

Toepassingsmogelijkheden van vetiver gras en *Cyperus rotundus* op dijken

Afstudeerverslag



Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Waterbouwkunde

Irene Maaskant
September 2005

Master thesis Civiele Techniek

Afstudeercommissie:

Prof. Dr. Ir. M.J. Stive (TU Delft)

Ir. H.J. Verhagen (TU Delft)

Drs. W.N.J. Ursem (TU Delft)

Drs. P.J.T. Dankers (TU Delft)

Irene Maaskant

1005251

Ridderkerk, september 2005



Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Waterbouwkunde

Voorwoord

Dit is het eindrapport van mijn onderzoek naar verschillende omstandigheden waarmee vetiver gras te maken kan krijgen als het wordt gebruikt om de golfoploop op dijken te verminderen. In dit rapport is ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om *Cyperus rotundus* toe te passen als dijkbekleding. Dit rapport is gemaakt in kader van het afstudeeronderzoek aan de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit van Delft.

In dit rapport wordt ingegaan op het gedrag van vetiver gras bij een verschillende waterstand. Er wordt ook gekeken naar de invloed van zoete, brakke en zoute condities op vetiver gras en de gevolgen van het afsterven van een vetiver plant.

Bij het *Cyperus rotundus* wordt eveneens de invloed van zoete, brakke en zoute condities onderzocht. Tenslotte wordt er gekeken naar de worteldichtheid van *Cyperus* in vergelijking met het gras dat in Nederland op dijken wordt toegepast en de snelheid waarmee het *Cyperus rotundus* de bodem bedekt.

Mijn dank gaat uit naar mijn afstudeercommissie, Prof. Dr. Ir. M.J. Stive, Ir. H.J. Verhagen en Drs. W.N.J. Ursem. Vervolgens wil ik ook de medewerkers van de Botanische Tuin van de TU Delft bedanken, voor het opzetten van de experimenten, het water geven en het weer afbreken van de experimenten.

En natuurlijk gaat mijn dank ook uit naar mijn ouders en verdere familie voor de interesse en steun tijdens mijn hele studie.

Irene Maaskant,
september 2005

Samenvatting

In veel gebieden is de veiligheid tegen overstromingen lager dan in Nederland. Door een gebrek aan ruimte en geld zijn de dijken onvoldoende hoog. In deze gebieden is de kans op overstromingen ongeveer één op twintig, terwijl in Nederland, in de randstad, een kans op overstromingen is van één op 10.000. Door de gevolgen van een overstroming gaan veel gewassen verloren en neemt het aanbod van voedsel af. Men is nu op zoek naar een oplossing die de overstromingskans verkleint, maar weinig geld kost en niet veel ruimte in beslag neemt.

In de loop van de tijd is er ervaring opgedaan met het gebruik van vetiver gras. Dit gras is toegepast om de erosie in warme gebieden te verminderen. Deze erosie wordt veroorzaakt doordat er steeds meer heuvelachtige gebieden in gebruik worden genomen voor de landbouw. De bomen die op de hellingen stonden worden vervangen door gewassen. Bij intensieve regenval kan de bovenste vruchtbare grondlaag gemakkelijk wegspoelen. Door vetiver gras op de contourlijnen van een helling te plaatsen kan de erosie worden verminderd. De stengels van vetiver gras houden het sediment tegen en verminderen de afstroomsnelheid van het water. Het water krijgt hierdoor een langere tijd om in de grond te zakken. Het lange en dichte wortelnetwerk zorgt ervoor dat het water geen ondergrondse geulen kan maken en dat het gras stevig in de grond staat. Door de positieve resultaten van het gebruik van vetiver gras om de erosie te verminderen wil men dit gras ook op de bermen van dijken toepassen. Het gras moet bij hoog water de golfenergie verminderen, zodat de golfoploop verminderd wordt en daardoor de overstromingskans verkleint wordt.

Vetiver gras komt oorspronkelijk uit Azië, waar het van nature voorkomt in laaggelegen, vochtige gebieden. Op dit moment wordt het gras in meer dan 120 landen gebruikt. In 1986 is het Vetiver Netwerk opgericht (zie www.vetiver.com). Dit is een organisatie die informatie over vetiver gras verzamelt en verspreidt. Het gras heeft stengels die een lengte hebben van ongeveer twee meter. De wortels van het gras kunnen een lengte bereiken van drie meter. Dicht bij het grondoppervlak zijn er een groot aantal kleinere wortels. Het aantal wortels neemt af bij een grotere lengte van de wortels.

Wanneer de vetiver hagen op een berm van een dijk worden geplant en plant eenmaal aangeslagen is, zal een plant niet snel dood gaan als gevolg van een tekort aan water. Een volwassen plant is bijna geheel afgestorven na een periode van 32 weken, ongeveer zeven maanden. De wortels van deze plant zullen in deze periode ook niet vergaan, zodat de stabiliteit van de dijk gewaarborgd blijft.

De hoogte van de waterstand heeft weinig invloed op de groei van de stengels en de bladen van vetiver gras. Wanneer de waterstand bijna even hoog staat als het grondoppervlak treedt er na een periode van ongeveer drie maanden vermindering op van de groei van de lengte van de stengels. Ook ontstaan er na deze periode bij deze plant minder nieuwe stengels. De verschillen in de lengte van de wortels als gevolg van de waterstand zijn duidelijker. Vetiver gras maakt wortels die ongeveer veertig centimeter langer zijn dan het niveau van de waterstand.

De invloed van zout op vetiver gras is goed te zien. Een plant in water wat dezelfde zoutconcentratie heeft als zeewater (35 ‰) sterft langzaam af. Deze plant krijgt alleen in het begin nieuwe stengels. Alle stengels worden vervolgens langzaam geel en gaan slap hangen. De plant die in brak water staat (een zoutgehalte van 9 ‰) groeit minder hard dan de plant in het zoete water, maar sterft niet af. De opbrengst van deze plant is ongeveer 60% van de plant zonder zout. Vetiver kan dus worden toegepast op dijken in zoete en brakke omgevingen. Ook kan het gras langs een zeedijk worden geplant, als de wortels niet lang in contact komen met het zoute water.

Om te bekijken wat de invloed is van het gras op de golfoploop zal er een schaalmodel moeten worden uitgevoerd. Vetiver gras moet hiervoor worden gemodelleerd. Dit kan het beste gebeuren met borstels. In een ander afstudeeronderzoek zullen deze modelproeven worden uitgevoerd.

Cyperus rotundus komt in verschillende Amerikaanse landen voor waar het een goede bodembedekker is. Hierdoor wordt het in verschillende landen als dijkbekleding gebruikt. Deze dijkbekleding moet de dijk beschermen tegen golfaanvallen die worden veroorzaakt door schepen of wind.

De invloed van zout water op *Cyperus rotundus* is duidelijk te zien. De plant in het zoute water (35 ‰) maakt alleen in het begin nog enkele nieuwe stengels, daarna sterft deze plant langzaam af. De plant in het brakke water maakt af en toe nog nieuwe stengels, maar deze worden niet zo lang als de stengels in de plant met het zoete water. Ook deze plant sterft langzaam af. De plant in het zoete water krijgt na loop van tijd steeds meer nieuwe stengels. Het *Cyperus rotundus* is daardoor alleen geschikt als dijkbekleding op plaatsen waar de plant niet in aanraking komt met zout of brak water.

In Nederland wordt veelal gras gebruikt als dijkbekleding. Hiervoor worden er verschillende eisen aan het gras gesteld. Zo kan de zodekwaliteit worden bepaald aan de hand van het aantal wortels per diepte. Bij het gras dat in Nederland wordt toegepast neemt bij een grotere diepte het aantal wortels af. Bij het *Cyperus rotundus* blijft het aantal wortels over de diepte ongeveer gelijk. De bovenste laag van het *Cyperus rotundus* is hierdoor minder goed beschermd tegen de golfaanvallen dan het gras, maar op diepere gebieden is de sterkte van het wortelnetwerk groot genoeg om het dijklichaam te kunnen beschermen.

Het bedekken van de bodem met *Cyperus rotundus* duurt lang. Na een periode van 17 weken zijn er verspreidt over het bodemoppervlak nieuwe stengels naar boven gekomen. Er is op dat moment nog geen sprake van een goede bodembedekking. De nieuwe stengels komen op steeds grotere afstanden van de oorspronkelijke plant naar boven. Wanneer op dat moment het *Cyperus rotundus* wordt blootgesteld aan golven, zal de grond makkelijk kunnen wegspoelen. Om dit te voorkomen zullen er tijdelijke oplossingen moeten worden genomen.

Hoe goed *Cyperus rotundus* geschikt is als dijkbekleding kan worden onderzocht door een erosiesproeioproef uit te voeren.

