligt en de Paap in het bereik van de Eems ligt. De andere voorkomens in de Waddenzee lijken ook aan zoetwaterafvoer gekoppeld te kunnen worden, zij het meer diffuus; b.v. twee voorkomens op Terschelling (De Plaat, Oosterend) staan mogelijk onder invloed van kwel vanuit het achterland en recente voorkomens in de kwelderwerken staan vermoedelijk onder invloed van een gemaal. Het enige nog aanwezige zeegrasveld in het Grevelingenmeer is vermoedelijk eveneens te koppelen aan kwel.

### **Ammoniumgehalte**

Hoewel stikstof een essentieel nutriënt is voor zeegras, is ammonium in wat verhoogde concentraties waarschijnlijk toxisch. Van Katwijk *et al.* (1997) vond al negatieve effecten op Groot zeegras bij een concentratie van 25  $\mu\text{M}$  in het water. Belangrijk verschijnsel was een vervroegde sterfte van de planten. Recente groei-experimenten op het NIOO-CEMO hebben aangetoond dat de produktie van *Z. marina* beter was bij toevoeging van 10  $\mu\text{M}$  ammonium aan gefiltreerd Oosterschelde water dan bij toevoeging van 0, 5, 25 of 50  $\mu\text{M}$  (van Katwijk *et al.*, ongepubliceerde gegevens). Experimenten met zaailingen lieten zien dat de beste kieming van zeegraszaden plaats vindt bij 0 en 10  $\mu\text{M}$  en de beste overleving van de zaailingen bij 10 en 25  $\mu\text{M}$  (Kamermans & Leenders, ongepubliceerde gegevens).

In enkele watersystemen komt ammonium soms in zodanig verhoogde concentraties voor dat deze grens voor nadelige effecten mogelijk overschreden wordt, m.n. in het najaar in de Waddenzee ten zuiden van Terschelling en in het Veerse meer. Dit zou op dergelijke momenten kunnen leiden tot een versnelde najaarssterfte van de planten, waardoor minder reservevoedsel kan worden gevormd t.b.v. opslag in de worteldelen en/of mogelijk de zaden niet voldoende kunnen uitrijpen. Dit zou kunnen leiden tot een éénjarige populatie, die vervolgens niet in staat is om een goede zaadbank op te bouwen voor het volgende jaar.

### **Diepte**

Beide soorten zeegras moeten minimaal ieder hoogwater overspoeld worden in verband met uitdroging. Daarmee is de bovengrens van voorkomen in getijdewateren bepaald tot de grens waar altijd overspoeling met hoogwater voorkomt. De ondergrens wordt bepaald door de beschikbare hoeveelheid licht in verband met de fotosynthese. Daarom wordt in de zoute meren de ondergrens bepaald door de helderheid van het water en in de getijdewateren door de combinatie van de helderheid van het water en het getijverschil. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen vegetatieve overleving (een meerjarige strategie), waarvoor de plant tijdens de groei een zeker overschot moet kunnen maken dat in de worteldelen kan worden opgeslagen voor opgroei in het volgende voorjaar, en generatieve overleving (een éénjarige strategie), waarbij geen overschot nodig is maar waarbij ieder jaar de populatie opnieuw start vanuit zaden. Op basis van een meerjarige strategie kan zeegras in het Grevelingenmeer potentieel tot minimaal ca. 3 á 4m diepte voorkomen en in het Veerse meer maar tot ca. 2 á 3 m. In de huidige Oosterschelde kan zeegras potentieel voorkomen tot rond GLW (gemiddeld laag water) en in de zeer troebele Westerschelde ligt de ondergrens waarschijnlijk rond NAP (Nieuw Amsterdams Peil) of nog hoger. In de Waddenzee ligt de potentiële ondergrens momenteel eveneens rond GLW of iets daarboven. Bij aanplant-experimenten met zeegras in de Waddenzee bleek b.v. dat zeegras in principe tot dieptes van GLW kon groeien, maar dat het daar verdween, waarschijnlijk omdat de bovengrondse delen afbraken t.g.v. hydrodynamiek. In de Eems ligt de ondergrens aanzienlijk hoger (waarschijnlijk rond NAP). Op basis van een éénjarige strategie kan Groot zeegras dieper voorkomen (b.v. in het Grevelingenmeer tot 6-7m). Klein zeegras kent geen éénjarige strategie. De ondergrens die momenteel in werkelijkheid gehaald wordt is echter bijna altijd aanzienlijk hoger dan de theoretische ondergrens. In diverse gebieden is er bovendien een tendens dat zeegras wordt teruggedrongen naar de hogere delen.

