

Rijke Berm Oosterschelde monitoring getijdenpoelen 2008-2010

een Rijke Dijkproject



Rijke Berm Oosterschelde monitoring getijdenpoelen 2008-2010

een Rijke Dijkproject

Peter Paalvast

maart 2011

inhoud

voorwoord	3
samenvatting	5
1 inleiding	7
2 materiaal en methode	9
2.1 locatie, ligging poelen	9
2.2 hoogteligging en morfometrie getijdenpoelen	10
2.3 abiotiek	10
2.4 monitoring	11
2.4.1 fotografie	11
2.4.2 flora en fauna	11
2.4.3 biomassa	12
3 resultaten	13
3.1 hoogteligging, morfometrie, waterdiepte en sedimentatie	13
3.2 abiotiek	15
3.3 soorten	16
3.3.1 korte poelen	16
3.3.1.1. wieren	16
3.3.1.2. macrofauna	19
3.3.1.3. wierbegroeiing en biomassa	22
3.3.2 lange poelen	26
3.3.2.1. wieren	26
3.3.2.2. macrofauna	28
3.3.2.3. wierbegroeiing en biomassa	30
4 discussie en conclusies	33
5 literatuur	35
6 bijlagen	37

voorwoord

Deze pilotstudie naar de effecten van kunstmatige getijdenpoelen in de kreukelberm van de bekleding van de zeewering bij Koude- en Kaarspolder op de biodiversiteit is onderdeel van het Rijke Dijkproject, dat zich tot doel stelt de harde bekleding van dijken, dammen en dergelijke met behoud van hun primaire functie ecologisch te optimaliseren ([link](#)).

De initiatiefnemers van het project, Yvo Provoost (Rijkswaterstaat Zeeland) en Mindert de Vries (Deltares, Delft), wil ik bedanken voor hun enthousiasme en het aanleveren van de ontwerptekeningen en gegevens betreffende de abiotiek.

Peter Paalvast

samenvatting

In het kader van het Rijke Dijkproject zijn in juni 2008 tijdens de verzwarende van de dijkvakken van de Koude- en Kaarspolder aan de Oosterschelde ten oosten van het kanaal door Zuid-Beveland in de kreukelberm 10 “kleine” en 2 “grote” getijdenpoelen aangelegd, met als doel de natuurwaarden te versterken. Deze pilotstudie heeft de naam “Rijke Berm” gekregen. De ontwikkelingen in de getijdenpoelen zijn vanaf de aanleg in juni 2008 t/m september 2010 gevolgd.

Conclusies

- kunstmatige getijdenpoelen aangelegd in de kreukelberm van een dijkbekleding verhogen de biodiversiteit
- kunstmatige getijdenpoelen op een luwe locatie (weinig golfdynamiek) hebben de neiging te verslibben
- kunstmatige getijdenpoelen op een luwe locatie (weinig golfdynamiek) hebben een hoge algenbiomassa
- aantal en abundantie van macrofaunasoorten in kunstmatige getijdenpoelen is positief gecorreleerd met de waterdiepte

1 inleiding

Eén van de pioniers op het gebied van het harmoniseren van natuur en infrastructuur is de in 2006 overleden Wageningse “bermprofessor” Pieter Zonderwijk. Door zijn inzet werd uiteindelijk in 1984 het Bermbesluit van kracht. Sindsdien is ecologisch bermbeheer zowel op landelijk als op gemeentelijk niveau gemeengoed geworden. De ontwikkelingen op het terrein van natuur en infrastructuur hebben zich vanaf de jaren 80 snel opgevolgd. Voor het zoete water bijvoorbeeld resulteerde dat in verschillende CUR-handboeken (vanaf 1994) voor de aanleg van Natuurvriendelijke oevers langs kanalen, meren en rivieren. Integraal waterbeheer, herstel en duurzaamheid werden de sleutelwoorden en leidraad in de Derde en Vierde nota Waterhuishouding. Veel positiefs is er inmiddels gebeurd op de grens van water en land.

Langs de zoute Deltawateren werd aan het einde van de vorige eeuw gezocht naar natuurvriendelijk bekledingsmateriaal voor de dijken en door proeven in zogenaamde dijktuinen heeft dit onder andere geleid tot betonzuilen met ecotoplaag.

Binnen het project Rijke Dijk ([link](#)) dat zich tot doel stelt de harde bekleding van dijken, dammen en dergelijke met behoud van hun primaire functie ecologisch te optimaliseren zijn onder de paraplu van het waterinnovatieprogramma WINN ideeën omgezet in pilotstudies (Rijkswaterstaat, 2009).

De harde bekledingen van de Nederlandse zeedijken zijn te vergelijken met rotskusten, maar verschillen daarvan vooral door hun monotone opbouw die samenhangt met de functie veiligheid. Op de dijkbekleding ontwikkelt zich een gezonde levensgemeenschap in relatie met het getij, de golven, de expositie, de hellingshoek en de aard van de gebruikte materialen. Door te kiezen voor bekledingsmateriaal met een lichte kleur en watervasthoudend vermogen kan het dijktaalud in korte tijd goed met wieren begroeien en ontstaan er mogelijkheden voor slakken, mosselen, vlokreeften enzovoort. Belangrijke elementen die op dijken in vergelijking met rotskusten ontbreken, zijn holtes en poelen op verschillend niveau waarin bij eb water blijft staan. In dergelijke habitats kunnen zich bijvoorbeeld zakpijpen, sponzen en anemonen vestigen die anders alleen onder de laagwaterlijn op hard substraat worden gevonden. Ook blijven in de poeltjes visjes, krabbetjes, garnalen en steurgarnalen achter die een aantrekkingskracht op verschillende watervogels uitoefenen.

In het kader van het Rijke Dijkproject zijn in juni 2008 tijdens de verzwaring van de dijkvakken van de Koude- en Kaarspolder aan de Oosterschelde ten oosten van het kanaal door Zuid-Beveland in de kreukelberm 10 “kleine” en 2 “grote” getijdenpoelen aangelegd, met als doel de natuurwaarden te versterken. Deze pilotstudie heeft de naam “Rijke Berm” gekregen. De ontwikkelingen in de getijdenpoelen zijn vanaf de aanleg in juni 2008 t/m september 2010 gevolgd, en van de resultaten wordt navolgend verslag gedaan.

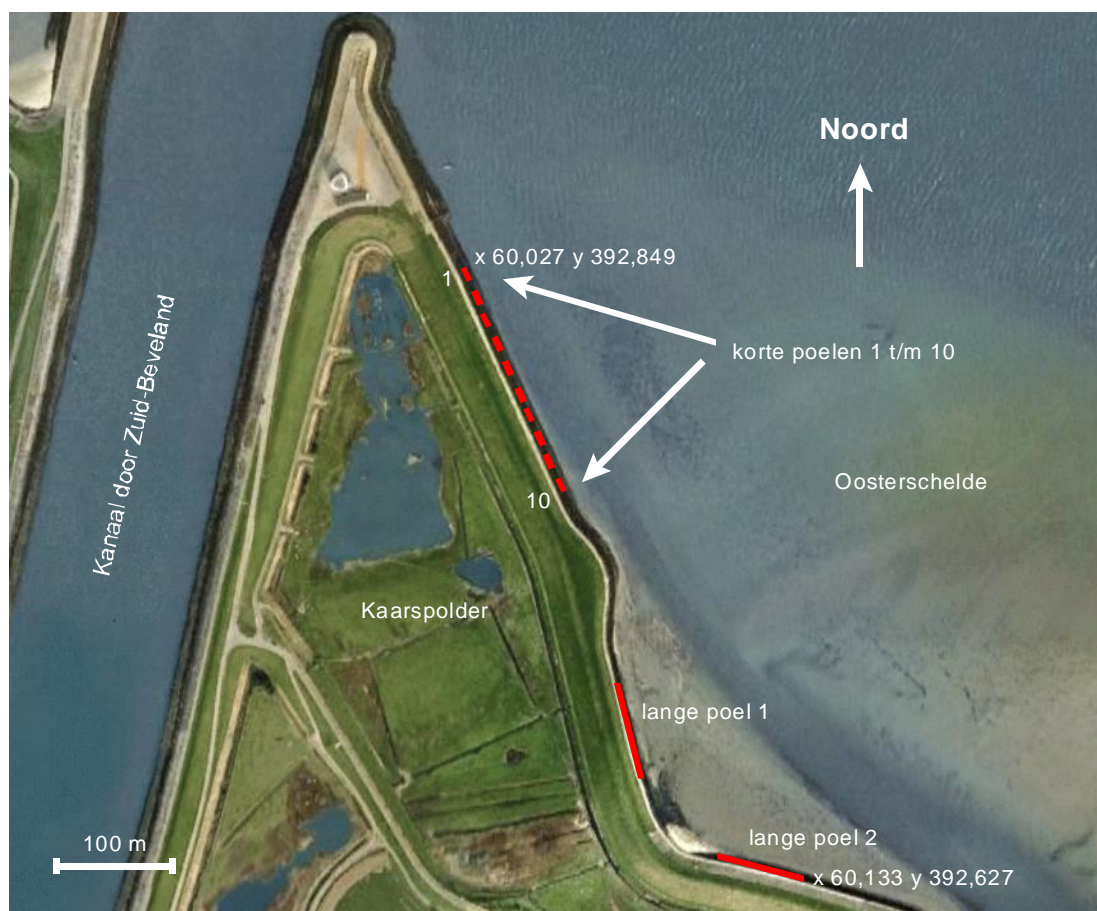
2 materiaal en methode

2.1 locatie, ligging poelen

In de zomer van 2008 zijn de getijdenpoelen aangelegd. Hun globale ligging langs het dijkvak Koude- en Kaarspolder is weergegeven op foto 1 en de positie in de kreukelberm van het dijktafbeelding in figuur 1.

.....
Foto 1

Ligging van de 10 korte en 2 lange getijdenpoelen langs het dijkvak Koude- en Kaarspolder.



2.4 monitoring

2.4.1 fotografie

De situatie in de getijdenpoelen is gedurende de monitoringsperiode 2008-2010 7 maal fotografisch vastgelegd (tabel 1). Van de korte poelen zijn steeds een overzichtfoto en foto's van het linker-, midden- en rechterdeel gemaakt, terwijl dat van de beide lange poelen om de 5 meter van het begin tot het einde is gedaan.