Lijst van figuren

figuur 2.1: landen waar vetiver gras wordt gebruikt	4
figuur 2.2: al deze planten horen bij dezelfde grasfamilie als vetiver gras.....	6
figuur 2.3: verschil in worteldichtheid in schaduw en zon.....	7
figuur 2.4: doorsnede van een stengel vetiver.....	9
figuur 2.5: weerhaakjes van een vetiver blad.....	9
figuur 2.6: schematische weergaven van vetiver gras.....	10
figuur 2.7: wortels van vetiver gras.....	11
figuur 2.8: de verbinding tussen de stengels en de wortels.....	12
figuur 2.9: afschuifvlak vetiver wortels.....	12
figuur 2.10: wortels van vetiver gras van een twee jaar oude plant in Zuid China	12
figuur 2.11: wortelpuntje van vetiver gras.....	13
figuur 3.1: het planten van de vetiver hagen.....	14
figuur 3.2: de werking van vetiver.....	14
figuur 3.3: de werking van de hagen op een helling.....	15
figuur 3.4: vetiver gras in een kwekerij.....	15
figuur 4.1: erosie op een helling	17
figuur 4.2: verzanding van rivieren onder aan een helling	17
figuur 4.3: werking vetiver gras.....	17
figuur 4.4: erosie op terrassen	18
figuur 4.5: Schade ontstaan door landafschuiving in Madagaskar.....	18
figuur 4.6: vetiver gras langs een oever.....	19
figuur 4.7: bescherming van rivierdoorgangen bij bruggen	19
figuur 4.8: bescherming van irrigatie-aquaducten	19
figuur 4.9: randen vetiver langs jonge aanplant	20
figuur 5.1: Cyperus rotundus.....	22
figuur 5.2: een blad van Cyperus rotundus.....	22
figuur 5.3: wortelknol.....	23
figuur 5.4: de knol waaruit een Cyperus plant ontstaat	23
figuur 5.5: bedekking van de grond met Cyperus rotundus.....	24
figuur 5.6: schematische weergave van een stengel van Cyperus rotundus.....	25
figuur 6.1: plant voor de bepaling van de worteldichtheid.....	26
figuur 6.2: grafische weergave van het aantal wortels per lengte van de wortels.....	27
figuur 7.1: het afsterven van een grote plant vetiver gras	30
figuur 7.2: de percentages verdroogde stengels van het afstervende vetiver gras.....	30
figuur 7.3: wortels aan het begin (links) en tegen het einde (rechts) van het experiment.....	31
figuur 8.1: vetiver voor het begin van de proef.....	33
figuur 8.2: schematische weergave van de opstelling met een gemiddelde waterstand	34
figuur 8.3: de opstelling van vetiver gras met een verschillende waterstand.....	34
figuur 8.4: vetiver gras met een lage waterstand	36
figuur 8.5: vetiver gras met een hoge waterstand.....	37
figuur 8.6: vetiver gras met een gemiddelde waterstand.....	38
figuur 8.7: grafiek van de cumulatieve lengte van de stengels met een verschillende waterstand.....	39
figuur 8.8: aantal nieuwe stengels per week	40
figuur 8.9: aantal nieuwe stengels per week cumulatief.....	41
figuur 8.10: histogram van het aantal stengels per week.....	42
figuur 8.11: vetiver gras met een lage waterstand, het gras blijft staan zonder steun.....	43
figuur 8.12: wortellengte bij de verschillende waterstanden.	44
figuur 8.13: lengte wortels van vetiver gras met een hoge waterstand (lengte 58 cm).....	45
figuur 8.14: lengte wortels van vetiver gras met een gemiddelde waterstand (lengte 85 cm)	45
figuur 8.15: lengte wortels van vetiver gras met een lage waterstand (lengte 105 cm).....	45
figuur 8.16: aantal wortels per lengte in grafiekvorm bij een kluit van 10 x 10 cm	46
figuur 9.1: vetiver gras voor het experiment.....	51
figuur 9.2: opstelling van vetiver gras met verschillende zoutconcentraties	51
figuur 9.3: vetiver gras met een zoutgehalte van 0‰.....	53
figuur 9.4: vetiver gras met een zoutgehalte van 9‰.....	54
figuur 9.5: vetiver gras met een zoutgehalte van 35‰.....	55
figuur 9.6: grafiek van de cumulatieve lengte van de stengels met een verschillend zoutgehalte	56
figuur 9.7: het verschil in groei tussen de plant in zout en brak water	57

figuur 9.8: aantal nieuwe stengels per week	58
figuur 9.9: aantal nieuwe stengels per week cumulatief.....	59
figuur 9.10: histogram van het aantal stengels per week.....	60
figuur 9.11: afgestorven vetiver in 35 ‰.....	61
figuur 9.12: breedte van respectievelijk de plant met 0 ‰ (3mm) en 35 ‰ (2,5 mm).....	62
figuur 9.13: kleurverschil tussen planten 0‰ (links) en 9‰ (rechts)	62
figuur 9.14: zoutnecrose van vetiver gras met het hoogste zoutgehalte	62
figuur 10.1: opstelling vetiver gras en <i>Cyperus rotundus</i>	64
figuur 10.2: schematische weergave van de opstelling	65
figuur 10.3: opstelling bij het begin van het experiment.....	66
figuur 10.4: opstelling na 125 dagen.....	66
figuur 10.5: <i>Cyperus rotundus</i> met een zoutgehalte van 0 ‰	67
figuur 10.6: <i>Cyperus rotundus</i> met een zoutgehalte van 9 ‰	68
figuur 10.7: <i>Cyperus rotundus</i> met een zoutgehalte van 35 ‰	69
figuur 10.8: aantal nieuwe stengels per week	70
figuur 10.9: aantal nieuwe stengels per week cumulatief	71
figuur 10.10: percentage verdroogde stengels van <i>Cyperus rotundus</i> met een verschillend zoutgehalte....	72
figuur 10.11: histogram van het aantal stengels per week	73
figuur 11.1: de doorsnede van een grasmat.....	76
figuur 11.2: proefopstelling sproeikopproef.....	78
figuur 11.3: zodekwaliteit als functie van de doorworteling van grond met een diameter van 3 cm.....	80
figuur 11.4: nieuwe stengels groeien vanuit de wortelknopen.....	80
figuur 11.5: wortels die overblijven na het uitspoelen van de grond, ongeveer 4/5 ^{de} deel.....	81
figuur 11.6: waarden van <i>Cyperus rotundus</i> voor bepaling van de zodekwaliteit	81
figuur 12.1: opstelling voor de horizontale groeisnelheid met de afmetingen bij het begin van exp. 1.....	83
figuur 12.2: afstand tussen het midden van de plant en de nieuwe stengels van <i>Cyperus rotundus</i> 1.....	85
figuur 12.3: afstand tussen het midden van de plant en de nieuwe stengels van <i>Cyperus rotundus</i> 2.....	86
figuur 12.4: bedekkingsgraad <i>Cyperus rotundus</i>	88
figuur 12.5: de opstelling na een periode van zeventien weken	89
figuur 13.1: bepaling dijkhoogte	91
figuur 13.2: definitie golfoploop, hierbij is z de hoogte van de golfoploop.....	91
figuur 13.3: soorten bekledingen.....	93
figuur 13.4: mattenbies.....	94
figuur 13.5: een rietkraag.....	94
figuur 13.6: schematische weergave van de golfdemping door een riet of biezenkraag [1]	95
figuur 13.7: grafiek van de golfdemping in een rietkraag van juli t/m september	96
figuur 13.8: borstels uit een bezem.....	98

Lijst van tabellen

Tabel 2.1: relatie tussen diameter en de treksterkte van een vetiver wortel [49]	13
Tabel 6.1 :aantal wortels per afstand vanaf de overgang tussen de plant en de wortels.....	27
Tabel 7.1: percentage afgestorven stengels	30
Tabel 8.1: groeisnelheden van vetiver gras met een verschillende waterstand.....	40
Tabel 8.2: aantal nieuwe stengels bij verschillende waterstanden	41
Tabel 8.3: kenmerkende waarden voor het aantal nieuwe stengels per week	42
Tabel 8.4: Chi – kwadraat toets	43
Tabel 8.5: overzicht lengte wortels	44
Tabel 8.6: aantal wortels per lengte	46
Tabel 9.1: reactie van planten op het zoutgehalte [27]	50
Tabel 9.2: zoutgehalte in de opstelling.....	52
Tabel 9.3: groeisnelheden van vetiver gras met een verschillend zoutgehalte	57
Tabel 9.4: het aantal nieuwe stengels die zijn gevormd	59
Tabel 9.5: kenmerkende waarden voor het aantal nieuwe stengels per week	60
Tabel 9.6: Chi – kwadraat toets	61
Tabel 10.1: het aantal nieuwe stengels Cyperus rotundus die zijn gevormd.....	71
Tabel 10.2: kenmerkende waarden voor het aantal nieuwe stengels per week	73
Tabel 11.1: graserosiecoëfficiënten	78
Tabel 11.2: worteldichtheden [18]	79
Tabel 11.3: aantal wortels van Cyperus rotundus in een gebied met een diameter van 3 cm.	81
Tabel 12.1: de afstand tot het midden van de plant per week.....	84
Tabel 12.2: bedekkingsgraad Cyperus rotundus	87