### **Substraat**

Zeegrassen wortelen in de bodem. Daar halen ze ook een deel van hun voedingsstoffen uit. Een belangrijk deel van de benodigde voedingsstoffen wordt evenwel (tijdens hoogwater) uit het omringende water gehaald. De bodem is ook van essentieel belang als verankeringsmedium. Indien de

bodem te beweeglijk is zullen de planten ontwortelen en wegdrijven en zullen zaden begraven worden en/of wegspoelen. Een eis die gesteld wordt is dus een minimale mate van stevigheid in relatie tot de hydrodynamische omstandigheden. In principe kunnen beide soorten zeegras zowel in puur zand als in vrij stevige kleibodems voorkomen, zoals dat bijvoorbeeld in de Oosterschelde in het recente verleden ook het geval was. Echter met dien verstande dat ze in de pure zandbodems alleen op meer beschutte plaatsen voorkomen en dat ze op meer geëxponeerde plaatsen een duidelijke voorkeur hebben voor enigszins geconsolideerde bodems, hetzij in de vorm van kleibanken (b.v. oude schorbodems), hetzij als schelpenrijke zandbodems. Waarschijnlijk is de absolute aard van de bodem dan ook van minder belang dan de mate van stabiliteit in relatie tot hydrodynamiek (golfaanval/stroming). De actuele situatie is dat er momenteel een tendens is dat de zeegrassen zich steeds verder terugtrekken in de meer geconsolideerde delen, kleibanken en schelpenrijk zand, ook in de relatief beschutte gebieden waar ze vroeger (ook) in pure zandbodems voorkwamen.

### ***Eutrofiëring***

Door de eutrofiëring zijn de P- en N-gehalten de afgelopen decennia over het algemeen toegenomen. Dit heeft in sommige watersystemen geresulteerd in een enigszins verminderd doorzicht van het water door versterkte algenbloei, waardoor de ondergrens van zeegras wordt verhoogd. Eutrofiëring heeft ook geleid tot de opkomst van groenwieren als zeesla en darmwier. Indien deze in grote hoeveelheden aanspoelen en blijven liggen in een zeegrasveld zal het onderliggende zeegras verstikken en doodgaan. Met name in de Oosterschelde zijn er lokaal situaties waar zich dit voordoet (onder andere in de Zandkreek). De op deze wijze ontstane gaten in het veld kunnen weer opgevuld worden door groei vanuit de worteldelen aan de rand en door zaailingen. Dit laatste is echter een moeizame zaak, m.n. in velden van Klein zeegras, omdat in die gaten als regel water stagneert en Klein zeegras slechts zeer moeizaam groeit in permanent onder water staande delen.

### ***Menselijk gebruik***

Zeegras is erg gevoelig voor omwoelen van de bodem t.g.v. menselijke activiteiten zoals bodemvisserij en pierenspitten. Er zijn talloze voorbeelden van negatieve effecten van b.v. de kokkelvisserij, mosselzaadvisserij en pierenspitten op het areaal en de biomassa van zeegras. Zo is bijvoorbeeld in de Oosterschelde, nabij Zierikzee, een Klein zeegrasveld nagenoeg verdwenen als gevolg van het pierenspitten; alleen in een slecht bespitbare schelpenbank kan het zeegras zich nog enigszins handhaven. Bij Kattendijke komt op het intensief bespitte slik zeegras alleen nog voor in enkele kleine, onbespitbare kleibanken. Verder is in de Krabbenkreek een Klein zeegrasveld bevestigd door kokkelvisserij, waardoor het zeegras in de vissporen geheel verdwenen was. Door mosselvisserij, zowel zaadvisserij als in kweekpercelen, wordt de vestiging en groei van zeegras, indien al mogelijk, ernstig belemmerd. Kokkelvisserij kan naast een direct effect ook een indirect effect hebben op zeegras, omdat door het vissen schelpenbanken uit de bodem worden verwijderd, waardoor deze minder stabiel wordt. Daarnaast is recent de mogelijkheid naar voren gekomen dat door kokkelvisserij lokaal de wadpier (diep in de bodem levend en daardoor minder gevoelig voor de kokkelvisserij) sterk bevoordeeld wordt (onderzoek IBN-Texel). Het is uit onderzoek bekend dat een grote dichtheid wadpiëren voorkomt dat (Klein) zeegras zich kan handhaven (Phillipart, 1994b). Ook in de Oosterschelde zijn aanwijzingen voor dit fenomeen gevonden, waarbij er vanaf een bepaalde dichtheid (orde grootte 35-40 piëren per m<sup>2</sup>) negatieve effecten op zeegras zijn.

Hoewel er uit de Oosterschelde (periode 1986/87) en de Waddenzee (kwelderwerken eind jaren '80) voorbeelden zijn van de potentie van resp. Groot en Klein zeegras om zich snel te kunnen uitbreiden als de omstandigheden gunstig zijn (in beide gevallen lokaal tijdelijk sterk afgenomen hydro- en gebruiksdynamiek), is het opmerkelijk dat dit herstel zich niet of veel moeizamer voordoet na bovengenoemde verstoringen. Mogelijk speelt de verminderde stabiliteit van de bodem, zoals hiervoor beschreven, hierbij een rol.