.....
Tabel 1

Data waarop de situatie in de getijdenpoelen gedurende de monitoringsperiode 2008-2010 fotografisch is vastgelegd.

datum
17 juni 2008
7 oktober 2008
22 mei 2009
9 oktober 2009
1 mei 2010
10 augustus 2010
29 september 2010

2.4.2 flora en fauna

In elk monitoringsjaar zijn in de maand september/oktober opnames gemaakt van de wiervegetatie en de benthische macrofauna in de getijdenpoelen en 2 referenties (de kreukelberm). Van vlokreeften, steurgarnalen, aasgarnalen en vissen zijn indien deze aanwezig waren de aantallen geschat, maar niet op soort gedetermineerd. Van de wieren en van die diersoorten die grote oppervlakten kunnen beslaan is het bedekkingspercentage op de stenen in de poelen geschat en volgens tabel 2 omgezet naar abundantie. Van de overige diersoorten is een schatting van de dichtheid gemaakt en omgezet naar abundantie (tabel 3 en 4).

.....
Tabel 2

Codering voor de abundantie van wieren, zakpijpkolonies, sponzen, oesters, mosselen, mosdierpjes en zeepokken.

abundantie	bedekkingspercentage/aantal exemplaren
0	0% geen exemplaren
1	0% - 0.01% zeldzaam 1 exemplaar in poel
2	0.01% - 0.1% enkele exemplaren in poel
3	0.1% - 1.0% veel exemplaren in poel
4	1% - 5% zeer veel exemplaren in poel
5	5% - 12.5%
6	12.5% - 25%
7	25% - 50%
8	50% - 75%
9	> 75%

.....

Tabel 3

Codering voor de abundantie van de overige fauna kalkkokerwormen, krabben, multjes en vlokreeften aantal per m²

code	aantal m2
0	0
1	1
2	2 - 10
3	11 - 100
4	101 - 500
5	>500

.....

Tabel 4

Codering voor de abundantie van de overige fauna alikruiken, mossel- en oesterbroed, solitaire zakpijpen + overige fauna.

code	aantal m2
0	0
1	1
2	2 - 10
3	11 - 50
4	51 - 100
5	>100

Hoewel er opnames gemaakt zijn van de grote stenen in de poelen, worden deze niet meegenomen in de analyse. Reden is dat de begroeiing met wieren en macrofauna niet afwijkend was van die op de stenen van de kreukelberm.

Voor de determinatie van wieren zijn de determinatiewerken van Stegenga & Mol, 1983, Brodie *et al.*, 2007 en Hiscock, 1986 en voor de determinatie van macrofauna het marine handboek van Hayward & Ryland, 1998 en de Zeefauna in Zeeland van Leewis *et al.*, 2005 gebruikt.

2.4.3 biomassa

In elk monitoringsjaar is in de maand september/oktober de wierbiomassa in de poelen bepaald. Voor de monstername is een kwadrant van 50cm x 50cm gebruikt. Dit kwadrant is over de wierbedekking gelegd, zodanig dat het bedekkingspercentage binnen het kwadrant overeenkwam met het bedekkingspercentage van de poel. De monsters zijn gespoeld, gewogen en gedroogd in een stoof bij 85 °C gedurende minimaal 48 uur tot constant gewicht. Hierna is het drooggewicht bepaald en de biomassa omgerekend naar grammen droge stof per m².

3 resultaten

3.1 hoogteligging, morfometrie, waterdiepte en sedimentatie

.....
Tabel 5

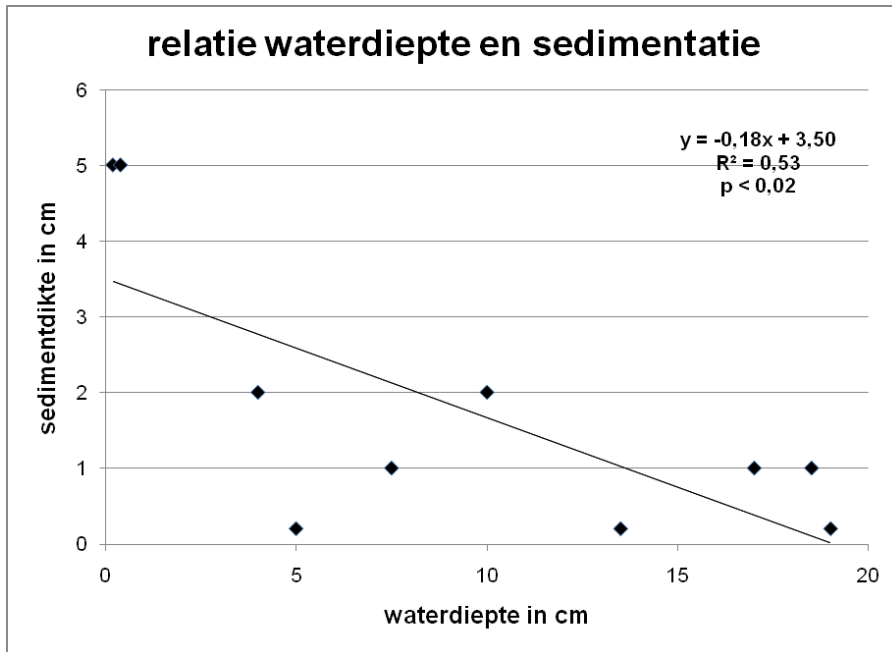
Hoogteligging, morfometrie, inrichting, waterdiepte en sedimentdikte van de korte (kp) en lange poelen (lp). *= gemiddeld.

poel	hoogteligging in cm NAP	lengte m	breedte m	opp. m ²	grote stenen	wateroppervlak	waterdiepte cm	sedimentdikte cm	type
kp 1	-124,5	4,3	2,0	8,6	ja	geheel	10	5	I nat >10cm
kp 2	-135,5	5,8	2,0	11,6	nee	geheel	13,5	0,2	I nat >10cm
kp 3	-118,5	6,0	2,3	13,8	ja	geheel	18,5	1	I nat >10cm
kp 4	-137,5	4,4	1,9	8,4	nee	geheel	19	0,2	I nat >10cm
kp 5	-121,5	4,8	2,7	13,0	ja	5%	0,2	5	III droog
kp 6	-119,5	6,1	1,8	11,0	nee	geheel	5	0,2	II nat <10cm
kp 7	-117	5,0	2,3	11,5	ja	10%	0,4	5	III droog
kp 8	-118,5	5,5	2,2	12,1	nee	geheel	17	1	I nat >10cm
kp 9	-121,5	5,5	2,0	11,0	ja	60%	7,5	1	II nat <10cm
kp10	-101,5	4,9	1,8	8,8	nee	geheel	4	2	II nat <10cm
lp 1	-61,5*	110	1,4*	152,4	ja	40%	0-10	1-5	nvt
lp 2	-25,0*	124	1,6*	201,1	ja	50%	0-10	0,3	nvt

Uit tabel 5 valt af te lezen dat er tussen de hoogst- en laagstgelegen korte poel qua hoogteligging van de bodem er een verschil was van 36 cm. Ook was er een redelijke variatie in lengte en breedte en dientengevolge het effectieve oppervlak van de korte poelen. Dat sommige poelen lekten of erg ondiep waren laat de gemeten waterdiepte duidelijk zien. Tussen de waterdiepte in de kleine poelen en de sedimentdikte bleek een significante negatieve relatie (regressieanalyse, $F(9)=9,2$, $p<0,02$) te bestaan (figuur 2). Geen significante relatie was er tussen de hoogteligging en de mate van sedimentatie (regressieanalyse, $F(9)=1,1$, $p=0,32$). De sedimentdikte was over de gehele monitoringsperiode constant. Op basis van de waterdiepte bij eb kunnen er drie typen korte poelen worden onderscheiden:

- I. natte poelen met meer dan 10 cm water
- II. natte poelen met minder dan 10 cm water
- III. poelen die droogvallen

De lange poelen lagen een stuk hoger en respectievelijk 86 cm en 102,5 cm ten opzichte van de laagstgelegen korte poel.



Figuur 2

Relatie tussen de sedimentdikte in de korte poelen en de waterdiepte.



Figuur 3

Verloop van de gemiddelde dagwatertemperatuur op een diepte van x m ten opzichte van NAP bij het meetpunt Yerseke.

3.2 abiotiek

watertemperatuur

In figuur 3 is het verloop van de gemiddelde dagwatertemperatuur over de periode januari 2008 – december 2010 weergegeven op een diepte van - 5,75 m ten opzichte van NAP bij het Marollegat. Dit is natuurlijk niet het verloop van de watertemperatuur in de poelen, maar maakt wel inzichtelijk hoe deze over de seizoenen fluctueert. Op warme zomerdagen kan de watertemperatuur in de warme poelen makkelijk opgelopen zijn tot wel 35°C.

droogvalfrequentie

In tabel 6 is de frequentie van droogval als percentage van de tijd dat de waterstand zich onder het niveau van de bodem van de poelen bevond en de poel dus geen direct contact meer had met het water van de Oosterschelde weergegeven.

Tabel 6

Hoogteligging van de poelen ten opzichte van NAP en het percentage van de tijd dat de waterstand (droogvalfrequentie) zich onder het niveau van de bodem van de poel bevond gedurende de monitoringsperiode.

korte poel	hoogteligging in cm NAP	droogvalfrequentie % tijd
1	-124,5	15,4
2	-135,5	11,7
3	-118,5	17,4
4	-137,5	11,0
5	-121,5	16,5
6	-119,5	17,1
7	-117,0	18,1
8	-118,5	17,4
9	-121,5	16,5
10	-101,5	23,1
lange poel 1	-61,3	35,3
lange poel 2	-25,0	46,0

windrichting en golfaanval

De locaties van de kleine poelen en lange poel 1 hebben een oostnoord-oostexpositie (68°) en lange poel 2 een noordnoordoostexpositie (23°). In tabel 7 staat het percentage van de tijd waarin gedurende de monitoringsperiode er sprake kan zijn geweest van golfaanval. Voor alle poelen gemiddeld was dit ongeveer 25% van de tijd, en daarmee kunnen de locaties als luw worden aangemerkt.