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	i
Samenvatting	ii
Lijst van figuren.....	iv
Lijst van tabellen	vi
1 Inleiding	1
1.1 Inleiding.....	1
1.2 Probleemstellingen.....	3
1.3 Doelstellingen	3
2 Wat is vetiver gras?.....	4
2.1 Oorsprong vetiver gras.....	4
2.2 Plantbeschrijving vetiver gras	9
2.2.1 Stengels en bladen.....	9
2.2.2 Fotosynthese	11
2.2.3 Wortels	11
3 De werking van de vetiver hagen	14
3.1 De werking van vetiver hagen.....	14
3.2 Voortplanting.....	15
4 Het gebruik van vetiver gras	17
4.1 Inleiding.....	17
4.2 Bescherming tegen erosie.....	18
4.2.1 Oppervlakte erosie	18
4.2.2 Rivier erosie	19
4.3 Overige toepassing van vetiver gras.....	20
4.4 Bijproducten vetiver gras.....	21
5 Wat is Cyperus rotundus?	22
5.1 Plantbeschrijving Cyperus rotundus	22
5.2 Wortels Cyperus rotundus.....	23
6 Wortellengte vetiver gras.....	26
6.1 Inleiding.....	26
6.2 Opstelling.....	26
6.3 Resultaten	27
6.4 Conclusies	28
6.5 Aanbevelingen.....	28
7 Afsterven vetiver gras	29
7.1 Inleiding.....	29
7.2 Opstelling.....	29
7.3 Resultaten	29
7.4 Conclusies	32
7.5 Aanbevelingen.....	32

8	Invloed waterstand op de wortels van vetiver gras.....	33
8.1	Inleiding.....	33
8.2	Opstelling.....	33
8.3	Resultaten.....	35
8.3.1	Stengels en bladen.....	35
8.3.2	Wortels.....	43
8.4	Conclusies.....	47
8.5	Aanbevelingen.....	48
9	De invloed van zout op de groei van vetiver gras.....	49
9.1	Inleiding.....	49
9.2	Opstelling.....	51
9.3	Resultaten.....	52
9.4	Conclusies.....	61
9.5	Aanbevelingen.....	63
10	De invloed van zout op Cyperus rotundus	64
10.1	Inleiding.....	64
10.2	Opstelling.....	64
10.3	Resultaten.....	66
10.4	Conclusies.....	74
10.5	Aanbevelingen.....	74
11	Cyperus rotundus als dijkbekleding?	75
11.1	Inleiding.....	75
11.1.1	Dijkbekleding.....	75
11.1.2	Beschadigingen.....	77
11.1.3	Erosiebestendigheid.....	78
11.1.4	Bepaling zodekwaliteit.....	79
11.2	Opstelling.....	80
11.3	Resultaten.....	80
11.4	Conclusies.....	82
11.5	Aanbevelingen.....	82
12	Horizontale groeisnelheid Cyperus rotundus.....	83
12.1	Inleiding.....	83
12.2	Opstelling.....	83
12.3	Resultaten.....	84
12.3.1	Horizontale groei.....	84
12.3.2	Bedekkingsgraad.....	87
12.4	Conclusies.....	89
12.5	Aanbevelingen.....	89
13	Vetiver gras als golfoploopremmer?.....	90
13.1	Inleiding.....	90
13.2	Ontstaan van golven.....	90
13.3	Golfoploop.....	90
13.4	Riet en mattenbies.....	94
13.5	Schaalmodel voor vetiver gras.....	97
13.5.1	Schaaffecten.....	97
13.5.2	Model voor vetiver gras.....	98
13.6	Aanbevelingen.....	99

14 Conclusies en aanbevelingen	100
14.1 Conclusies	100
14.2 Aanbevelingen.....	102
Literatuurlijst.....	103

Bijlagen

Bijlage 1: Afsterven vetiver gras	B
Bijlage 2: De invloed van het water op vetiver gras	G
Bijlage 3: Omrekeningstabel dichtheid – saliniteit en geleidbaarheid – saliniteit	Q
Bijlage 4: De invloed van zout op vetiver gras	S
Bijlage 5: De invloed van zout op Cyperus rotundus	CC
Bijlage 6: Afsterven van Cyperus rotundus in zout	JJ
Bijlage 7: Horizontale groeisnelheid van Cyperus rotundus	LL
Bijlage 8: Statistiek	PP
Bijlage 9: Biologie	WW
Bijlage 10: Golfkenmerken	CCC

1

Inleiding

1.1 Inleiding

Langs rivieren zijn vaak dijken te vinden die het achterliggende land tegen overstromingen beschermen. In de meeste welvarende landen, zoals Nederland, zijn deze dijken hoog genoeg en komen overstromingen zelden voor. In armere landen is er minder geld beschikbaar voor de dijken, waardoor overstromingen vaker voorkomen, met een kans van ongeveer één op twintig. Het gevolg van een overstroming is dat de gebieden, die vaak worden gebruikt voor de landbouw, onder water komen te staan. De opbrengst van de gewassen neemt daardoor af en de inkomsten van de bewoners lopen terug. Door de overstromingskans te verkleinen kan het leven van de bewoners vergemakkelijkt worden. De maatregelen mogen niet te veel landbouwgrond in beslag nemen en mogen tevens niet veel geld kosten.

In verschillende warme landen is in de loop van de tijd ervaring op gedaan met het gebruik van vetiver gras. In eerste instantie is het gras gebruikt om de erosie te beperken en de opbrengst van de gewassen te verhogen. Door de stevige stengels van het gras wordt de afstroom van water vertraagd en daardoor krijgt het water meer tijd om in de grond te zakken. Ook maakt vetiver gras lange wortels die de grond kunnen verstevigen. De ervaringen met het gebruik van vetiver gras zijn zo bevredigend dat er wordt nagedacht om vetiver gras op de dijken te planten om zo de golfoploop te verminderen en de kans op overstromingen te verminderen.

De precieze werkingen van vetiver gras en de vermindering van de golfoploop wordt nu en in de toekomst onderzocht met behulp van verschillende experimenten. Het doel van dit rapport is het bepalen van het gedrag van vetiver gras als het wordt blootgesteld aan verschillende uiteenlopende omstandigheden. De geschiktheid van het gras als golfoploopremmer wordt hiermee bepaald.

In Amerikaanse landen komt *Cyperus rotundus* voor. Dit plantje is een bodembedekker en produceert nieuwe stengels verspreidt over een grote oppervlakte. Door deze kenmerken wordt *Cyperus rotundus* in sommige landen al toegepast als dijkbekleding. Deze bekleding moet ervoor zorgen dat de dijk beschermd is tegen de golfaanvallen die worden veroorzaakt door schepen of door de wind. Over dit plantje is weinig bekend en verdient nader onderzoek. In dit rapport worden er verschillende experimenten uitgevoerd om te bekijken of *Cyperus rotundus* geschikt is om als dijkbekleding te gebruiken.

In dit rapport wordt begonnen met een beschrijving van vetiver gras in *hoofdstuk 2* en er wordt dieper ingegaan op de biologische kenmerken van vetiver gras. In *hoofdstuk 3* wordt de werking van de vetiver hagen beschreven en wordt er ingegaan op de manieren waarop vetiver kan worden verkregen. In het volgende hoofdstuk (*hoofdstuk 4*) wordt er gekeken naar het huidige gebruik van het gras. In *hoofdstuk 5* wordt een beschrijving gegeven van *Cyperus rotundus*. In het vervolg van het verslag worden de experimenten beschreven die zijn uitgevoerd met vetiver gras en *Cyperus rotundus*.

De wortels vormen een belangrijk deel van vetiver gras. Hoe de wortels er precies uitzien is te zien in *hoofdstuk 6*. Vetiver gras kan door verschillende oorzaken afsterven. Men is bang dat als gevolg van het afsterven de wortels ook verdwijnen en dat er daardoor gaten in de dijk kunnen ontstaan, waardoor de dijk instabiel wordt. Of dit het geval is en hoe lang het duurt voordat een vetiver plant is afgestorven als gevolg van verdrogen wordt in *hoofdstuk 7* onderzocht.

Door de lange wortels van vetiver gras kan een dijklichaam worden verstevigd. Wanneer de vetiver planten op een dijk worden toegepast, is de waterhoogte niet altijd gelijk. In *hoofdstuk 8* wordt er gekeken naar de invloed van de waterstand op vetiver gras. Er wordt hierbij gekeken naar de stengels en de wortels. In *hoofdstuk 9* wordt de invloed van zout op de groei van vetiver gras gekeken. Dit is van belang voor de toepassing van het gras op een zeedijk.