### ***Rotganzen en andere vogels***

Zeegrassen worden door m.n. Rotgans veel gegeten. Daarbij worden niet alleen de bovengrondse

delen gegeten, maar ook de ondergrondse delen. Deze laatste komen beschikbaar door omwoeling van de bodem en in gaten in de begroeiing waarin water achterblijft. Deze gaten kunnen de ganzen zelf maken via de eerder genoemde omwoeling, maar kunnen ook het resultaat zijn van bv pierenspitten of inslag van wieren. In principe komt deze vraat van oudsher voor en aangenomen mag worden dat een gezonde zeegraspopulatie daar geen last van heeft (getuige b.v. de waarneming van de D. de Jong dat in de Zandkreek (Oosterschelde) in de jaren zestig jaarlijks enige honderden rotganzen een groot deel van de winter het zeegras intensief begraasden zonder dat dit achteruitging). Het is echter denkbaar dat in een ongezonde populatie het herstel van met name de ondergrondse delen vertraagd is, waardoor langzaam achteruitgang plaatsvindt.

Door combinatie van de hiervoor genoemde aspecten kan het volgende beeld worden geschetst met betrekking tot de ontwikkelingen van zeegras in Nederland in de afgelopen decennia.

1. Ten gevolge van veranderd waterbeheer en waterbouwkundige werken is in diverse watersystemen in recente decennia het zoutgehalte sterk verhoogd, tot boven 17.5-18 g Cl-/l (31.5-32.4 psu). Door het hoge zoutgehalte worden de zaadkieming en groei van m.n. Groot zeegras geremd. Verder is zeegras hierdoor wellicht in een stress-situatie gekomen, waardoor het minder goed bestand is tegen andere ongunstige omgevingsfactoren.

2. Ten gevolge van de eutrofiëring kunnen in enkele watersystemen periodes voorkomen met verhoogde ammoniumconcentraties in het water, tot een niveau dat mogelijk voor zeegras toxisch is, m.n. lokaal in het najaar in de Waddenzee en in rustige periodes in het Veerse meer. Dit betekent dat zeegras lokaal versneld kan afsterven, waardoor de opbouw van wortelreserves minder is dan normaal, en dat mogelijk de zaadvorming geremd wordt.

3. Door menselijke activiteiten zijn op diverse plaatsen de groeimogelijkheden van zeegras sterk bemoedlijkt; b.v. in de westelijke Waddenzee is door de sluiting van de Zuiderzee de hydrodynamiek toegenomen (incl. de getijslag), door kokkelvisserij kan mogelijk lokaal de dichtheid van de wadpier te groot zijn geworden om nog zeegrasgroei mogelijk te maken, in mosselkweekpercelen is zeegrasgroei uitgesloten en door regelmatig pierenspitten wordt het ook onmogelijk voor zeegras om ter plaatse te overleven.

Door dit alles zijn de planten in een relatief slechtere conditie dan normaal en mogelijk minder sterk en daardoor gevoeliger voor hydrodynamiek, waardoor ze sneller afbreken; mogelijk speelt een sterkere begroeiing met epifyten hierbij nog een extra negatieve rol. De planten komen daardoor slechts in beperkte mate toe aan de vorming van bovengrondse-biomassa en mogelijk ook zaadvorming, terwijl door een hoog zoutgehalte de zaadkieming geremd wordt. Als reactie hierop verdwijnt zeegras geleidelijk uit de pure zandbodems, omdat deze te weinig stabiel zijn, en worden de planten teruggedrongen in de meer geconsolideerde bodems, omdat ze daar minder energie hoeven te steken in sterke en grote wortelstokken. Verder komt zeegras uitsluitend nog voor in de hogere delen omdat de planten daar meer/langer licht ontvangen voor de vorming van plantaardig weefsel. Hierdoor wordt zeegras meer en meer geconcentreerd op de hogere delen in het getijdengebied en in de ondiepere delen in de meren en rond de plaatsen waar nog zoet water in de zoute wateren binnen komt, in de omgeving van gemalen en sluizen en op kwelplaatsen. Het areaal zeegras neemt geleidelijk steeds verder af. Verder komen er door de eutrofiëring, toegenomen helderheid en/of veranderde hydrodynamische omstandigheden lokaal meer groenwieren terecht in de zeegrasvelden en minder op de dijk, waardoor de sterfte door verstikking groter is dan voorheen. Deze aanslagen op het zeegras kunnen niet of slechts moelzaam worden gepareerd door de slechte groeimogelijkheden en verminderde zaadkieming. Hierdoor neemt binnen het areaal zeegras ook nog eens de dichtheid geleidelijk steeds verder af.



#### 4. Aanbevelingen

De aanbevelingen zijn gebaseerd op het experimentele onderzoek naar het effect van het zout- en silicaatgehalte van het water op de kieming en groei van *Zostera marina*.