Tabel 7

Windrichting met potentiële golfaanval voor de korte en lange poelen en het percentage van de tijd waarin dit kon voordoen.

poel	windrichting voor golfoploop in °	golfaanvalfrequentie % tijd
kp 1 t/m 10 en lp1	0 – 113 (N-ONO)	27
lp2	0 – 90 (N-O)	21

3.3 soorten

3.3.1 korte poelen

3.3.1.1 wieren

.....

Tabel 8

De in de korte poeltypen aangetroffen wiersoorten en hun gemiddelde abundantie over de gehele monitoringsperiode. Soorten in rood = invasief

wiersoort	type I	type II	type III	referentie
groenwieren				
<i>Ulva lactuca</i>	5	6	5	5
<i>Ulva intestinalis</i>	3	3	2	4
<i>Cladophora spec</i>	2	2	1	
roodwieren				
<i>Callithamnion roseum</i>	3	3	3	4
<i>Ceramium rubrum</i>	2	2	1	1
<i>Gracilaria verrucosa</i>	5	3	2	
<i>Polysiphonia urceolata</i>	2			
<i>Polysiphonia violacea</i>		2		1
<i>Polysiphonia nigrescens</i>		2		
<i>Grateloupia doryphora</i>	2	2		
<i>Chondrus crispus</i>	2	3	3	3
bruinwieren				
<i>Fucus vesiculosus</i>	2	2	2	6
<i>Fucus serratus</i>	2	2	1	2
<i>Sargassum muticum</i>	4	2		
<i>Pilayella littoralis</i>	3	2	1	2
totaal aantal wiersoorten	13	14	10	9

In tabel 8 staan de in de korte poelen en referentie aangetroffen wiersoorten met hun gemiddelde abundantie over de gehele monitoringsperiode. Omdat het gemiddelde is genomen, betekent dat ze niet op alle monitoringmomenten in de poelen aangetroffen hoeven te zijn. In bijlage 1 zijn deze opgenomen met hun Nederlandse namen en met een link naar een website met foto en/of beschrijving. De abundantie van dominante soorten *Ulva lactuca*, *U. intestinalis* en *Callithamnion roseum* veranderde niet in relatie tot de waterdiepte van de poelen. Terwijl dat bij *Gracilaria verrucosa* en *Sargassum muticum* dit in negatieve zin heel duidelijk het geval was. *U. intestinalis* als pionier domineerde alleen in het eerste jaar na aanleg van de poelen (foto 2). *Gracilaria verrucosa* ontwikkelde zich pas in het tweede monitoringsjaar (foto 3). *Fucus serratus* en *Chondrus crispus* werden voor het eerst in het derde monitoringsjaar aangetroffen.

.....

Foto 2

Dominantie van *Ulva intestinalis* (Echt darmwier) in mei 2009. Als voorbeeld een deel van korte poel 1.



.....

Foto 3

Dominantie van *Gracilaria verrucosa* (Knoopwier) in oktober 2009 te midden van Zeesla in korte poel 2.



Tabel 9

De in de korte poeltypen aangetroffen macrofaunasoorten en hun gemiddelde abundantie over de gehele monitoringsperiode. Soorten in rood = invasief

	macrofaunasoort	type I	type II	type III	referentie
zakpijpen	Botrylloides leachi	3	2	1	
	<i>Botrylloides violaceus</i>	3	2	1	
	<i>Styela clava</i>	2	2	1	
	<i>Molgula manhattensis</i>	1	1		
	Ciona intestinalis	3	2		
	Botryllus schlosseri	1	1		
	Asciidiella aspersa	2	2		
	sponzen	<i>Halyclona xena</i>	1		
Leucosolenia variabilis		2		1	
Halichondria panicea		4	2	2	
<i>Mycale micracanthoxea</i>		3	2		
anemonen	Actinia equina	1			
	Diadumene cincta	1	1		
kreeftachtigen	Balanus balanoides	2			
	<i>Elminius modestus</i>	3	5	2	7
	<i>Hemigrapsus takanoi</i>	3	3	3	
	Carcinus maenas	2	1		
	<i>Porcellana platycheles</i>	2	2	2	
	Gammariden	3	2	2	
	Palaemon elegans	2	2		
	Mysidae	1			
wormen	Nereis diversicolor	2			
	Janua pagensteckeri	4	4	3	3
	<i>Ficopomatus enigmaticus</i>	2		2	
weekdieren	Patella vulgata	1			2
	Littorina littorea	3	3	3	4
	Littorina obtusata	1	2	2	2
	Littorina saxatilis	1			
	Mytilus edulis	2	2	2	2
	<i>Crassostrea gigas</i>	3	3	3	3
	<i>Crepidula fornicata</i>	3	2		3
overig	Conopeum reticulum (Zeenet, mosdiertje)	3	2	2	
	visbroed	2			
	grondel	1	1		
	totaal aantal macrofaunasoorten	34	24	16	8

De belangrijkste soort van de referentie (kreukelberm) was *F. vesiculosus*, die zich vanaf het tweede monitoringsjaar goed ontwikkelde, op de voet gevolgd door *U. lactuca*. *U. intestinalis* domineerde direct na aanleg en kwam in het tweede en derde monitoringsjaar nauwelijks voor.

Voor wat betreft het gemiddeld aantal wiersoorten in de verschillende typen korte poelen en de referentie over de gehele monitoringsperiode zijn er geen significante verschillen (variantieanalyse, $F(32)=0,11$, $p=0,96$). Voor zowel de poelen als de referentie nam het aantal wiersoorten gedurende de monitoringsperiode toe.

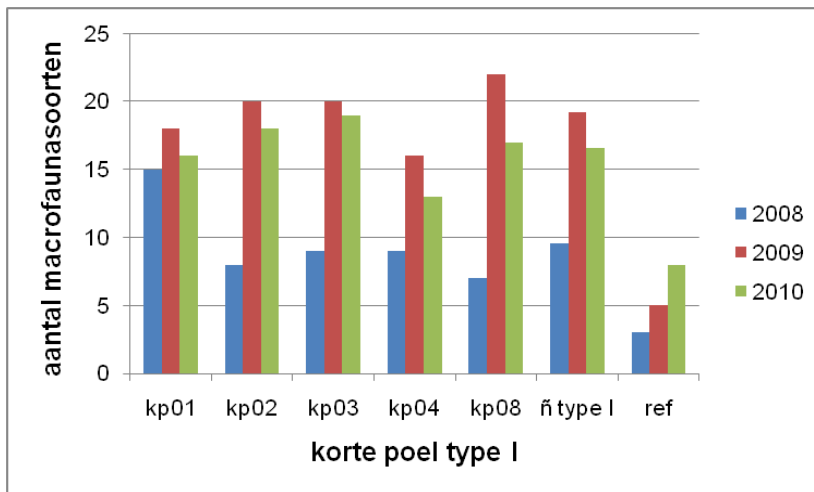
3.3.1.2 macrofauna

In tabel 9 is de gemiddelde abundantie van de aangetroffen macrofauna-soorten weergegeven. Omdat het gemiddelde is genomen, betekent dat ze niet op alle monitoringsmomenten in de poelen aangetroffen hoeven te zijn. In bijlage 2 zijn deze opgenomen met hun Nederlandse namen en met een link naar een website met foto en/of beschrijving. Vastzittende (sessiele) soorten die domineerden behoorden tot de phyla der zakpijpen (foto 4), sponzen en wormen en de familie van de zeepokken. Met uitzondering van de zeepokken en weekdieren werden alle sessiele soorten onder losse stenen aangetroffen.

.....
Foto 4

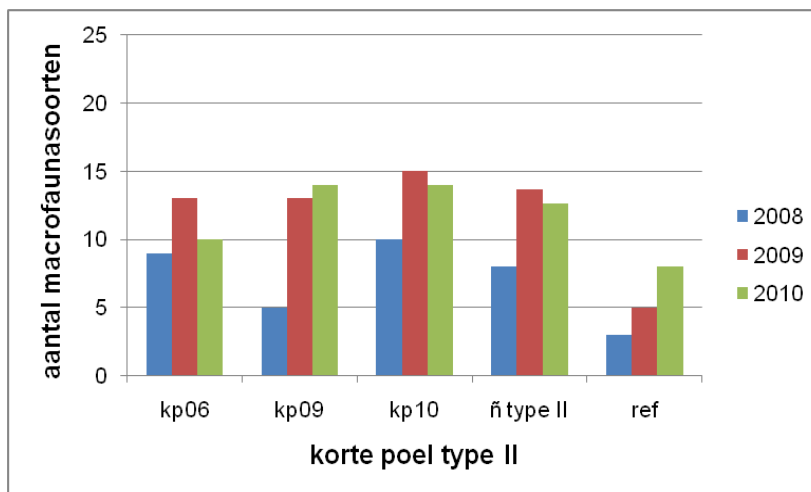
Botrylloides violacea (boven) en *B. leachi* (onder) onder een steen uit korte poel 1.





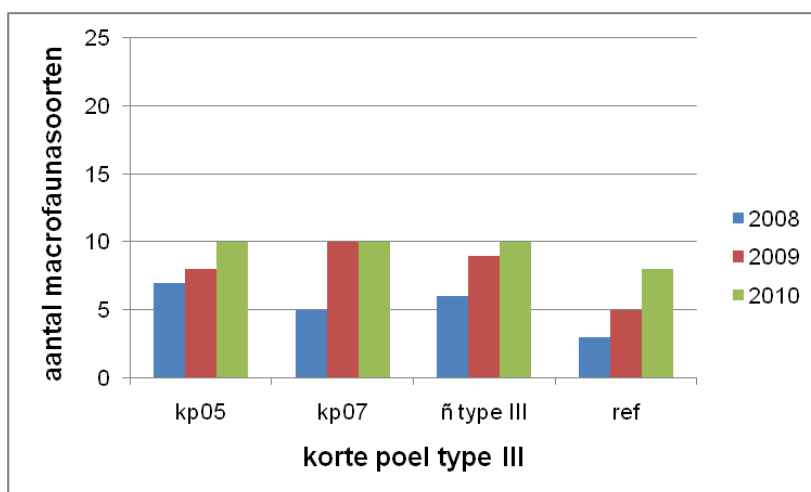
Figuur 4

Ontwikkeling van het aantal macrofaunasoorten in korte poeltype I gedurende de gehele monitoringsperiode. \bar{n} = gemiddelde, ref = referentie.