In de volgende drie hoofdstukken worden de experimenten met *Cyperus rotundus* beschreven. In het eerste experiment, beschreven in *hoofdstuk 10*, wordt de invloed van zout op *Cyperus rotundus* bekeken. Ook weer om te bekijken of *Cyperus rotundus* kan worden toegepast op een zeedijk. In *hoofdstuk 11* wordt *Cyperus rotundus* vergeleken met het gras dat in Nederland wordt gebruikt als dijkbekleding. De kwaliteit van de zode van *Cyperus rotundus* wordt bepaald op de manier waarop dat ook gebeurt voor het gras dat in Nederland wordt toegepast. Om te bepalen of *Cyperus rotundus* geschikt is als dijkbekleding moet worden bepaald hoe snel een oppervlakte begroeid raakt. Dit wordt onderzocht in *hoofdstuk 12*.

In *hoofdstuk 13* wordt nader ingegaan op vetiver gras als remmer van de golfoploop. Er wordt in dit hoofdstuk gezocht naar een model voor vetiver gras dat in een schaalexperiment gebruikt kan worden. In dit hoofdstuk wordt de oorzaak van de golven beschreven en wordt een aanzet gegeven voor een vervolg experiment.

Als laatste volgen in *hoofdstuk 14* de conclusies en aanbevelingen.

In de tekst wordt door middel van nummertjes (bijv. [1]) verwezen naar de literatuur die gebruikt is en die in de literatuurlijst is opgenomen. De hoofdstukken over de experimenten zijn zo geschreven dat ze ook apart leesbaar zijn.

1.2 Probleemstellingen

In dit rapport wordt een antwoord gezocht op de volgende probleemstelling:

Is vetiver gras geschikt om toegepast te kunnen worden om de golfoploop op dijken te verminderen?

Deze probleemstelling is onder te verdelen in de volgende probleemstellingen:

- Kan vetiver gras worden toegepast op zeedijken?
- Kan vetiver gras overleven in brakke condities?
- Kan vetiver gras ook bij een hoge waterstand hellingen of dijken verstevigen door de lange wortels?
- Wat gebeurt er met de grond als de vetiver plant erin staat afsterft?
- Wat is geschikt om vetiver gras te modelleren?

Voor *Cyperus rotundus* wordt de volgende probleemstelling in dit rapport beantwoord:

Is *Cyperus rotundus* geschikt als dijkbekleding?

Deze probleemstelling kan worden onderverdeeld in de volgende probleemstellingen:

- Is *Cyperus rotundus* vergelijkbaar met het gras dat in Nederland wordt toegepast als dijkbekleding?
- Kan *Cyperus rotundus* worden toegepast in een zoute omgeving en in een brakke omgeving?
- Hoe snel bedekt *Cyperus rotundus* de bodem?

1.3 Doelstellingen

Vetiver gras

- Bepalen met behulp van een experiment in hoeverre vetiver gras geschikt is om toe te passen in een brakke en zoute omgeving.
- De invloed van de waterstand op de lengte van de wortels bepalen door middel van een experiment.
- Bekijken of de wortels van het gras ook afsterven als een plant vetiver gras afsterft.
- Een oplossing vinden om vetiver gras te modelleren om een experiment te kunnen uitvoeren om de invloed van vetiver gras op de golfoploop te bepalen.

Cyperus rotundus

- Het tellen van de wortels per lengte en volume om *Cyperus rotundus* te kunnen vergelijken met het gras wat in Nederland wordt gebruikt als dijkbekleding.
- Door het uitbreiden van het experiment met vetiver gras en het zout met planten *Cyperus rotundus* de mate van zouttolerantie van *Cyperus* bepalen.
- Met behulp van een experiment de horizontale groeisnelheid van *Cyperus rotundus* te bepalen. Hierbij ook bekijken of *Cyperus rotundus* in de buurt van vetiver gras groeit.

2

Wat is vetiver gras?

In dit hoofdstuk wordt de oorsprong van vetiver gras en de bijzondere kenmerken van dit gras beschreven. Ook worden in dit hoofdstuk de kenmerken van vetiver gras beschreven.

2.1 Oorsprong vetiver gras

De oorspronkelijke vindplaats van vetiver gras is wat onduidelijk, maar waarschijnlijk komt het gras uit Azië. Vetiver gras komt van nature voor in laaggelegen, vochtige gebieden, zoals moerassen en laagvenen [23]. Vetiver werd en wordt nu nog in Zuid en Zuidoost Azië gebruikt om de lands- en gebiedsgrenzen mee aan te geven. Al in de tijd voor de Tweede Wereldoorlog is het gras gebruikt om gebieden tegen erosie te beschermen, maar tijdens de oorlog is deze kennis op de achtergrond geraakt. Door deze oorlog en de afname van het aantal koloniën zijn veel agrarische ingenieurs, met daarbij hun kennis en ervaring, uit de tropische gebieden weggegaan. Op deze plaatsen waar het toen is geplant, is het gras wel blijven groeien en heeft het zijn beschermende functie behouden [20]. Op dit moment wordt vetiver gras in meer dan 120 landen toegepast, zie figuur 2.1.



figuur 2.1: landen waar vetiver gras wordt gebruikt [59]

In de jaren tachtig van de vorige eeuw is het gebruik van vetiver gras voor bescherming tegen erosie weer nieuw leven ingeblazen. Hiervoor is in 1986 ook het Vetiver Netwerk opgericht [46]. Dit netwerk is opgericht door de Wereldbank om het gras te promoten als een goedkope en efficiënte oplossing tegen de erosie, die veel gebieden bedreigt. Het gras is ook in staat om de afstroom van het regenwater te verminderen, zodat er meer water voor de landbouwgewassen ter beschikking komt. Het Vetiver Netwerk is een organisatie die informatie over vetiver gras verzamelt en verspreidt. Ook zorgt het netwerk ervoor dat verschillende onderzoeken niet tweemaal worden uitgevoerd en het voorziet belangstellenden van constante updates van informatie en ervaringen met vetiver gras in alle delen van de wereld. Op dit moment zijn er vijf regionale en zeven nationale netwerken. De landelijke netwerken zijn te vinden in Brazilië, China, Madagaskar, Tanzania, Thailand, Vietnam en op de Filipijnen. De regio's Latijns Amerika, Pacifisch gebied, Zuid Afrika, West Afrika en Mediterraan Europa hebben een eigen netwerk. Het Vetiver Netwerk bestaat inmiddels uit 4000 leden uit meer dan 100 landen. Het netwerk wordt mede gesponsord door de Wereldbank en krijgt donaties uit diverse bronnen, zoals de koning van Thailand en verschillende parlementen [50].

Er bestaan verschillende soorten vetiver gras die kunnen worden gebruikt om gebieden tegen erosie te beschermen [60]. Dit zijn onder andere *Vetiveria zizanioides*, *Vetiveria nigriflora* en *Vetiveria nemoralis*. Het verschil tussen deze soorten is terug te vinden in de lengte van de stengels en aan de weerhaken aan de randen van de bladen [47]. *Vetiveria nigriflora* komt voor in Zuid Afrika en wordt alleen daar gebruikt. *Vetiveria nemoralis* komt voor in Thailand en deze plant kan zaad produceren. Ook deze soort wordt alleen in het land van herkomst gebruikt [20].

In het vervolg van dit verslag wordt alleen het *Vetiveria zizanioides* behandeld. Deze soort maakt heel zelden vruchtbare zaden en kan daardoor goed in de hand worden gehouden. De geslachtsnaam "vetiveria" komt van het Tamil woord "Vetriver", wat wortel betekent. De soortnaam "zizanioides" is gegeven door de Zweedse plantkundige Carolus Linnaeus in 1771. De betekenis hiervan is: bij de rivieroever, dit duidt op het feit dat het gras vaak langs waterwegen wordt gevonden [23]. *Vetiveria zizanioides* staat bij veel landen bekend onder een andere locale naam [58]. Het gras wordt bijvoorbeeld in Afrika Khas-khas gras genoemd en in India Khus [36]. In Engelstalige landen wordt het vetiver grass genoemd. In het vervolg van dit rapport wordt *Vetiveria zizanioides* aangeduid met 'vetiver gras'.

Van *Vetiveria zizanioides* bestaan er twee vormen, het wilde en zaadvormende type uit Noord India en het steriele en heel weinig zaadvormende type uit Zuid India. Het eerste type is het originele wilde soort. Aan deze plant verschijnen regelmatig bloemen, die vervolgens zaad produceren. Het gras kan hierdoor veel moeilijker in de hand worden gehouden en kan er wildgroei ontstaan. Het tweede type is het 'tamme' type dat al eeuwen bestaat en als gecultiveerd type verspreidt is over verschillende tropische landen. Dit type is een menselijke selectie van het wilde type. Doordat het weinig zaad produceert is het veilig om te gebruiken als een bescherming tegen erosie [47].