Uit het hier gepresenteerde resultaten blijkt dat de aanwezigheid van een lager zoutgehalte dan het huidige zoutgehalte gunstig kan zijn voor het vergroten van het Groot zeegrasareaal in de Grevelingen. Herstel van de zeegraspopulatie zou kunnen worden bevorderd door het zoutgehalte in de Grevelingen te verlagen. Andere Nederlandse zeegraspopulaties, in b.v. Oosterschelde en Waddenzee, zouden momenteel eveneens bij een te hoog zoutgehalte kunnen leven. De betekenis van het zoutgehalte zou ook voor deze populaties moeten worden bepaald.

De Nederlandse zeegrassen zouden door hun estuariene verleden specifiek gevoelig kunnen zijn voor zout. Een tweede optie voor herstel van het zeegrasareaal is herintroductie van een populatie die niet gevoelig is voor de huidige hoge zoutgehalten. De bepaling van de gevoeligheid voor zout van de Nederlandse zeegras populaties is dus ook van belang voor het selecteren van stocks die mogelijk gebruikt kunnen worden voor herintroductie van zeegras. Indien alle Nederlandse populaties gevoelig zijn verdient het aanbeveling om andere Noord-Atlantische populaties te betrekken in het onderzoek. Het traceren van genetisch bepaalde fysiologische verschillen in zout-tolerantie tussen de diverse Europese zeegraspopulaties zou in dit verband waardevolle informatie kunnen opleveren. Bij de keuze tot herintroductie met gebiedsvreemde planten dient de huidige strategie tot bescherming van (genetische) biodiversiteit in de overwegingen te worden meegenomen. Hierbij zal de afweging moeten worden gemaakt tussen de voor- en nadelen van introductie van een gebiedsvreemd ecotype enerzijds en het mogelijk volledig verdwijnen van *Z. marina* uit de Nederlandse kustwateren anderzijds.

**Dankwoord**

Graag bedanken wij Dorothée Leenders, Jos van Soelen en Sara Sterle en voor hun bijdragen aan de kleim- en groei-experimenten, Ko Verschuure voor het verzamelen van de zeegrasplanten en zaden en het sediment, en Peter van Breugel, Dorothée Leenders, Joop Nieuwenhuize, Adri Merks, Jan Sinke en Dennis Zweedijk voor de nutriëntenbepalingen van de water- en zeegras-monsters.

## Literatuurlijst

- Bélanger, R.R., P.A. Bowen, D.L. Ehret, J.G. Menzies, 1995. Soluble silicon, its role in crop disease management of greenhouse crops. *Plant Disease* 79: 329-336.
- Bellemakers, M.J.S. & D.J. de Jong. De verspreidingsdynamiek van zeegras in de Oosterschelde: een beschrijving van de effecten van de Deltawerken. Rapport NIOO-CEMO & RIKZ, in prep.
- Biebl, R. & C.P. McRoy, 1971. Plasmatic resistance and rate of respiration and photosynthesis of *Zostera marina* at different salinities and temperatures. *Mar. Biol.* 8: 48-56.
- de Jonge, V. N. & D. J. de Jong, 1992. Role of tide, light and fisheries in the decline of *Zostera marina* in the Dutch Wadden Sea. In: Dankers, N., C. J.Smit & M. Scholl, 1992. Proceedings of the 7th international Wadden Sea symposium, Ameland 1990. ISBN: 0923-330X
- de Heij, H. & P.H. Nienhuis, 1992. Intraspecific variation in isozyme patterns of *Zostera marina* L. in the south-western Netherlands. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 161: 1-14.
- de Jonge, V.N., J. van den Bergs & D.J. de Jong, 1995. Zeegras in de Waddenzee, een toekomstperspectief. Rapport RWS-RIKZ/Dir. Noord Nederland, 37 pp.
- Dennison, W.C. 1987. Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution. *Aquat. Bot.* 27: 15-26.
- Dijkema, K.S. 1991. Towards a habitat map of the Netherlands, German and Danish Wadden Sea. *Ocean and Shoreline Management* 16: 1-21.
- Giesen, W., 1990. Wasting disease and present eelgrass condition. Rapport Katholieke Universiteit Nijmegen, afd Aquatische Oecologie.
- Hemminga, M.A., S. Gerbersdorf, J. Stapel, J. van Soelen, J. Nieuwenhuize & P.M.J. Herman. Silicon in seagrasses, in prep.
- Herman, P.M.J., M.A. Hemminga, P.H. Nienhuis, J.M. Verschuure & E.G.J. Wessel, 1996. The wax and wane of eelgrass (*Zostera marina* L.) and water column silicon levels. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 144: 303-307.
- Hootsmans, M.J.M., J.E. Vermaat & W. van Vierssen, 1987. Seed-bank development, germination and early seedling survival of two seagrass species from the Netherlands: *Zostera marina* (L.) and *Zostera noltii* (Hornem.). *Aquat. Bot.* 28: 275-285.
- Liang, Y., Q. Shen, Z. Shen & T. Ma, 1996. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *J. Plant Nutr.* 19: 173-183.
- Ogata, E. & Matsui, T., 1964. Photosynthesis in several marine plants of Japan as affected by salinity, drying and pH, with attention to their growth habitats. *Bot. Mar.* 8: 199-217.
- Philppart, C.J.M., 1994. Eutrophication as a possible cause of decline in the seagrass *Zostera noltii* of the Dutch Waddensea. Proefschrift, LU Wageningen, 157 pp.
- Raaijmakers, M. 1995. De kieming van Groot zeegras *Zostera marina* L. KU Nijmegen, doctoraal-

scriptie.