Figuur 5

Ontwikkeling van het aantal macrofaunasoorten in korte poeltype II gedurende de gehele monitoringsperiode. \bar{n} = gemiddelde, ref = referentie.



Figuur 6

Ontwikkeling van het aantal macrofaunasoorten in korte poeltype III gedurende de gehele monitoringsperiode. \bar{n} = gemiddelde, ref = referentie.

Van de anemonen werden slechts enkele exemplaren aangetroffen (foto 5).

.....
Foto 5

Diadumene cincta (Golfbrekeranemoon) uit korte poel 2.

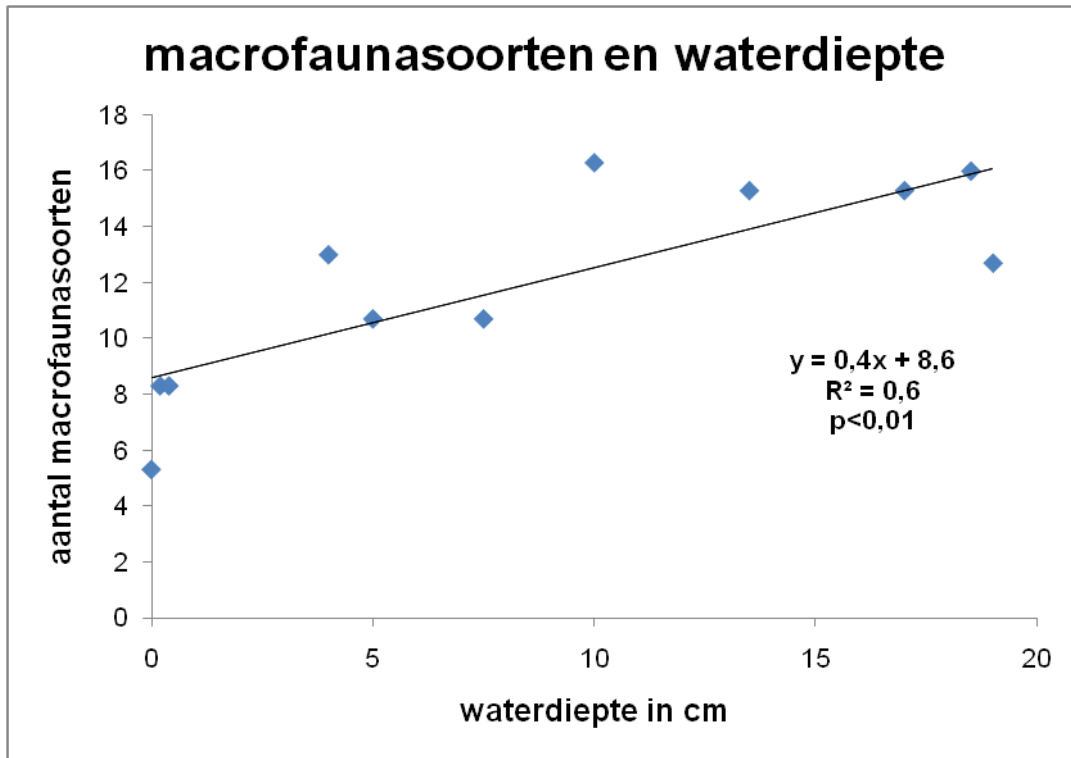


In de figuren 4 t/m 6 is de ontwikkeling van het aantal macrofaunasoorten in de onderscheiden korte poeltypen in relatie tot de referentie (kreukelberm) weergegeven. Duidelijk is te zien dat in type I (meer dan 10 cm water) er meer soorten tot ontwikkeling kwamen dan in de overige. Deze verschillen zijn significant ($F(32)=7,9$, $P<0,001$, waarbij type I significant meer soorten herbergde dan type II (minder dan 10 cm water), type III (vrijwel droog) en de referentie, en type II significant meer soorten dan de referentie.

Verschillen tussen type II en type III en type III en de referentie waren niet significant. De relatie tussen het aantal aangetroffen macrofaunasoorten en de waterdiepte (figuur 7) was significant (regressieanalyse, ($F(10)=16,3$, $p<0,01$).

Naast een afname van het aantal soorten bij afname van de waterdiepte in de poelen nam van de overgebleven sessiele soorten tevens de abundantie sterk af. Vooral bij zakpijpen en sponzen was dit het geval. Bij de mobiele fauna, *Littorina littorea* (Gewone alikruik), *Mytilus edulis* (mossel) en *Crassostrea gigas* (oester), was dit niet het geval.

Van de drie krabbensoorten die onder de stenen werden aangetroffen, was de uitheemse *Hemigrapsus takanoi* (Penseelkrab) het meest talrijkst.



Figuur 7

Relatie tussen de waterdiepte en het aantal macrofaunasoorten in de korte poelen. Laagste aantal is van de referentie.

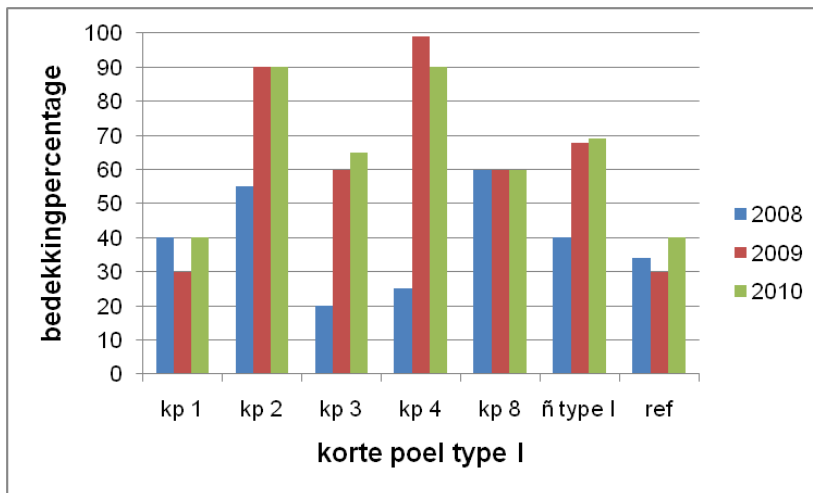
3.3.1.3 wierbegroeiing en biomassa

Tabel 10

De gemiddelde bedekkingspercentages en biomassa van de korte poeltypen over de gehele monitoringsperiode.

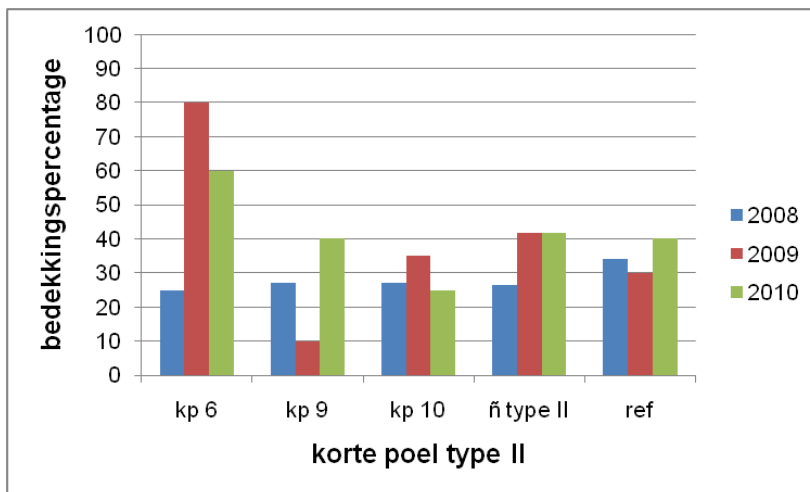
type korte poel	gemiddeld bedekkingspercentage	gemiddelde biomassa gr per m ²
I	59	116
II	36	62
III	10	31

De wierbegroeiing in alle korte poelen ging uit van de stenen op de bodem. De poelen van type I met een waterdiepte van meer dan 10 cm hadden gemiddeld over de gehele monitoringsperiode een significant hogere wierbedekking dan de type II en III, en van type II een hogere wierbedekking dan type III (variantieanalyse, tabel 10, figuur 8 t/m 10, zie ook bijlage 3 t/m 5). Dit kwam ook tot uitdrukking in de wierbiomassa van de poeltypen (tabel 10, figuur 11 t/m 13) die significant positief gecorreleerd was met de waterdiepte (regressieanalyse, $F(9)=8,0$, $p<0,05$)(figuur 14).



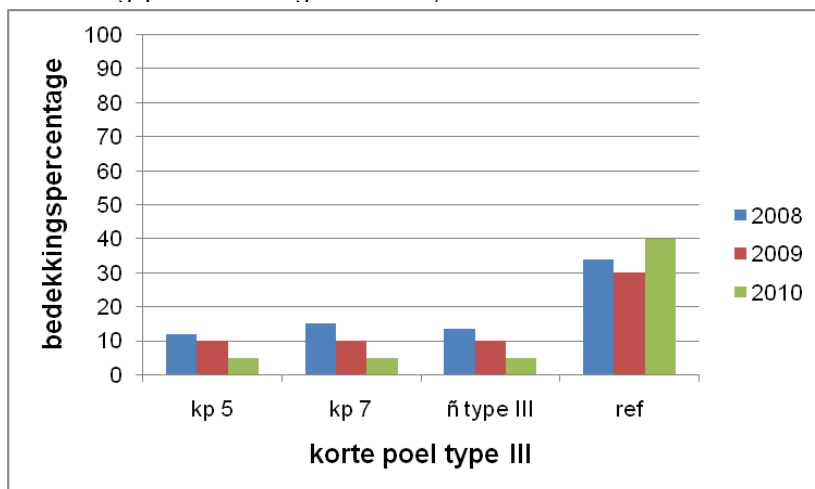
Figuur 8

Verloop van de bedekkingspercentages van de wieren in de korte poelen van type I gedurende de monitoringsperiode. \bar{n} = gemiddelde, ref = referentie.