Het onderscheiden van de beide types is niet eenvoudig, vooral niet wanneer er geen bloemen zichtbaar zijn. Wetenschappers uit India hebben geprobeerd te beide types te onderscheiden. Daaruit blijkt dat de verschillen onder meer te zien zijn in de stengels, bladen, wortels, geur en de hoeveelheid olie die de plant bevat. Het Zuid Indische type heeft een dikkere stengel en de bladen zijn breder, gemiddeld 1,1 cm tegenover 0,7 cm. De wortels van dit type worden langer en hebben minder vertakkingen. De olie van de twee types hebben een verschillende geur en de olieopbrengst van het Zuid Indische type is hoger [20].

Het Zuid Indische type is ook wel bekend onder de naam Monto vetiver. Dit steriele type is in Australië geselecteerd en getest onder verschillende condities op onvruchtbaarheid gedurende een periode van acht jaar. Deze naam is gegeven naar de plaats waar in 1990 de eerste veldproef is gehouden [39, 49].

Vetiver hoort bij hetzelfde deel van de grasfamilie als bamboe (b, d), maïs (a), suikerriet (c, f) en citroengras (e) [20], zie figuur 2.2.



figuur 2.2: al deze planten horen bij dezelfde grasfamilie als vetiver gras.

Vetiver gras groeit in gebieden met een regenhoeveelheid tussen de 200 en 6000 mm per jaar en tot hoogtes van 2600 meter boven zeeniveau. De grondsoort is voor vetiver gras niet van belang, maar de plant groeit het beste wanneer de grond vochtig en voedzaam is [58]. Op de volgende uiteenlopende gronden is het gras geplant [20]:

- Duinen in Zuid Afrika;
- Extreme zure gronden (pH 4) in Louisiana;
- Basische gronden (pH 11) in India;
- Zwarte klei;
- Kale gronden met weinig voedingsstoffen;
- Moerassen in India;
- Verdroogde gronden;
- Zoute gronden in Australië.

Uit onderzoek [60] is gebleken dat een temperatuur van ongeveer 25 graden optimaal is voor de groei van de wortels. Bij een lichte vorst zullen de bladen dood gaan, maar de groeikern onder de grond zal niet afsterven. Wanneer de temperatuur weer hoger geworden is kan deze kern weer uitlopen. Bij een zware vorst zal de plant afsterven. Vetiver begint te groeien bij een temperatuur boven de 12 graden en groeit sneller bij een temperatuur tussen de 21 en 45 graden. Vetiver komt voor in tropische gebieden en groeit tot ongeveer de 42ste lengtegraad. Hierboven is het klimaat meestal te koud voor vetiver gras [60].

Schaduw heeft invloed op de groei van vetiver gras. De groei wordt verminderd en het gras kan in sommige extreme gevallen zelfs afsterven [49]. Bij jonge plantjes kan de schaduw worden veroorzaakt door onkruid wat dicht in de buurt staat en de plantjes overschaduw. In de schaduw maakt vetiver gras minder nieuwe stengels doordat het minder zonlicht tot zijn beschikking heeft. Het gras maakt minder nieuwe stengels en de massa van de plant wordt door de schaduw verminderd. Ook het aantal wortels dat een vetiver plant maakt is minder als een plant in de schaduw staat, zie figuur 2.3 [56].

Wanneer de plant weer in de zon komt zal het gras zich weer herstellen. Uit een experiment dat is uitgevoerd in 1989 door dr. P.K. Yoon [24], bleek dat een jong vetiver plantje dood gaat na twee maanden in 87% schaduw van een boom te hebben gestaan. Hier moet rekening mee worden gehouden bij de toepassing van het gras. Maar wanneer vetiver eenmaal aangeslagen is, kan het tientallen jaren overleven in gebieden met veel schaduw, bijvoorbeeld onder rubberbomen in tropische bossen.



figuur 2.3: verschil in worteldichtheid in schaduw en zon [56]

Naar de effecten van vetiver gras op naastgelegen gewassen wordt nog onderzoek gedaan. De voornaamste gebieden die onderzocht worden zijn onder andere de afname van de hoeveelheid voedingsstoffen en water in de grond naast de haag en de interactie met de wortels van de naastgelegen planten.

Wanneer de gewassen dicht naast de vetiver hagen staan, zullen de eerste één of twee rijen enige invloed ondervinden van de hagen. Deze gewassen staan dan wat meer in de schaduw en zullen niet zo hard groeien als de andere gewassen. Maar verder ondervinden de gewassen geen hinder van het gras [20].

Wanneer men vetiver gras wil toepassen, moet er eerst worden gekeken of er vetiver in het land beschikbaar is. Men moet namelijk voorzichtig zijn bij het invoeren van vetiver. Het gras kan insecten en ziekten met zich mee brengen en daarom moet het eerst langs het nationale quarantainesysteem [24].

Nog nergens ter wereld is vetiver gras onkruid geworden, de planten blijven waar ze gepoot zijn [39]. Van sommige planten is bekend dat ze zestig jaar oud zijn. Maar gemiddeld worden de planten veertig jaar [60]. Uit de oorspronkelijke regio in India zijn er planten van zelfs 200 jaar oud gevonden.

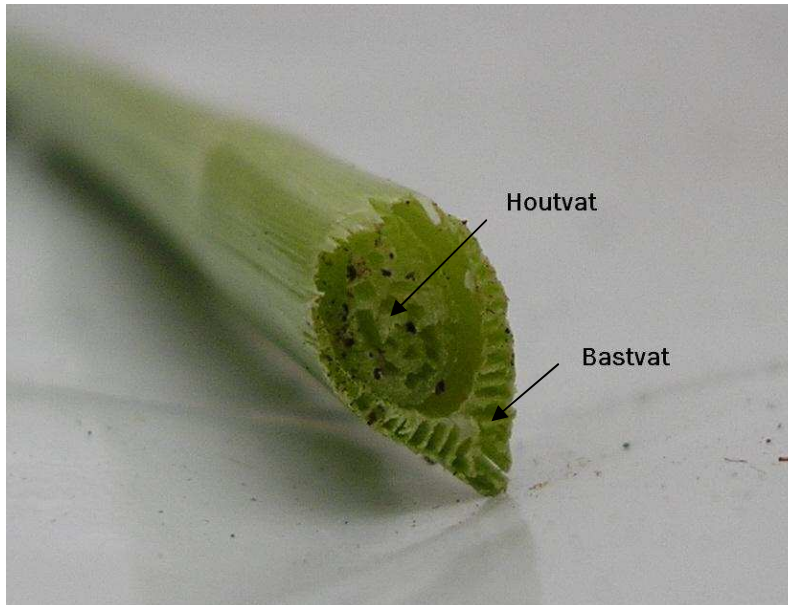
Van *Vetiveria zizanioides* maakt 0,0025% vruchtbare zaden [51]. Tijdens het ontkiemen en de groei kunnen deze zaden gegeten worden door vogels of geïnfecteerd worden door insectenlarven. Zelfs bij een ideaal zandbed zal 90% van de zaden niet overleven, de jonge sprietjes kunnen overschaduwd worden door de grotere planten. Het niveau van vruchtbaarheid is hierdoor zo laag dat het beschouwd wordt als te weinig om een significant aandeel te hebben aan de natuurlijke verspreiding van het gras.

2.2 Plantbeschrijving vetiver gras

Alle planten zijn opgebouwd uit hetzelfde kleine onderdeel: de plantencel. Een gedetailleerde beschrijving van een plantencel is gegeven in bijlage 9. Vanuit deze cellen ontstaan er gespecialiseerde cellen die uitgroeien tot stengels, bladen of wortels.

2.2.1 Stengels en bladen

De stengels en bladen zijn de bovengrondse delen van een plant. Dicht bij de grond bevindt zich de stengel van vetiver gras die zich later splitst in ongeveer tien bladen. De stengel zorgt voor de stevigheid van de plant. Hierdoor is vetiver gras geschikt om als haag te worden toegepast. In een



stengel bevinden zich houtvaten en bastvaten. De houtvaten vervoeren water met opgeloste mineralen van de wortels naar alle delen van een plant. Dit is een opwaarts transport. De bastvaten vervoeren water met opgeloste fotosyntheseproducten naar alle delen van een plant. Dit transport is neerwaarts. De hout- en bastvaten lopen door in de bladen en worden de nerven van een blad genoemd. In figuur 2.4 is een doorsnede van een vetiver stengel gegeven met de hout- en bastvaten daarin aangegeven.