Sangster, A.A. & M.J. Hodson, 1986. Silica in higher plants. In: Silicon biochemistry. Wiley, New York

Tréguer, P., D.M. Nelson, A.J. Van Bennekom, D.J. DeMaster, A. Leynaert & B. Quéguiner, 1995. The silica balance in the world ocean: a reestimate. *Nature* 268: 75-379.

van Haperen, A.A.M. 1992. Rotganzen te gast in de Delta. *De Levende Natuur* 93: 164-169.

van Katwijk, M. M., L. H. T. Vergeer, G. H. W. Schmitz & J. G. M. Roelofs, 1997. Ammonium toxicity in eelgrass *Zostera marina*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 157: 159-173.

Walker, D.I., 1985. Correlations between salinity and growth of the seagrass *Amphibolis antarctica* (Labill.) Sonder & Aschers., in Shark Bay, Western Australia, using a new method for measuring production rate. *Aquat. Bot.* 23: 13-26.

Wijgergangs, L. J. M., 1994. Zeegrass in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde; relatie met voedingsstoffen en zoutgehalte. Rapport Katholieke Universiteit Nijmegen, afd Aquatische oecologie, vakgroep Oecologie.

Wijgergangs L.J.M. & M.M. van Katwijk, 1993. Zeegrasssterfte in het Grevelingenmeer; een studie naar de mogelijke oorzaken van de afname van het Groot zeegrass, *Zostera marina* L., sinds eind jaren tachtig. Vakgroep Oecologie, werkgroep Aquatische Oecologie, KU Nijmegen, 60 pp.

Wijgergangs, L.J.M., & D.J. de Jong. Een ecologisch profiel van zeegrass en de verspreiding in Nederland. Rapport KUN en RIKZ, in prep.

Zieman, J.C., 1975. Seasonal variation of turtle grass, *Thalassia testudinum* König, with reference to temperature and salinity effects. *Aquat. Bot.* 1: 107-123.

**Reeds verschenen BEON rapporten:**

BEON rapport nr.	1.	BEON Meerjarenplan 1988-1993.	1987
BEON rapport nr.	2.	BEON Jaarwerkplan 1988.	1988
BEON rapport nr.	3.	BEON Modellerig.	1988
BEON rapport nr.	4.	BEON meerjaren Uitvoeringsprogramma 1988-1993.	1989
BEON rapport nr.	5.	BEON Jaarwerkplan 1989.	1989
BEON rapport nr.	6.	Findings of the BEON Workshop in preparation for the Third North Sea Conference.	1989
BEON rapport nr.	7.	Beleidspresentatie BEON 23 juni 1989 Den Haag.	1989
BEON rapport nr.	8.	Effects of Beamtrawl Fishery on the Bottom Fauna in the North Sea.	1990
BEON rapport nr.	9.	BEON Jaarwerkplan 1990.	1990
BEON rapport nr.	10.	BEON Voortgangsrapport 1988-1989.	1990
BEON rapport nr.	11.	Beleidspresentatie BEON 31 mei 1990 Den Haag.	1990
BEON rapport nr.	12.	Beleidspresentatie BEON 20 juni 1991 Den Haag.	1991
BEON rapport nr.	13.	Effects of Beamtrawl Fishery on the Bottom Fauna in the North Sea. II. The 1990 - studies.	1990
BEON rapport nr.	13 A.	BEON Jaarwerkplan 1991.	1991
BEON rapport nr.	14.	BEON Jaarwerkplan 1992.	1992
BEON rapport nr.	15.	Beleidspresentatie BEON 19 juni 1992 Den Haag.	1992
BEON rapport nr.	16.	Effect of Beamtrawl Fishery on the Bottom Fauna in the North Sea. III. The 1991 - studies.	1992
BEON rapport nr.	17.	Beleidspresentatie BEON 12 december 1991.	1992
BEON rapport nr.	18.	Trace Element Geochemistry at the Sediment Water Interface in the North Sea and the Western Wadden Sea.	1993
BEON rapport nr.	19.	Effecten van met benzo(a)pyreen verontreinigd sediment op de Helmkrab ( <i>Corystes cassivelaunus</i> ). Rapportage Project BEONADD I/II.1	1993
BEON rapport nr.	20.	Scavenging seabirds behind fishing vessels in the Northeast Atlantic. (With emphasis on the Southern North Sea).	1993
BEON rapport nr.	21	Brug tussen Beleid en Onderzoek (Rapportage over het eerste BEON Meerjarenprogramma 1988-1992).	1993
BEON rapport nr.	93-1	Naar een duurzame ontwikkeling van de Noordzee. (Tweede Meerjarenprogramma BEON1993-1997).	1993
BEON rapport nr.	93-2	The appearance of scars on the shell of <i>Arctica Islandica</i> L. (Mollusca, Bivalvia) and their relation to bottom trawl fishery.	1993
BEON rapport nr.	93-3	BEON Jaarwerkplan 1993.	1993
BEON rapport nr.	93-4	BEON Beleidspresentatie "Zee en Wadvogels. "Voorkomen en Invloeden daarop" d.d. 10 december 1993.	1993