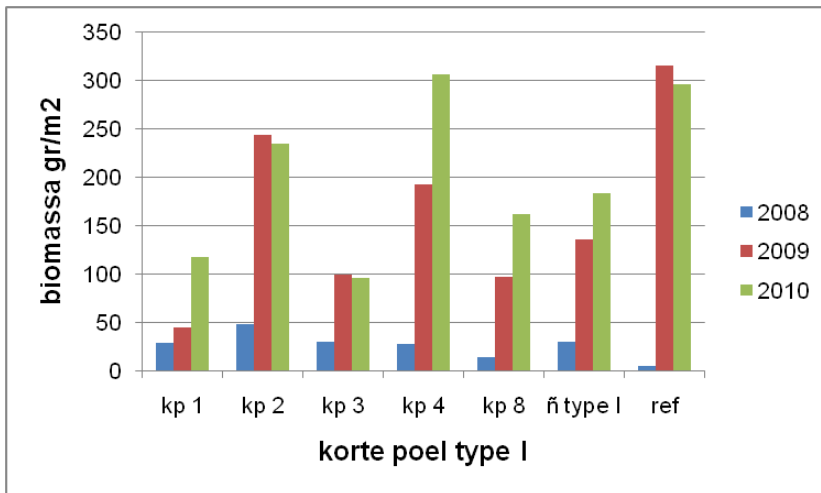
Figuur 9

Verloop van de bedekkingspercentages van de wieren in de korte poelen van type II gedurende de monitoringsperiode. \bar{n} = gemiddelde, ref = referentie.



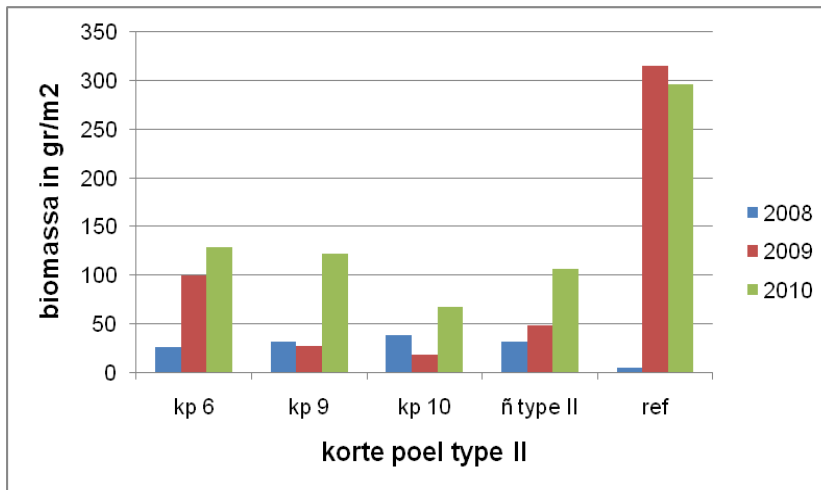
Figuur 10

Verloop van de bedekkingspercentages van de wieren in de korte poelen van type III gedurende de monitoringsperiode. \bar{n} = gemiddelde, ref = referentie.



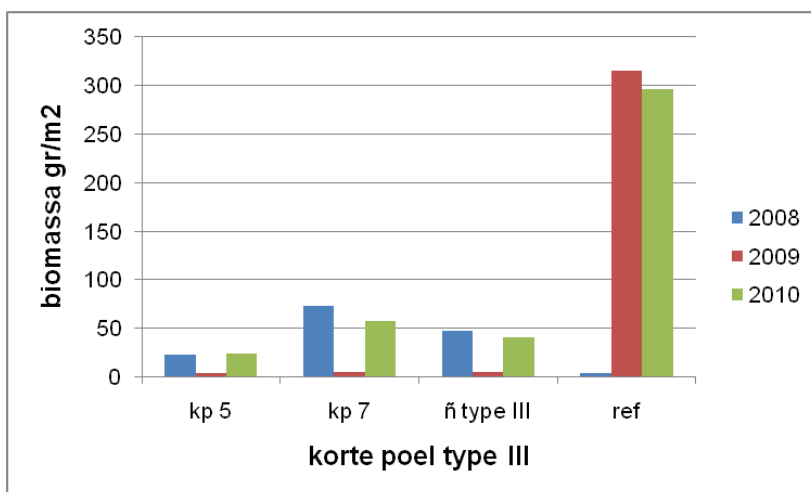
Figuur 11

Verloop van de biomassa per m² van de wieren in de korte poelen van type I gedurende de monitoringsperiode. ñ = gemiddelde, ref = referentie.



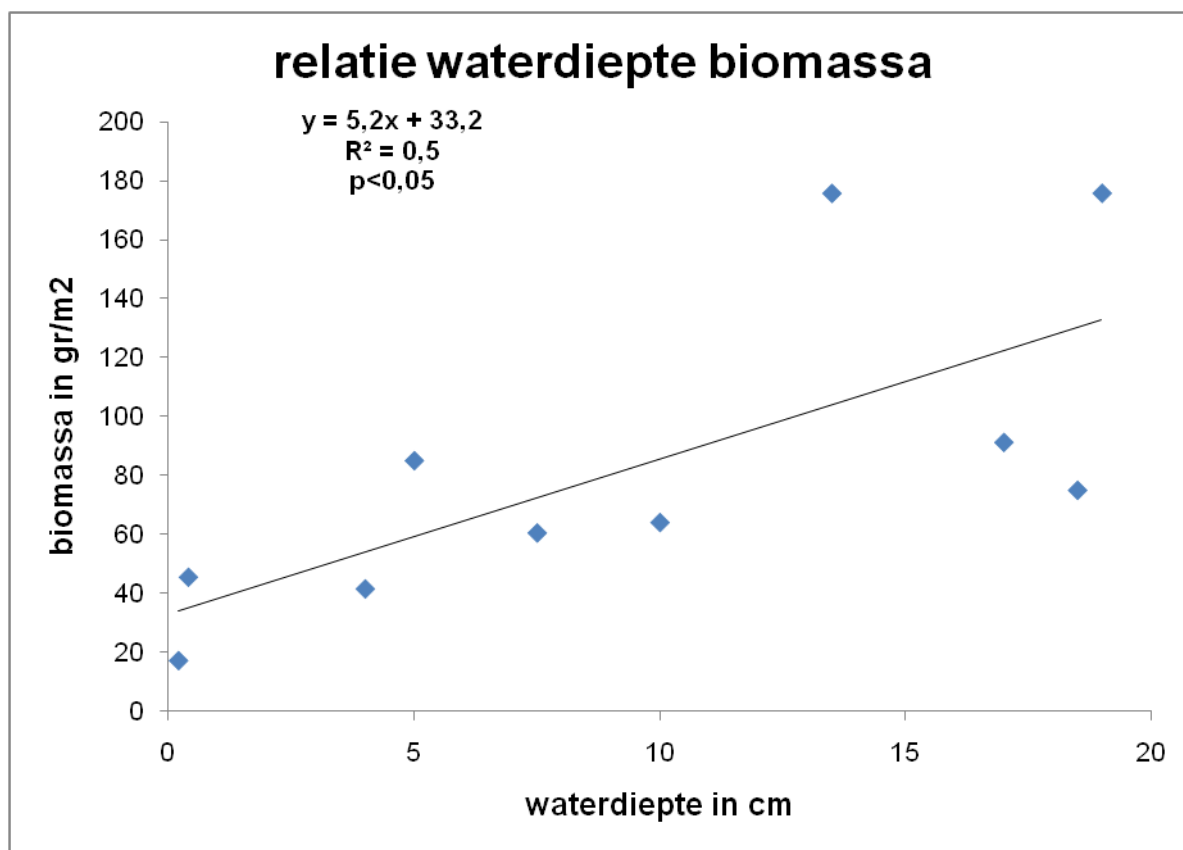
Figuur 12

Verloop van de biomassa per m² van de wieren in de korte poelen van type II gedurende de monitoringsperiode. ñ = gemiddelde, ref = referentie.



Figuur 13

Verloop van de biomassa per m² van de wieren in de korte poelen van type III gedurende de monitoringsperiode. ñ = gemiddelde, ref = referentie.



.....

Figuur 14

Relatie tussen de waterdiepte in de poelen en de gemiddelde biomassa in grammen per m² over de gehele monitoringsperiode.

In de figuren 11 t/m 13 is steeds de biomassa van de referentie (kreukelberm) opgenomen. De biomassa betreft hier vrijwel uitsluitend *Fucus vesiculosus*, terwijl dit in de poelen vooral andere wiersoorten zijn.

3.3.2 lange poelen

3.3.2.1 wieren

.....
Tabel 11

De in de natte en droge delen van de lange poelen aangetroffen wiersoorten en hun gemiddelde abundantie over de gehele monitoringsperiode. Soorten in rood = invasief

wiersoort	lange poel 1		lange poel 2		referentie
	nat	droog	nat	droog	
groenwieren					
<i>Ulva lactuca</i>	8	6	7	4	5
<i>Ulva intestinalis</i>		6	4	4	2
<i>Bryopsis</i>	2				
<i>Cladophora spec</i>	2	2			1
roodwieren					
<i>Callithamnion roseum</i>	3	2	2	1	2
<i>Ceramium rubrum</i>	2	2	2		
<i>Gracilaria verrucosa</i>	4	3	2	2	1
<i>Polysiphonia violacea</i>	2	1	1	1	
<i>Porphyra umbilicalis</i>	1		2	2	
<i>Chondrus crispus</i>	2				
<i>Grateloupia doryphora</i>	1	1			
bruinwieren					
<i>Fucus vesiculosus</i>	2	2	4	6	6
<i>Fucus serratus</i>	2	2			2
<i>Sargassum muticum</i>	2	1	2		
<i>Pilayella littoralis</i>		2	2	1	
totaal aantal wiersoorten	13	12	10	8	7

In tabel 11 staan de in de lange poelen en referentie aangetroffen wiersoorten met hun gemiddelde abundantie over de gehele monitoringsperiode. Omdat het gemiddelde is genomen, betekent dat ze niet op alle monitoringsmomenten in de poelen aangetroffen hoeven te zijn. In bijlage 1 zijn de soorten opgenomen met hun Nederlandse namen en met een link naar een website met foto en/of beschrijving. Onderscheid is gemaakt in natte en min of meer droge delen. Beide poelen bevatten weinig water (foto 6 en 7) en plaatselijk veel slib. De meest dominante soort was *Ulva lactuca*. *U. intestinalis* domineerde in beide poelen in het eerste jaar. In het derde monitoringsjaar trad een sterke ontwikkeling van *Fucus vesiculosus* op, vooral in de wat hoger gelegen lange poel 2, waar grote delen van de bodem volledig met de soort overgroeid raakten. In de lange poel 1 werd in het laatste monitoringsjaar ook *F. serratus* aangetroffen. Opvallend was dat een aantal wieren in de “droge” delen van de laagst gelegen lange poel 1 meer abundant waren dan in lange poel 2, zoals *Gracilaria verrucosa* en *Callithamnion roseum*.