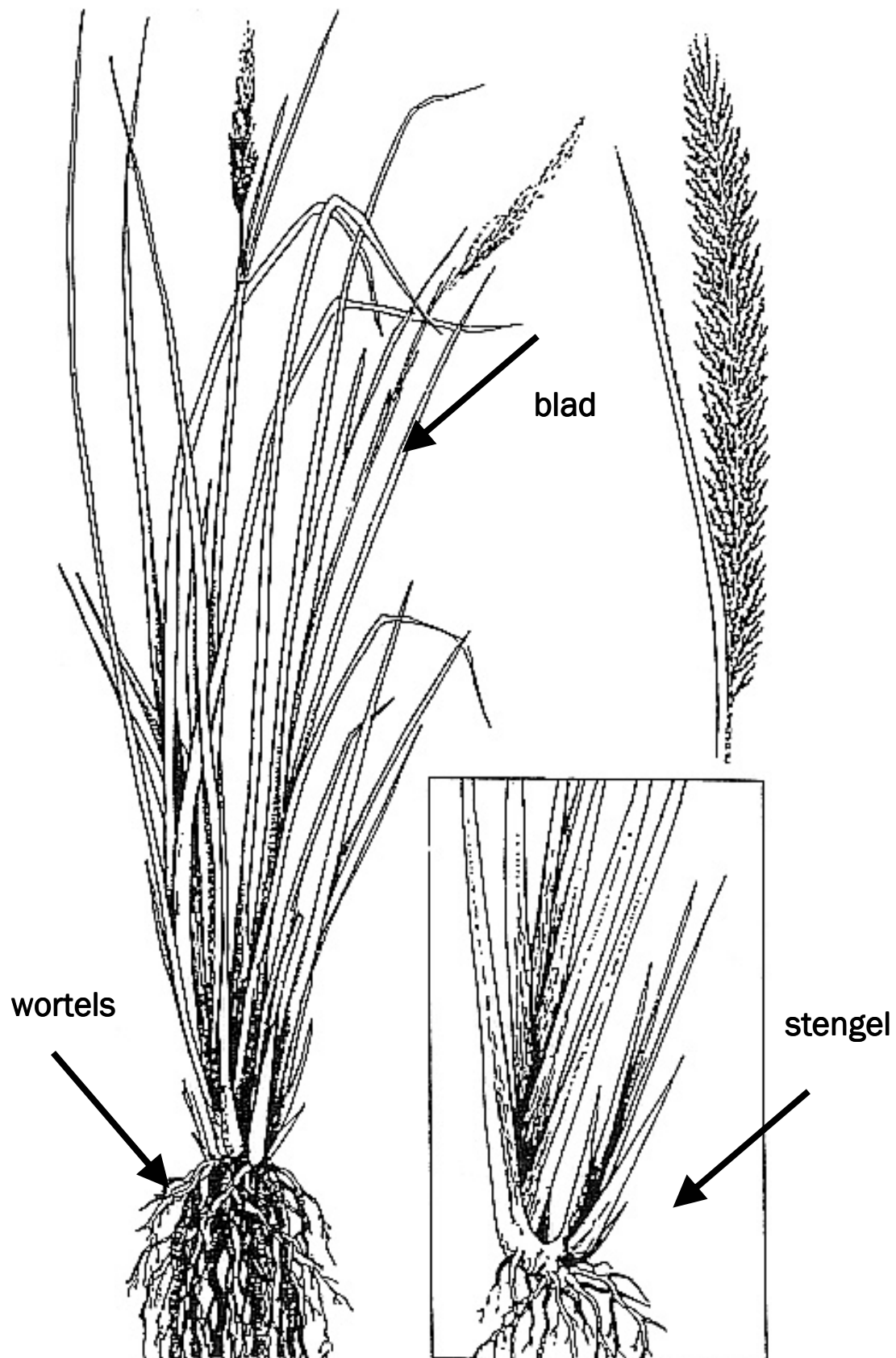
figuur 2.4: doorsnede van een stengel vetiver

De nerven van het blad zorgen voor de stevigheid van het blad. Details van een blad zijn terug te vinden in bijlage 9. Een blad bevat cellen met bladgroenkorrels die de fotosynthese mogelijk maken, zie paragraaf 2.2.2. Naar de top toe worden de bladen smaller en flexibeler. Aan het bovenste gedeelte van het blad zitten weerhaakjes die naar de top van de plant zijn gericht. Deze weerhaakjes zijn te zien in figuur 2.5. Deze haken zijn scherp genoeg om een persoon te verwonden. De weerhaken zijn het verdedigingsmechanisme van de plant. De doorsnede van een blad heeft een driehoekige vorm en aan de drie zijden bevinden zich de weerhaken. Deze hinderlijke weerhaken kunnen worden verwijderd door de plant regelmatig te snoeien.

Er is in Maleisië een groei van vijf centimeter per dag gemeten tijdens een periode van meer dan zestig dagen. Ook waar zo'n snelle groei niet mogelijk is, zijn de stengels na een paar maanden ongeveer twee meter lang geworden. In het algemeen kan worden gezegd dat vetiver bij twintig graden ongeveer één centimeter per dag groeit en één nieuwe stengel produceert in zeven dagen. Bij een dagelijkse temperatuur van 25 graden groeit vetiver twee centimeter per dag en produceert drie tot vier stengels in zeven dagen tijd [24].



figuur 2.5: weerhaakjes van een vetiver blad



figuur 2.6: schematische weergave van vetiver gras

2.2.2 Fotosynthese

Een plant wordt van energie voorzien door de fotosynthese. Hiervoor is licht, water (H_2O) en koolstofdioxide (CO_2) nodig. De fotosynthese levert glucose ($C_6H_{12}O_6$) en zuurstof (O_2) op. De glucose kan in de plant weer worden omgezet in energie. Deze energie is nodig om te groeien [45]. Deze fotosynthese vindt plaats in de cellen van de bladen.

Er zijn twee soorten fotosynthese. Het verschil heeft te maken met de manier waarop het koolstofdioxide wordt gebonden. Vetiver gras hoort bij de zogenaamde C4 planten. Deze planten kunnen glucose produceren met minder verbruik van water. Dit is gunstig in warme gebieden, waar water schaars is en er veel verdamping plaats vindt [2].

Meer informatie over de fotosynthese en over de C4 planten is te vinden in bijlage 9.

2.2.3 Wortels

Het wortelsysteem bevat alle wortels van een plant. De wortels zijn alle vertakte delen van de plant die normaal onder de grond groeien. Er zijn twee typen wortelstelsels. Het eerste stelsel bestaat uit een dikke hoofdwortel met vertakkingen en het tweede (zoals bij vetiver gras) uit een groot aantal wortels, die bijwortels worden genoemd. De wortels van een plant hebben de volgende functies [7, 37]:

- Verankering van de plant in de grond;
- Het opnemen van water en mineralen;
- De tijdens de fotosynthese teveel gemaakte suikers opslaan. Deze kunnen dienen als reservevoedsel, als er bijvoorbeeld minder zonlicht of water beschikbaar is;
- Water, mineralen, suikers van en naar de bovengrondse delen transporteren;
- Zorgen voor een interactie met micro-organismen in de grond die voor de voedingsstoffen zorgen.



figuur 2.7: wortels van vetiver gras

De wortels van vetiver gras zijn dun, sterk en vezelig en ontstaan uit de wortelstokken in de kruin [32] (zie figuur 2.8). Nieuwe wortels kunnen ook uit de bestaande wortels groeien. Vetiver kan

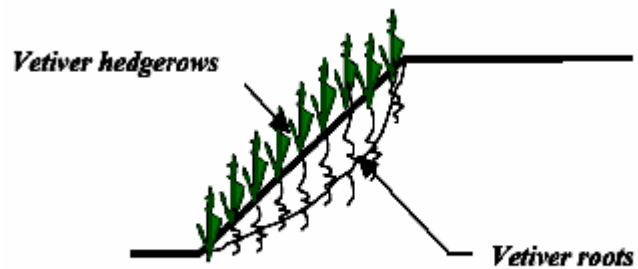


figuur 2.8: de verbinding tussen de stengels en de wortels

hierdoor opnieuw wortels maken als de plant onder een laag sediment wordt bedolven. Wanneer het sediment niet verwijderd wordt, zullen er daardoor terrassen worden gevormd [49, 50].

De wortels groeien sneller naar beneden dan naar opzij en vormen daardoor een soort hangend gordijn in de grond, dit is goed te zien in figuur 2.10 [32]. Wanneer er twee vetiver planten naast elkaar staan 'grijpen' de wortels in elkaar en vormen zo een ondergronds netwerk. De plant wordt hierdoor zo sterk verankerd dat zelfs de sterke stromingen de planten niet kunnen ondermijnen of uitspoelen. De wortels van vetiver zorgen ervoor dat de plant stand kan houden in water met een diepte van 0,6 tot 0,8 meter diepte en een stroomsnelheid van 3,5 m/s [61].