## 1994

- BEON rapport nr. 94-1      Effecten van verschuivingen van nutriëntconcentraties op biota in de Nederlandse kustwateren. Philippart, C.J.M. & E.G. de Groot, A.G. Brinkman, R.G. Jak, M.C.Th. Scholten (IBN 93 E 02).
- BEON rapport nr. 94-2      Vervalt; zie 96-3
- BEON rapport nr. 94-3      Jaarwerkplan 1994.
- BEON rapport nr. 94-4      Jaarverslag 1993: Algenonderzoek in mesocosms en modellering. Riegman, R. (NIOZ 93 E 01).
- BEON rapport nr. 94-5      Impact of anthropogenic activities on the productivity of the western Wadden Sea ecosystem. Veer, H.W. van der. (NIOZ 93 E 02).
- BEON rapport nr. 94-6.1      Benthic nutrient generation in the ERSEM ecosystem model of the North Sea. Ruardij, P. and W. van Raaphorst. (NIOZ 93 E 03)
- BEON rapport nr. 94-6.2      The EcoWasp model and its environment. Smit, J.P.C., A.G. Brinkman, E.G.M. Embsen, P. Ruardij, and W. van Raaphorst. (NIOZ 93 E 03)
- BEON rapport nr. 94-7      Risico-analyse Mariene Systemen (RAM\*2 project) Eindrapport van de RAM-Auditgroep.
- BEON rapport nr. 94-8      *Comparison of models describing species composition of marine phytoplankton* Michielsen, H & Berg, A. van den & Joordens, J., et al.(project MANS-FYFY, WL 93 E 01).
- BEON rapport nr. 94-9      Verslag BEON Workshop Risico-analyse, d.d. 27 april 1994, Den Haag.
- BEON rapport nr. 94-10      BEON Beleidspresentatie "Microverontreinigingen: effecten en trends", d.d. 21 juni 1994.
- BEON rapport nr. 94-11      De epi- en endofauna van de Nederlandse, Duitse en Deense kustzone: een analyse van 20 jaar bijvangsgegevens. Buijs, J., J.A. Craeymeersch, P. van Leeuwen, A.D. Rijnsdorp. (BEONADD IV/V)
- BEON rapport nr. 94-12      De inductie van cytochroom P450 1 A in platvis door blootstelling aan polyaromatische koolwaterstoffen in de Noordzee. INP-programma 1991- 1992. Boon, J.P., H.M. Steiderink, M.L. Eggens, A.D. Vethaak (NIOZ 93 M 05)
- BEON rapport nr. 94-13      Directe effecten van de visserij met de 12m en 4m boomkorren op het bodemleven in de Nederlandse sector van de Noordzee. Bergman, M.J.N. en J.W. van Santbrink. (NIOZ 93 V 07)
- BEON rapport nr. 94-14      Scavenging seabirds at beamtrawlers in the southern North Sea, distribution, relative abundance, behaviour, prey selection, feeding efficiency, kleptoparasitism and the possible effects of the establishment of protected areas'. Camphuysen, C.J. (BEONADD IV/V)
- BEON rapport nr. 94-15      The relationship between food supply, reproductive parameters and population dynamics in Dutch Lesser Black-backed Gulls *Larus fuscus*: a pilot study. Spaans, A.L., M. Bukacińska, D. Bukacińska. (BEONADD IV/V)
- BEON rapport nr. 94-16      Pilot study on the influence of feeding conditions at the North Sea on the breeding results of the Sandwich Tern *Sterna sandvicensis*. Brenninkmeijer, A. & E.W. M. Stienen. (BEONADD IV/V)
- BEON rapport nr. 94-17      BEON-studie naar de effecten van de teruglopende nutriëntenbelasting van de Nederlandse kustzone. Boddeke, R. en P. Hagel. (RIVO 93 E 03)

## 1995

- BEON rapport nr. 95-1      Effecten van de schepdiervisserij op het bodemleven in de Voordelta. Van der Land, M.A. (RIVO 94 V 06).
- BEON rapport nr. 95-2      Jaarwerkplan 1995.
- BEON rapport nr. 95-3      Trends in het voorkomen van vissen en epibenthische evertbraten in de Noordzee: Een vergelijking van datasets. Van der Veer, H.W., J.A. Craeymeersch, J. Van der Meer, A.D. Rijnsdorp, J.I.J. Witte. (NIOZ 93 A 04)
- BEON rapport nr. 95-4      De ontwikkeling van een in vitro assay voor de bepaling van de invloed van biotransformatie op de bioaccumulatie van lipofiele organohalogenen verbindingen in mariene topredatoren.  
I. Validatie van de assay met PCBs en de eerste resultaten met Toxafeen. Boon, J.P., van Schanke, A., Roex, E., de Boer, J., Wester, P. (NIOZ 94 M 01)
- BEON rapport nr. 95-5      BEON beleidspresentatie "Ontwikkelingen in het beleid", d.d. 9 december 1994.