De belangrijkste soorten van de referentie (kreukelberm) waren *F. vesiculosus*, die zich vanaf het tweede monitoringsjaar goed ontwikkelde, en *U. lactuca*.

.....

Foto 6

Lange poel 1 in juli 2008.



.....

Foto 7

Lange poel 2 in juni 2008.

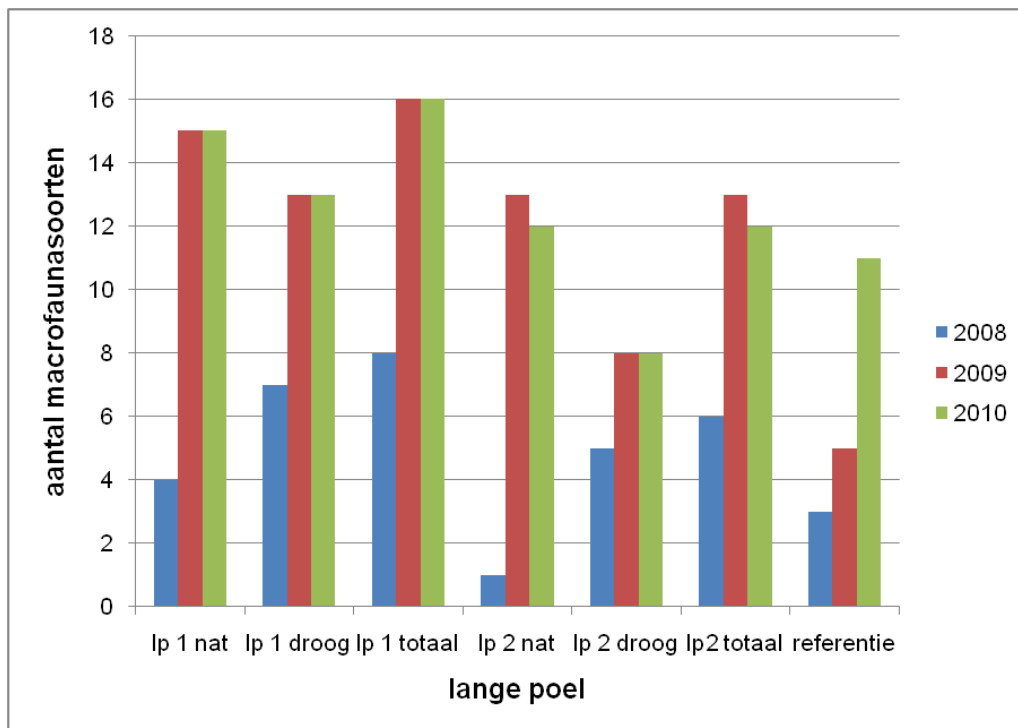


Hoewel niet uit tabel 11 valt op te maken, omdat het gaat om het aantal wiersoorten dat voorkwam gedurende de gehele monitoringsperiode, kwamen er in lange poel 1 (ME=5,6, SE=0,7) gemiddeld significant ($t(17,8)=2,1$, $p<0,05$) meer soorten voor dan in lange poel 2 (ME=3,9, SE=0,4). Verschillen tussen het aantal wiersoorten in de lange poelen en die in de referenties waren door het beperkte aantal opnames in de referentie niet significant.

3.3.2.2 macrofauna

In tabel 12 is de gemiddelde abundantie van de aangetroffen macrofauna-soorten weergegeven. Omdat het gemiddelde is genomen, betekent dat ze niet op alle monitoringsmomenten in de poelen aangetroffen hoeven te zijn. In bijlage 2 zijn deze opgenomen met hun Nederlandse namen en met een link naar een website met foto en/of beschrijving.

De sessiele macrofaunasoorten werden hoofdzakelijk gevonden onder de spaarzaam aanwezige stenen. De meeste stenen lagen half verzonken in het slib, en aan de donkere kleur hiervan was te zien dat er weinig zuurstof aanwezig was. Meest algemeen waren de zeepokken (*Elminius modestus*) en de kleine kokerwormpjes (*Janua pagensteccheri*). Opvallend was dat op de plekken met weinig slib er vanaf het tweede monitoringsjaar redelijk veel exemplaren van *Crepidula fornicata* voorkwamen, die in het derde monitoringsjaar nog verder in aantal waren toegenomen. Van de mobiele macrofaunasoorten waren de gammariden het meest talrijk. Dat lange poel 1 slibrijk was werd onderstreept door de aanwezigheid van *Arenicola marina* (Zee- of Wadpier) in het derde monitoringsjaar.



Figuur 15

Verloop van het aantal macrofaunasoorten in de natte en droge delen van de lange poelen en hun referentie gedurende de monitoringsperiode.

.....
Tabel 12

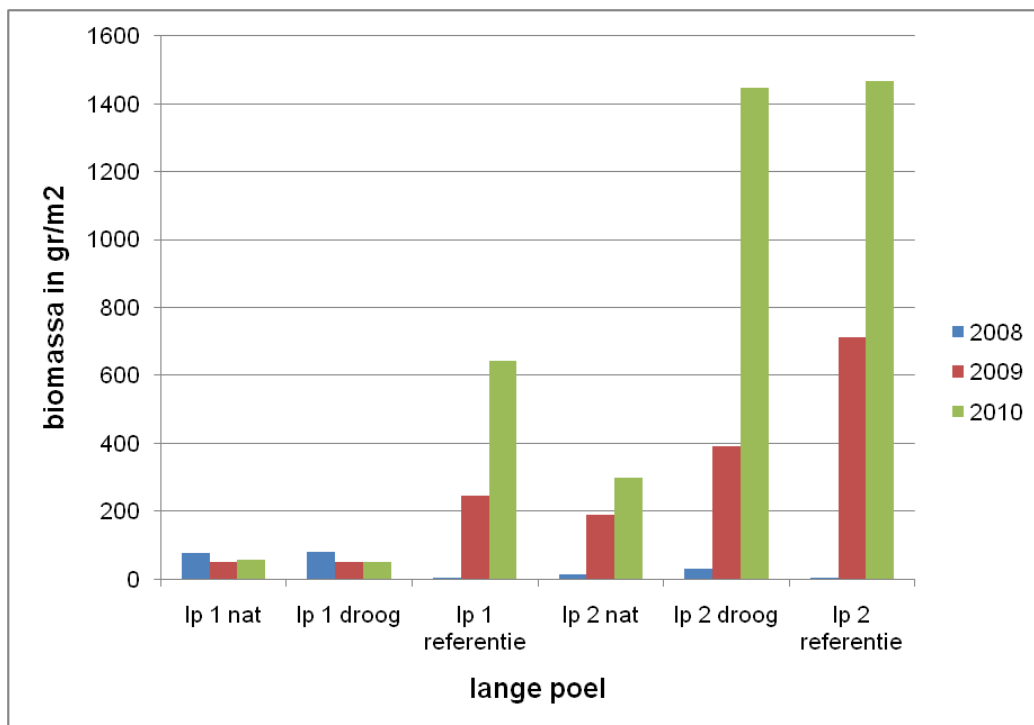
De in de natte en droge delen van de lange poelen aangetroffen macrofauna-soorten en hun gemiddelde abundantie over de gehele monitoringsperiode. Soorten in rood = invasief

macrofaunasoorten	lange poel 1		lange poel 2		referentie
	nat	droog	nat	droog	
zakpijpen					
Aplidium glabrum			1		
<i>Styela clava</i>			1		
<i>Molgula manhattensis</i>	1				
Didemnum lahillei			2		
sponzen					
Halichondria panicea			2	2	2
anemonen					
Actinia equina		1			
Diadumene cincta			1		
kreftachtigen					
<i>Elminius modestus</i>	4	3	3	4	5
<i>Hemigrapsus takanoi</i>	2	2	2	2	2
<i>Hemigrapsus sanguineus</i>		1			
Carcinus maenas	1	1			0,7
<i>Porcellana platycheles</i>	1	1			
Palaemon elegans	2	1	2		
Crangon crangon	1	1			
Gammariden	3	3	3	2	2
wormen					
Nereis diversicolor	2			2	
Arenicola marina		2			
Janua pagensteckeri	4	3	3	2	3
weekdieren					
Patella vulgata	1				2
Littorina littorea	2	2	2	3	4
Littorina obtusata					2
Littorina saxatilis					2
Lepidochitona cinerea	2	2			
Mytilus edulis	2	2	2	2	2
<i>Crassostrea gigas</i>	2	2	2	2	3
<i>Crepidula fornicata</i>	3	2	2	3	
overig					
<i>visbroed</i>	2	1			
grondel	1	1			
Conopeum reticulum	2	2	1		
totaal aantal macrofaunasoorten	19	19	15	10	12

In figuur 15 is het aantal macrofaunasoorten per monitoringsjaar per poel en poelconditie in relatie tot de referentie te zien. Na het eerste monitoringsjaar verdubbelde het aantal macrofaunasoorten om daarna te stabiliseren. De verschillen in aantal macrofaunasoorten in lange poel 1 tussen de natte en de droge delen waren niet significant ($t(10)=0,9$, $p=0,4$), ook voor lange poel 2 was dit het geval ($t(15)=1,2$, $p=0,3$). Door het geringe aantal opnamen binnen de referentie (kreukelberm) konden geen significante verschillen tussen het aantal macrofaunasoorten in de lange poelen en in de referentie worden aangetoond.