Het ondergrondse en driedimensionale netwerk fixeert de grond en beschermd tegen uitschuring. Vetiver kan de grond zelfs beschermen tegen afschuiving als het afschuifvlak in het bereik ligt van de lengte van de wortels (zie figuur 2.9).



figuur 2.9: afschuifvlak vetiver wortels

De wortels van vetiver gras worden gemiddeld twee tot drie meter lang en kunnen onder gunstige condities wel drie centimeter per dag groeien [32, 61]. Het gras kan hierdoor vocht halen uit dieper gelegen gebieden waar andere planten niet bij kunnen. De plant heeft daardoor ook een grote tolerantie voor droogte [50]. Ook kan het gras door de sterke wortels door harde grondlagen heen groeien. Na drie maanden kunnen de wortels een lengte van 1,3 meter bereikt hebben en een lengte van twee tot vier meter na één jaar. Onder tropische condities kunnen de wortels zelfs vijf meter lang worden [61]. De groei en ontwikkeling van een regelmatig patroon van de vetiver wortels hangt af van de temperatuur van de lucht, de kwaliteit van de grond, de hoeveelheid voedingsstoffen, de methode van planten. De temperatuur heeft de meeste invloed op de groei [20].



figuur 2.10: wortels van vetiver gras van een twee jaar oude plant in Zuid China [46]

De wortels van het gras hebben een bepaalde treksterkte, die groter wordt naarmate de diameter van de wortels kleiner wordt. Dit betekent dat sterke kleine wortels een grotere weerstand hebben dan grotere wortels. De trekspanning van de wortels bedraagt ongeveer 75 MPa, wat ongeveer gelijk staat aan één zesde van de treksterkte van staal. Deze trekspanning is voor een wortel met een diameter van 0,7 à 0,8 millimeter, de meest voorkomende diameter van de wortels. De schuifspanning van een vetiver wortel is ongeveer 25 MPa [49]. In onderstaande tabel (tabel 2.1) is de relatie tussen de diameter van de wortel en de trekspanning weergegeven.

Tabel 2.1: relatie tussen diameter en de treksterkte van een vetiver wortel [49]

Relatie tussen de diameter (D) van de wortel en zijn treksterkte (T)														
D [mm]	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,73	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
T [MPa]	155	120	102	90	82	75	65	60	56	52	45	43	40	38



figuur 2.11:
wortelpuntje van
vetiver gras

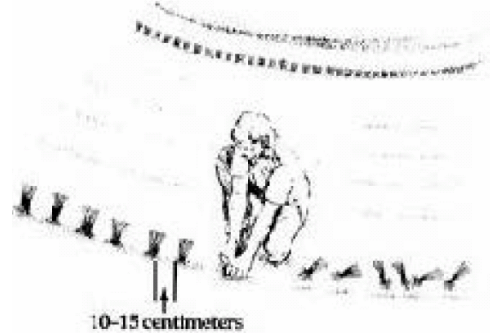
Het dikke en sterke wortelsysteem is waarschijnlijk een resultaat van de eeuwenlange selectie voor de aromatische olieproductie [50]. De wortels van vetiver bevatten olie en leveren daardoor geld op. De olie uit de wortels van vetiver heeft een zoete en plezierige geur. De parfumindustrie beschrijft de geur als zwaar, houtachtig en aards van karakter. Het wordt voor een deel gebruikt in zware oriëntaalse geuren. De olie wordt verkregen door de wortels met stoom te destilleren en wordt gebruikt in parfums, zeep, lotions, deodorants en andere cosmetica. De meeste vetiverolie wordt geproduceerd op Haïti, Indonesië en Réunion (een Franse kolonie in de Indische Oceaan). China, Brazilië en nog enkele andere landen produceren kleinere hoeveelheden. De beste olie komt van Réunion. De totale productie op de wereld van vetiverolie is ongeveer 250 ton per jaar. Nederland gebruikt hiervan per jaar ongeveer vijf ton [20]. Bij de aanplant van de vetiver hagen hoeft men niet bang te zijn dat de kleine boeren de wortels zullen uitgraven. Het is een hoop werk en het is moeilijk om als kleine, nieuwe speler op de markt te komen.

3

De werking van de vetiver hagen

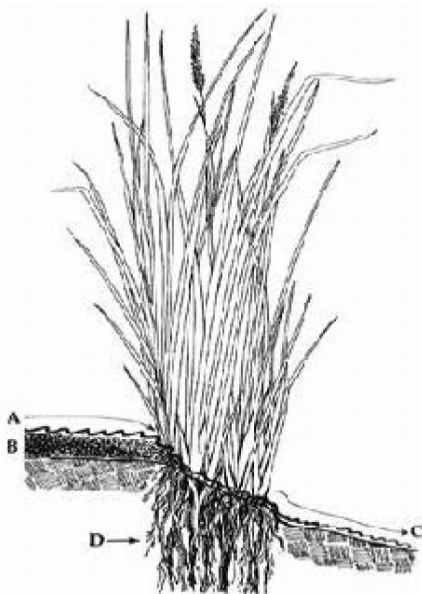
3.1 De werking van vetiver hagen

De stevigheid van de wortels en stengels van vetiver gras zorgen ervoor dat het gras geschikt is om gebieden tegen erosie te beschermen. Van vetiver gras kunnen hagen worden gemaakt door stekjes in gaten of groeven te planten. Dit planten kan gebeuren met machines die zijn ontworpen voor het planten van bomen of zaden. Om na een periode van één jaar een dichte haag te krijgen moet de afstand tussen de hagen ongeveer vijftien centimeter zijn. Voor een snellere groei kunnen de plantjes dichter bij elkaar worden gezet. De afstand tussen de stekjes hangt af van de tijd waarin een haag functioneel moet zijn en het beschikbare geld om de stekjes te kopen. De stekjes uit de haag die niet aanslaan moeten vervangen worden door nieuwe stekjes. Het beste kan een stekje worden gebruikt met meerdere stengels. De wortels moeten worden bedekt met twee tot drie centimeter grond en er moet voldoende vocht aanwezig zijn. De stekjes kunnen dan ook het beste worden geplant aan het begin van het natte seizoen. Anders moeten de stekjes op een andere manier voldoende water krijgen. Bij grote regenval moet er voor worden opgepast dat de pas geplante stekjes niet wegspoelen. Bij toepassing van de hagen op een helling moet de verticale afstand tussen de hagen ongeveer twee meter zijn, op vlakke gebieden is deze verticale afstand ongeveer één meter [58, 60].



figuur 3.1: het planten van de vetiver hagen [58]

De stekjes kunnen in droge gebieden het beste in een geul worden geplant. Het regenwater kan zich in deze geulen verzamelen en kan zo opgenomen worden door de stekjes. In het begin moet er voor worden opgepast dat naburig onkruid de jonge stekjes niet overschaduwde. Dan kan de groei van de stekjes worden geremd. Wanneer de jonge aanplant regelmatig wordt teruggesnoeid, wordt de plant gestimuleerd om nieuwe stengels te maken. Er is weinig onderhoud nodig als het gras eenmaal is aangeslagen. In gronden met weinig voedingsstoffen kan tijdens de eerste jaren de grond nog twee keer per jaar worden bijgemest. Door de bladen niet langer te laten worden dan vijftig centimeter kan worden voorkomen dat vetiver gras bloemen maakt. Ook zorgt het bij snoeien ervoor dat de haag in een goede conditie blijft [55].



figuur 3.2: de werking van vetiver [58]

De stengels en bladen van een vetiver haag verminderen de snelheid van het afstromende water (A). Door de filterende werking van de stengels wordt het water verspreidt en de grond achter de haag wordt tegengehouden (B). Na enkele jaren wordt zo achter de vetiver hagen een natuurlijk terras gevormd. De kruin van de plant kan hierdoor onder het sediment komen te liggen. Door de groei van nieuwe wortels kan de kruin zich dan omhoog verplaatsen naar het nieuwe niveau van het grondoppervlak. Een vetiver haag kan niet onder het sediment worden bedolven. Doordat de snelheid van de afstroom wordt verminderd krijgt het water tijd om in de grond te zakken en daardoor wordt de hoeveelheid water dat afstroomt verminderd (C). De erosie van de grond wordt door de vetiver hagen beperkt tot minder dan drie ton per

hectare per jaar. Dit is ongeveer vijfenzeventig procent minder. De afstroom van het water zal zestig tot zeventig procent minder zijn dan bij een onbeschermd gebied, afhankelijk van de helling en het type grond [60]. De afstroom na de vetiver hagen is dertig procent minder vergeleken met traditionele methodes [23]. Door de stevige wortels (D) van vetiver gras blijft de plant ook bij een stevige afstroom staan. De wortels van vetiver gras, zie hoofdstuk 2.2.3, houden de grond bijeen tot een diepte van wel drie meter. De dichtheid van de wortels voorkomen ook piping. Het water kan dus niet ondergronds van het ene terras naar het andere stromen [58].



figuur 3.3: de werking van de hagen op een helling [38]

Enkele maanden na het afsterven van een plant kan deze nog afstromende grond tegenhouden.