- BEON rapport nr. 95-6 BEON beleidspresentatie "Modellering: de stand van zaken en het belang voor beleid en beheer", d.d. 31 maart 1995.
- BEON rapport nr. 95-7 Wetenschappelijke discussie. De visserij-intensiviteit van de Nederlandse boomkorvisserij op de Noordzee mede in het licht van de milieu effecten en gesloten gebieden.
- BEON rapport nr. 95-8 Antropogene eutrofiëring en natuurlijke variaties. Consequenties voor de produktiviteit van de Noordzee. INP-MOORING/PELAGIC FOOD WEB/STED/ STRAECOS. Van Raaphorst, W., F.C. van Duyl, H. Ridderinkhof, R. Riegman, P. Ruardy. (NIOZ 94 E 01)
- BEON rapport nr. 95-9 Effecten van antropogene activiteiten op de produktiviteit van het ecosysteem in de Westelijke Waddenzee. Van der Veer, H.W., J.J. Beukema, G.C. Cadée, J. Hegeman, B. Mom, W. Van Raaphorst, J. IJ.. Witte (NIOZ 93 E 02)
- BEON rapport nr. 95-11 Biomarkers of Toxic effects chemoreception: effects of contaminated dredge spoil on chemoreception acuity in whelks. Ten Hallers-Tjabbes, C. and C.V. Fisher. (NIOZ 93 M 05)
- BEON rapport nr. 95-12 Habitatkarakteristieken van de Nederlandse kustzone. Wintermans, C. et al. (IBN 94 H 02)
- BEON rapport nr. 95-13 BEON Tweejaarverslag 1993-1994. Onderzoek en beleid kiezen samen met ruime sop; PB-BEON; augustus 1995.
- BEON rapport nr. 95-14 Toxische algen tussen Noordwijk- en Terschelling-raai. Peperzak, L. et al. (RIKZ 94 E 05; RKZ-040).
- BEON rapport nr. 95-15 Korte en lange termijn veranderingen in macrofauna veroorzaakt door verschillende vormen bodemvisserij. Bergman, M. et al. (NIOZ 94 V 01).
- BEON rapport nr. 95-16 Intercalibratie en toepassing Noordzee-modellen (MANS-FYFY) fase 2. (WL 94 E 04).
- 1996**
- BEON rapport nr. 96-1 De ontwikkeling van een in-vitro assay voor de bepaling van de invloed van biotransformatie op de bioaccumulatie en de mutageniteit van lipofiele organohalogenverbindingen in mariene toppredatoren. II. Toxafeen. Boon, J.P., H.M. Sleiderink, J. De Boer, P. Wester, H.J. Klamer, B. Govers. (NIOZ 95 M 03).
- BEON rapport nr. 96-2 *Spisula subtruncata* als voedselbron voor Zeeëenden in Nederland. Leopold, M.F. (IBN 95 V 29).
- BEON rapport nr. 96-3 BENTOX. Toxische effecten van verontreinigde sedimenten voor marien benthos. 1e fase: Verkennend onderzoek met 'natuurlijk' verontreinigde sedimenten, 2e fase: Benzo(a)pyreen en fluoranteen, 3e fase: BaP concentratiereeks. Kaag, N.H.B.M., J.P. Boon, K. Booij, C.V. Fischer, E.M. Foekema, M.T.J. Hillebrand, H. Hummel, H. Kralt, M.C. Th. Scholten, B.M.H. Timmermans, A.P.M.A. Vonck, M. de Vries, E. van Weerlee. (TNO 93 M 04, TNO 94 M 06, TNO 95 M 16).
- BEON rapport nr. 96-4 Algenbegrazing: Een nadere analyse van de invloed van toxicanten op het ontstaan van eutrofiëringsproblemen. Jak, R.G., Michielsens, B.F. (TNO 95 E 07).
- BEON rapport nr. 96-5 Habitatkartering en beschrijving Nederlandse kustwateren (IBN 95 H 36)
- BEON rapport nr. 96-6 Onderzoek naar de invloed van fluctuaties in de lokale voedselbeschikbaarheid op de populatiedynamiek van de grote stern *Sterna sandvicensis*: tussentijdse resultaten. Stienen, E.W.M. & A. Brenninkmeijer. (IBN 95 H 24).
- BEON rapport nr. 96-7 Resultaten BEON Workshop NW4.
- BEON rapport nr. 96-8 Thema bijeenkomst Boomkorvisserij.
- BEON rapport nr. 96-9 Jaarwerkplan 1996.
- BEON rapport nr. 96-10 SCREMOTOX (WL 95 M 21).
- BEON rapport nr. 96-11 Effecten van de schelpdiervisserij op het bodemleven in de Voordelta: De schelpdierbestanden in de Voordelta in 1995. Van der Land, M.A. (RIVO 95 V 30).
- BEON rapport nr. 96-12 Verslag van de BEON workshop ter voorbereiding van de Nederlandse inbreng van de tussenconferentie van Noordzee- en Visserijministers (IMM 97).
- BEON rapport nr. 96-13 BEON thema bijeenkomst polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's). 22 februari 1996 Den Haag.
- BEON rapport nr. 96-14 Evaluatierapport BEON 1996. Tussentijdse evaluatie Tweede Meerjarenprogramma BEON 1993-1997. Rapport naar aanleiding van de BEON evaluatieworkshop d.d. 2 februari 1996, Den Haag.