3.3.2.3 wierbegroeiing en biomassa

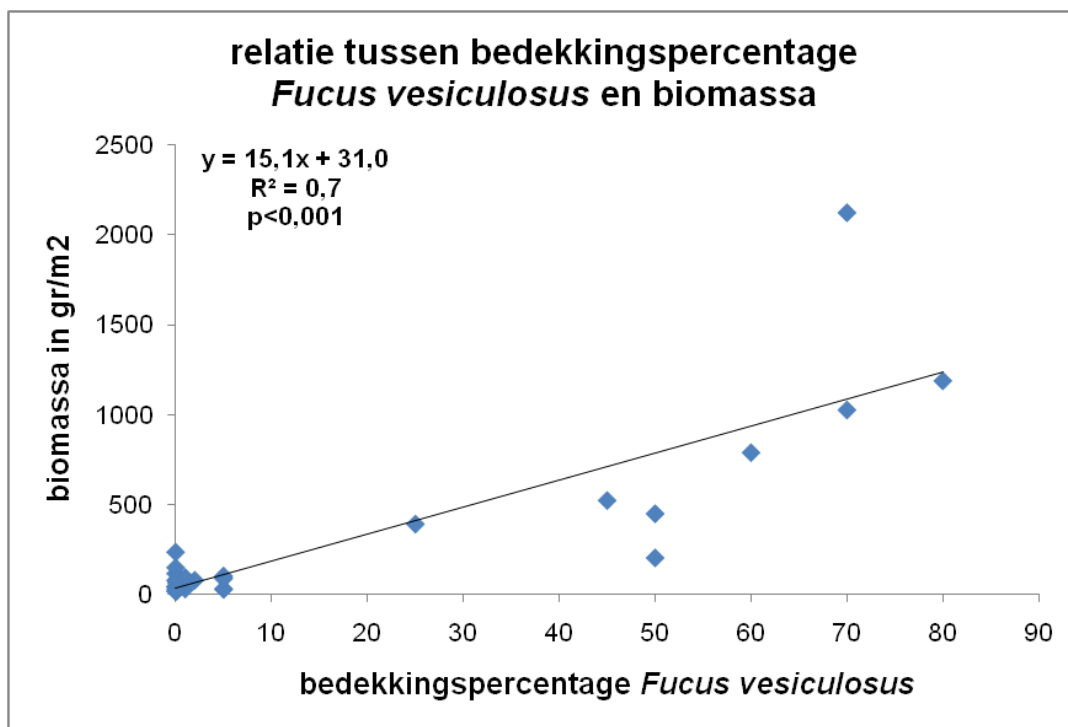
Ook in de lange poelen ging de wierbegroeiing uit van de stenen op en verzonken in de bodem. In lange poel 1 de laagst gelegen van de twee bestond de wierbegroeiing overwegend uit de groenwieren *Ulva lactuca* en *Ulva intestinalis*, eerstgenoemde in de natte en laatstgenoemde in de droge delen van de poel. In lange poel 2 domineerde in de natte delen van de poel vooral *Ulva lactuca* en in de droge delen *Fucus vesiculosus*. Dit was goed te zien aan de gemiddelde biomassa in de natte en droge delen van de lange poelen (figuur 16). Opvallend was de overeenkomst tussen de biomassa in de droge delen van lange poel 2 en de referentie. De relatie tussen het bedekkingspercentage van *Fucus vesiculosus* en de biomassa was significant positief (figuur 17) (regressieanalyse, $F(27)=68,0$, $p<0,001$).



.....

Figuur 16

Verloop van de biomassa in de natte en droge delen van de lange poelen en hun referentie gedurende de monitoringsperiode.



.....

Figuur 17

Relatie tussen het bedekkingspercentage van *Fucus vesiculosus* en de biomassa in grammen droge stof per m² in de lange poelen.

4 discussie en conclusies

locatie, dynamiek en sedimentatie

Doordat de windrichting overheersend westelijk was, lagen de poelen voor het grootste gedeelte in de luwte. Dit had tot gevolg dat al snel na de aanleg er een sliblaag in de poelen was afgezet.

In de korte poelen, hoewel dit slechts globaal is gemeten, was de sliblaag het dikst in de poelen die vrijwel volledig leegliepen. Een filterwerking bij het leeglopen tijdens de eb fase is hier mogelijk een oorzaak voor. Na ongeveer twee monitoringsjaren leek de sedimentdikte zich te stabiliseren. In de lange poelen deed dit fenomeen zich ook voor, maar in versterkte mate. Een oorzaak zou de iets luwere ligging ten opzichte van de wind kunnen zijn, maar ook de kortere duur van de golfaanval door de hogere ligging in het intergetijdengebied.

Het luwe karakter van de locatie werd ook bevestigd door een laagje slib op de stenen van de kreukelberm.

korte poelen

In de korte poelen was er voor wat betreft de diversiteit in wieren geen significant verschil met de referentie, de kreukelberm. Wel kwam een aantal soorten uitsluitend in de poelen voor, met name omdat zij droogval slecht verdragen. De wierbiomassa en –bedekking was het hoogst in de poelen met de grootste waterdiepte (en –oppervlak), en dit is een indicatie voor een geringe golfdynamiek. Zou de dynamiek hoog zijn geweest, dan zou zowel de wierbiomassa als de –bedekking lager of bijna nihil zijn geweest. De positieve relatie tussen de waterdiepte en de wierbiomassa en het aantal macrofaunasoorten is een indicatie voor het optreden van warmtestress in de zomer in de ondiepere poelen. Maar ook het slib zal een beperkende factor voor de vestiging van de sessiele macrofauna zijn geweest. Naast dat een sliblaag de mogelijkheden tot vasthechten verlaagd, sluit het holtes en de ruimte onder stenen af, waar vervolgens weer zuurstofloosheid kan ontstaan. De (weliswaar geringe) afname van het aantal macrofaunasoorten in de poelen met meer dan 10 cm water in het derde monitoringsjaar zou een gevolg van de sedimentatie van slib kunnen zijn geweest.

Ondanks de luwe ligging met sedimentatie in de poelen als gevolg vestigden zich in de poeltypen waar water in bleef staan significant meer macrofaunasoorten dan op de stenen van de referentie (kreukelberm). Opvallend vertegenwoordigd in aantal soorten en abundantie waren de zakpijpen en sponzen onder de stenen. Waarschijnlijk door de aanwezigheid van het slib werd slechts een enkele anemoon waargenomen.

lange poelen

De lange poelen lagen aanzienlijk hoger in het intergetijdengebied dan de korte poelen waardoor de lange poelen 3 tot 4 keer langer droogvielen dan de korte. Gepaard aan een geringere golfdynamiek moet dit tot meer warmte- en droogtestress hebben geleid. Het aantal macrofaunasoorten en hun abundantie in de lange poelen was dan ook lager dan in de korte poelen, waarbij ook het effect van het slib een rol gespeeld zal hebben. Een indicatie voor het volslibben van de lange poelen was de aanwezigheid van de Zee- of Wadpier. Van de zakpijpen werd zo nu en dan een kleine kolonie of een enkel exemplaar aangetroffen. Ook sponzen deden het slecht. Alleen

in de hoogst gelegen lange poel 2 werden kleine hoeveelheden Broodspans waargenomen.

De ontwikkeling van de wierbiomassa in de laaggelegen lange poel 1 was beperkt vergeleken met lange poel 2. Dit kwam door de dominantie van de niet-overblijvende groenwieren Zeesla en Echt darmwier. Verschillen in biomassa tussen de droge en natte delen in de poelen waren verwaarloosbaar. De oorzaak van de relatief beperkte biomassa moet hem worden gezocht in ligging van de poel in het intergetijdengebied waar indien de omstandigheden bij eb voldoende nat zijn, groenwieren goed tot ontwikkeling komen. De wierbiomassa in de hoogst gelegen lange poel 2 werd bepaald door Blaaswier (*Fucus vesiculosus*), een overblijvende soort, die ook sterk het aspect bepaalde van de zone in het intergetijdengebied waarin de poel was aangelegd. In de permanent natte delen van lange poel 2 kwam het Blaaswier matig tot ontwikkeling, maar het overgroeide de droge delen van de poel volledig.

Significante verschillen in soortdiversiteit tussen de natte en droge delen van de poelen en de referentie konden niet worden aangetoond.

conclusies

- kunstmatige getijdenpoelen aangelegd in de kreukelberm van een dijkbekleding verhogen de biodiversiteit
- kunstmatige getijdenpoelen op een luwe locatie (weinig golfdynamiek) hebben de neiging te verslibben
- kunstmatige getijdenpoelen op een luwe locatie (weinig golfdynamiek) hebben een hoge algenbiomassa
- aantal en abundantie van macrofaunasoorten in kunstmatige getijdenpoelen is positief gecorreleerd met de waterdiepte

5 literatuur

- Brodie, J., C.A. Maggs & D. M. John, 2007. The green seaweeds of Britain and Ireland. Publ. the British Phycological Society. ISBN 0 9527115 32.
- CUR, 1994. Handboek natuurvriendelijke oevers. CUR rapport 168. Gouda 1994.
- CUR, 1999. Natuurvriendelijke oevers: vegetatie langs grote wateren. CUR publicatie 204; Stichting CUR, Gouda.
- Hayward, P.J. and J.S. Ryland (Ed.), 1998. Handbook of the marine fauna of North-West Europe. Oxford University Press: Oxford, UK. ISBN 0-19-854055-8, 800 pp.
- Hiscock, S., 1986. A field key to the British Red Seaweeds (Rhodophyta). Field Studies Council. Occasional Publication No. 13.
- Leeuwis, R., D. Willemse, P. Sloof-Spijker & C. Jacobusse., 2005. Zeefauna in Zeeland. Fauna Zeelandica. Deel 1. Sponzen, Neteldieren en Ribkwallen, Wormen, Tentakeldieren, Stekelhuidigen en Zakpijpen. Het Zeeuwse Landschap. ISBN: 90-806370-4-1
- Stegenga, H. & I. Mol, 1983. Flora van de Nederlandse zeewierren. KNNV, uitgave nr. 33.

6 bijlagen

bijlage 1

flora					
Latijnse naam	Nederlandse naam	2008	2009	2010	
Ulva lactuca	Zeesla	1	1	1	link
Ulva intestinalis	Echt darmwier	1	1	1	link
Gayralia oxyspermum		1			link
Bryopsis plumosa	Vederwier			1	link
Cladophora spec	Rotswier			1	link
Callithamnion roseum	Boompjeswier	1	1	1	link
Ceramium rubrum	Hoorntjeswier	1	1	1	link
Gracilaria verrucosa	Knoopwier	1	1	1	link
Polysiphonia urceolata	Fijn buiswier	1	1	1	link
Polysiphonia violacea	Violet buiswier			1	link
Polysiphonia nigrescens	Donker buiswier			1	link
Porphyra umbilicalis	Navelwier	1	1		link
Grateloupia doryphora				1	link
Chondrus crispus	Iers mos			1	link
Fucus vesiculosus	Blaaswier	1	1	1	link
Fucus serratus	Gezaagde zee-eik			1	link
Sargassum muticum	Japans bessenwier	1	1	1	link
Pilayella littoralis	Kwastwier		1		link

bijlage 2

fauna					
Latijnse naam	Nederlandse naam	2008	2009	2010	
<i>Aplidium glabrum</i>	Glanzende bolzakpijp	1	1		link
<i>Botrylloides leachi</i>	Tweekleurige slingerzakpijp	1	1	1	link
<i>Botrylloides violaceus</i>	Gewone slingerzakpijp	1	1	1	link
<i>Styela clava</i>	Japanse knotszakpijp	1	1	1	link
<i>Molgula manhattensis</i>	Ronde zakpijp	1	1	1	link
<i>Ciona intestinalis</i>	Doorschijnende zakpijp	1	1	1	link
<i>Botryllus schlosseri</i>	Paarse geleikorst	1		1	link
<i>Didemnum lahillei</i>	Drupzakpijp	1	1	1	link
<i>Asciella aspersa</i>	Ruwe zakpijp	1	1	1	link
<i>Asciella scabra</i>	Gladde zakpijp	1	1		link
<i>Halyclona xena</i>	Paarse buisjesspons	1	1	1	link
<i>Leucosolenia variabilis</i>	Witte buisjesspons	1	1	1	link
<i>Halichondria panicea</i>	Broodspons	1	1	1	link
<i>Mycale micracanthoxea</i>	Korst spons	1	1	1	link
<i>Actinia equina</i>	Paardeanemoon	1		1	link
<i>Diadumene cincta</i>	Golfbrekeranemoon			1	link
<i>Semibalanus balanoides</i>	Gewone zeepok	1	1	1	link
<i>Elminius modestus</i>	Nieuwzeelandse zeepok	1	1	1	link
<i>Arenicola marina</i>	Zee- of Wadpier			1	link
<i>Nereis diversicolor</i>	Zeeduizendpoot	1	1	1	link
<i>Janua pagensteckeri</i>	Kalkkokerworm	1	1	1	link
<i>Ficopomatus enigmaticus</i>	Trompetkalkkokerworm	1	1		link
<i>Patella vulgata</i>	Schaalhoorn	1	1	1	link
<i>Littorina littorea</i>	Gewone alikruik	1	1	1	link
<i>Littorina obtusata</i>	Stompe alikruik	1		1	link
<i>Littorina saxatilis</i>	Ruwe alikruik	1	1	1	link
<i>Lepidochitona cinerea</i>	Asgrauwe keverslak			1	link
<i>Mytilus edulis</i>	Mossel	1	1	1	link
<i>Crassostrea gigas</i>	Japanse oester	1	1	1	link
<i>Crepidula fornicata</i>	Muiltje		1	1	link
<i>Hemigrapsus takanoi</i>	Penseelkrab	1	1	1	link
<i>Hemigrapsus sanguineus</i>	Blaasjeskrab		1		link
<i>Carcinus maenas</i>	Strandkrab	1	1	1	link
<i>Porcellana platycheles</i>	Porceleinkrab		1		link
Gammariden	Vlokreeften	1	1	1	link
Pisces	vissen	1	1		
<i>Crangon crangon</i>	Garnaal	1	1	1	link
<i>Palaemon elegans</i>	Gewone steurgarnaal	1	1	1	link
<i>Conopeum reticulum</i>	Zeekantwerk	1	1	1	link
	grondel			1	

bijlage 3

verloop van de wierbegroeiing in korte poel type I, als voorbeeld korte poel 2



Wierbegroeiing op 16 september 2008. Enige groei van *Ulva lactuca* (Zeesla) en *Gracilaria verrucosa* (Knoopwier) op stenen.



Wierbegroeiing op 22 mei 2009. Rand van de poel geheel bedekt met *Ulva intestinalis* (Echt darmwier). In poel hoge bedekkingsgraad aan wieren. Zeesla en Knoopwier en *Pilayella littoralis* (Kwastwier).



Wierbegroeiing op 10 oktober 2009. Echt darmwier verdwenen. Kwastwier, Zeesla en knoopwier codominante soorten.



Wierbegroeiing op 1 mei 2010. Meeste wiersoorten nog niet tot ontwikkeling gekomen. Toename van *Fucus vesiculosus* (Blaaswier) op de stenen rond de poel, maar ook in de poel.



Wierbegroeiing op 29 september 2010. Knoopwier dominante soort. Blaaswier en Zeesla subdominant.

bijlage 4

verloop van de wierbegroeiing in korte poel type II, als voorbeeld
korte poel 6



Wierbegroeiing op 16 september 2008. Zeesla en Echt darmwier op stenen.



Wierbegroeiing op 22 mei 2009. Rand van de poel en bodem en stenen van de poel geheel bedekt met Echt darmwier.



Wierbegroeiing op 10 oktober 2009. Zeesla dominante soort. Echt darmwier verdwenen.



Wierbegroeiing op 1 mei 2010. Toename van *Fucus vesiculosus* (Blaaswier) op de stenen in de poel.



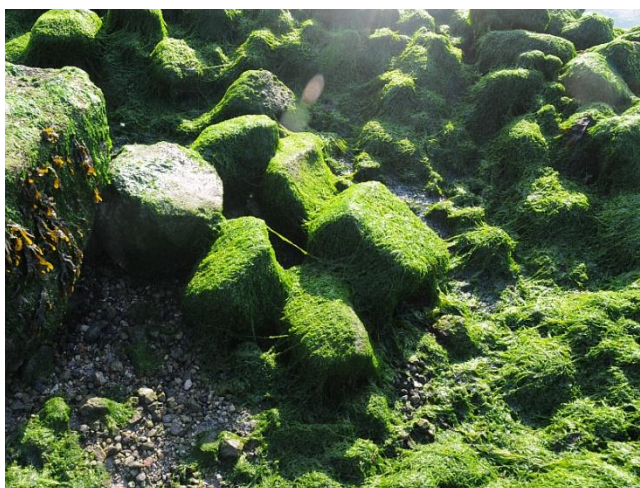
Wierbegroeiing op 29 september 2010. Knoopwier dominante soort. Blaaswier en Zeesla subdominant.

bijlage 5

verloop van de wierbegroeiing in korte poel type II, als voorbeeld korte poel 5



Wierbegroeiing op 16 september 2008. Echt darmwier vrijwel alleen op de stenen rond de poel. Enig Zeesla in de poel.



Wierbegroeiing op 22 mei 2009. Rand van de poel en stenen van de poel bedekt met Echt darmwier.



Wierbegroeiing op 10 oktober 2009. Bodem kaal wat Zeesla aan grotere stenen.



Wierbegroeiing op 1 mei 2010. Geen wierbegroeiing van betekenis.



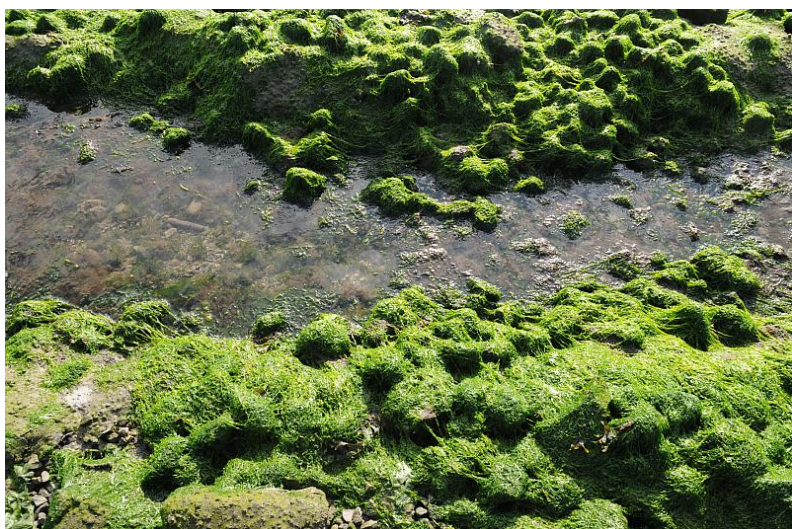
Wierbegroeiing op 29 september 2010. Knoopwier en Zeesla codominante soorten. Blaaswier niet echt in poel zelf. Wierbegroeiing gering.

bijlage 6

verloop van de wierbegroeiing in lange poel1



Wierbegroeiing op 16 september 2008. Dominantie van *Ulva lactuca* in de poelen.



Wierbegroeiing op 22 mei 2009. Dominantie van *Ulva intestinalis* op de randen en droge delen en *Pilayella littoralis* in de natte delen.



Wierbegroeiing op 6 oktober 2009. Dominantie van *Ulva lactuca* in de poelen. Ontwikkeling van *Fucus vesiculosus* op de randen.



Wierbegroeiing op 1 mei 2010.
Dominantie van *Ulva lactuca* in de poelen. Dominantie van *Fucus vesiculosus* op de randen.



Wierbegroeiing op 29 september 2010. Vrijwel geen wier in de poelen. Dominantie van *Fucus vesiculosus* op de randen.

bijlage 7

verloop van de wierbegroeiing in lange poel 2



Wierbegroeiing 17 juni 2008.
Dominantie alom van *Ulva intestinalis*.



Wierbegroeiing op 16 september 2008. Dominantie van *Ulva lactuca* in de poelen. *Ulva intestinalis* aan het verdwijnen.



Wierbegroeiing op 22 mei 2009.
Dominantie van *Ulva intestinalis* in poelen en op de randen. *Fucus vesiculosus* in opkomst.



Wierbegroeiing op 6 oktober 2009. Dominantie van *Ulva lactuca* in de natte delen van de poelen. Sterke uitbreiding van *Fucus vesiculosus* op de randen en in de droge delen van de poelen.



Wierbegroeiing op 1 mei 2010. Dominantie van *Ulva lactuca* en *Ulva intestinalis* in de natte delen van de poelen, maar ook *Fucus vesiculosus*. Droge delen vrijwel overgroeid met *Fucus vesiculosus*.



Wierbegroeiing op 29 september 2010. Dominantie van *Ulva lactuca* en *Ulva intestinalis* in de natte delen van de poelen, maar ook *Fucus vesiculosus*. Droge delen vrijwel geheel overgroeid met *Fucus vesiculosus*.