- BEON rapport nr. 96-15      Onderzoek naar mogelijkheden tot vermindering van discard produktie door technische aanpassing van boomkorntetten (NIOZ 95 V 05). Fonds, M. & W. Blom
- BEON rapport nr. 96-16      INP-Mooring 94-96: Antropogene eutrofiëring en natuurlijke variaties in de open Noordzee: metingen op een verankeringsstation in de Oestergronden (NIOZ 95 E 01)

#### 1997

- BEON rapport nr. 97-1      Fluctuaties in de lokale voedselbeschikbaarheid in relatie tot de populatiedynamiek van de Grote Stern *Sterna sandvicensis*: resultaten 1995-1996 (IBN 95 H 24). Stienen, E.W.M. en A. Brenninkmeijer.
- BEON rapport nr. 97-2      Vervallen.
- BEON rapport nr. 97-3      Jaarwerkplan 1997.
- BEON rapport nr. 97-4      De betekenis van het zout- en silicaatgehalte in Nederlandse kustwateren voor het zeegrasareaal. Kamermans, P., M.A. Hemminga, D. de Jong, K.S. Dijkema. (NIOO 96 EH 07).
- BEON rapport nr. 97-5      Giftige Algen en de Reductie van de Nutriëntenbelasting (BEON-GARdeN) Competitie tussen algen. Jaarverslag 1996. Riegman, R., K. Peeters, H. Los. (NIOZ 95 E 02).
- BEON rapport nr. 97-6      In vitro biotransformatie van organohalogeenvverbindingen in zeezoogdieren en vogels. Mogelijke gevolgen voor bioaccumulatie en genotoxiciteit. III: Gebromeerde vlamvertragers (Polybroom difenylethers & polybroom bifenylen). Boon, J.P., M.J. Greve, J.B. Bouma, M.K. de Boer, W.E. Lewis, H.J.C. Klamer, D. Pastor, P. Wester, J. de Boer (NIOZ 95 M 03).
- BEON rapport nr. 97-7      The impact of marine eutrophication on phytoplankton, zooplankton and benthic suspension feeders. Stratification in mesocosms, a pilot experiment (Escaravage, V, L.P.M.J. Wetsteyn, T.C. Prins, A.J. Pouwer, A. de Kruyff, M. Vink-Lievaart, C.M. van der Voorn, J.C.H. Peeters & A.C. Smaal (RIKZ 96 E 01).

#### 1998

- BEON rapport nr. 98-1      In vitro biotransformatie van organohalogeenvverbindingen in zeezoogdieren en vogels. Mogelijke gevolgen voor bioaccumulatie en genotoxiciteit. IV. Polychloor terfenylen (PCT's). Boon, J.P. D.E.C. Smith, W.E. Lewis, H.J.C. Klamer, D. Pastor, P. G. Wester, J. de Boer (NIOZ 95 M 03)
- BEON rapport nr. 98-2      De verspreiding van (epi) benthische macrofauna op het NCP in relatie met de microverspreiding van de boomkorvisserij vanaf 1993. Bergman, M.J.N., J. Buys, J. Craeymeersch, G.J. Piet, A.D. Rijnsdorp, J.W. van Santbrink. (NIOZ 96 V 26)
- BEON rapport nr. 98-3      Effects of changing food availability on population dynamics of the Sandwich Tern *Sterna sandvicensis*. Stienen, E.W.M., A. Brenninkmeijer (IBN 95 H 24)
- BEON rapport nr. 98-4      BEON-GARdeN (Eindrapport). Giftige Algen en de Reductie van de Nutriëntenbelasting. R. Riegman, R., K. Peeters, H. Los. (NIOZ 95 E 02)

#### **Informatie BEON:**

**PROGRAMMA BUREAU BEON**  
 p/a Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
 Rijks Instituut voor Kust en Zee  
 Kortenaerkade 1  
 2518 AX Den Haag  
 Postbus 20907  
 2500 EX Den Haag  
 070- 3114258/3114259/3114260  
 Telefax: 070- 3114321

**e-mail: [beon@rikz.rws.minvenw.nl](mailto:beon@rikz.rws.minvenw.nl)**