De werking van de vetiver hagen kan als volgt worden samengevat:

De wortels van vetiver gras zorgen ervoor dat de helling gestabiliseerd wordt. De stengels reduceren de afstroom, vergroten de infiltratie en houden het sediment tegen. Door het filtreren blijft er een schonere afstroom over [48].

3.2 Voortplanting

Voor het maken van hagen vetiver gras moeten er voldoende stekjes beschikbaar zijn. Deze stekjes zijn te verkrijgen door het gras op één van de volgende vier manieren te vermenigvuldigen [49]:

1. Grote volwassen vetiver planten kunnen in kleinere delen gescheurd worden. Dit gebeurt door de massieve kruin van de vetiver plant te delen. Deze klomp is soms zo groot dat deze met een tractor uit de grond moet worden getrokken en met een bijl in stukken verdeeld. Deze stekjes moeten vervolgens direct op de juiste plek worden geplant. Dit is de goedkoopste methode, maar tijdens warme en droge periodes hebben de stekjes wel intensieve bewatering nodig.
2. De jonge vetiver pollen scheuren in een stekje met twee of drie stengels. Deze stengels worden ingekort tot ongeveer twintig centimeter en de wortels tot ongeveer tien centimeter [58]. Deze stekjes kunnen in een zandbed worden geplant en kunnen zich daarin verder ontwikkelen. Ze moeten worden voorzien van voedingsstoffen en voldoende water. Als het stekje vetiver minimaal twee nieuwe scheuten heeft gemaakt is het stekje klaar om als onderdeel van de haag geplant te worden. Afhankelijk van de hoeveelheid regen kan één stekje in zes maanden vijftig tot honderd stengels produceren. Een kwekerij kan binnen een maand genoeg stekjes produceren voor een haag van 150 kilometer lengte. Die afhankelijk van het hellingspercentage circa 450 hectare land kan beschermen. Wanneer de stekjes geschikt zijn om te planten kunnen ze uit de zandbedden worden gehaald en binnen een week op de definitieve plaats worden geplant. Deze methode is duurder, maar de plantjes kunnen naar de definitieve plaats worden vervoerd. Ze hoeven dus niet dicht bij de kwekerij worden geplant [20].



figuur 3.4: vetiver gras in een kwekerij

3. In kwekerijen kunnen de gescheurde stekjes ook in potten worden geplant en die kunnen worden gebruikt waar en wanneer ze nodig zijn. Deze zijn in grotere hoeveelheden te transporteren, maar wegen wel meer. Tijdens het planten kan er schade aan de wortels ontstaan en ze hebben in het begin veel water nodig.
4. Het is ook mogelijk om strippen van bijvoorbeeld één meter lengte te gebruiken die in twee tot drie maanden tijd in speciale containers worden gekweekt. Deze plantjes kunnen een paar weken in een container worden gehouden voordat ze geplant moeten worden. Deze stekjes staan al dicht op elkaar en de schade aan de wortels is minimaal. Met deze methode is het makkelijker om vetiver te planten op een helling. Deze strips hebben ook minder water nodig dan losse stekjes, maar kosten daarentegen ook meer.

De grond in de kwekerijen kan het beste bestaan uit een lichte grondsoort. De stekjes kunnen dan zonder al te veel schade aan de wortels worden verwijderd.

Wanneer er snel gras beschikbaar moet zijn voor bijvoorbeeld de productie van veevoer, de bescherming van dammen en wegen, kan er kunstmest worden gebruikt. De vetiver plant reageert daar goed op en samen met irrigatie kunnen er in een korte tijd veel stengels worden geproduceerd. Door het bemesten van de plant ontstaan er meer stengels, wordt de plant hoger en de biomassa van de plant groter. De mest moet bestaan uit fosfaat in combinatie met een vorm van stikstof.

4

Het gebruik van vetiver gras

4.1 Inleiding

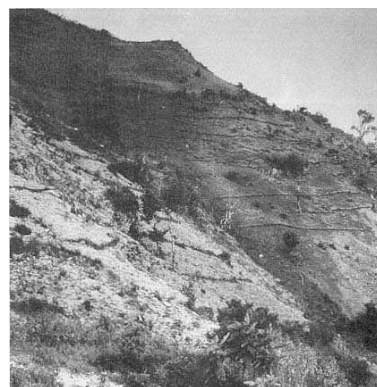
In dit hoofdstuk wordt het huidige gebruik van vetiver gras beschreven. Het meeste vetiver wordt gebruikt om gebieden te beschermen tegen erosie. Erosie vormt een steeds grotere bedreiging voor grote delen vruchtbaar land, zie figuur 4.1. Per jaar gaat er vijf tot zeven miljoen hectare verloren door erosie. De hellingen worden kaal en kunnen moeilijker begroeid worden. Door hevige regenval worden de gronddeeltjes losgewoeld en stromen de deeltjes met daarbij de voedingsstoffen van de helling af. Ook hebben veranderingen in het landgebruik bijgedragen aan een grotere erosie. De boeren hebben zich meer toegelegd op een intensievere teelt van één soort gewas, door de toegenomen bevolkingsgroei en afgenomen voedselaanbod. Er zijn hiervoor ook verschillende stukken bos gekapt. Veel boeren planten hun gewas ook dwars op de helling. Het water kan daardoor gemakkelijker afstromen en de erosie wordt daardoor verergerd. Ook krijgt de regen minder tijd om in de bodem te zakken. Het sediment dat van de hellingen af komt blijft onderaan de hellingen liggen en de rivieren kunnen daardoor verzanden, zie figuur 4.2. Meer dan éénderde van Afrika wordt bedreigd door woestijnvorming. De bossen verdwijnen daar dertig keer sneller dan dat er nieuwe worden aangeplant. Dit heeft tot gevolg dat er grote en ernstige overstromingen plaatsvinden. De meeste gevolgen van de erosie zijn onomkeerbaar.

In de afgelopen vijftig jaar zijn er veel technische oplossingen bedacht om land tegen erosie te beschermen. De ingenieurs van toen stonden nog onverschillig tegenover het idee om een gras te gebruiken. Maatregelen die toen genomen zijn, bestonden uit het aanleggen van terrassen en bermen om zo de afstroom van water vanaf de hellingen onder controle te kunnen houden.



figuur 4.2: verzanding van rivieren onder aan een helling [20]

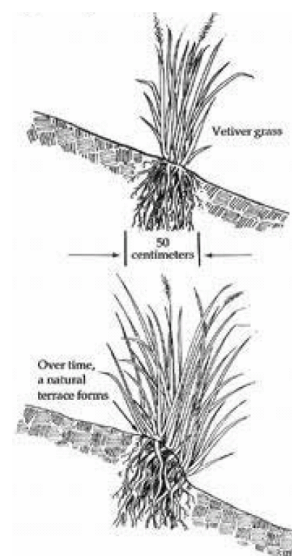
grote schaal kan worden toegepast met weinig materieel. De boeren gebruiken vetiver in de eerste plaats om de opbrengst van hun gewassen te vergroten. Door de vetiver hagen kan er meer vocht de grond in zakken, zie hoofdstuk 2.



figuur 4.1: erosie op een helling [20]

In de loop van de tijd zijn er verschillende demonstraties opgezet om mensen er van te overtuigen dat vetiver hagen kunnen helpen om land tegen erosie te beschermen en dat het net zo lang of zelfs langer meegaat als constructieve maatregelen [42]. In de afgelopen vijftien tot twintig jaar wordt er al veel vetiver toegepast tegen de erosie. Het gebruik is veelal gebaseerd op deze empirische observaties en soms zelfs op verhalen.

Een groot voordeel van het vetiversysteem is dat het op een



figuur 4.3: werking vetiver gras

Het beschermen van gebieden met vetiver gras is een goedkope oplossing. De kosten bestaan uit de kwekerijen, de productie van de stekjes, het planten en wat onderhoud. Wanneer de stekjes eenmaal een haag gevormd hebben, is er weinig onderhoud en geld meer voor nodig. Het vetiversysteem kost ongeveer één procent van een betonnen constructieve oplossing [58].

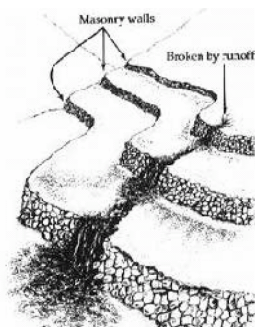
Vetiver gras is in Thailand toegepast om de erosie te beperken. De gronden bestaan hier uit losgepakt zand en siltig materiaal. Zware regens en een grote afstroom van het grond- en oppervlakte water zorgen voor een grote hoeveelheid erosie. De grond komt door de erosie in de afvoergeulen terecht en zo wordt de afstroom geblokkeerd. Op initiatief van de koning van Thailand zijn er in 1993 succesvol 440.000 stekjes vetiver gras geplant [52].

4.2 Bescherming tegen erosie

Er zijn twee vormen van erosie: oppervlakte erosie en riviererosie. Deze worden in het vervolg van dit hoofdstuk beschreven met de oplossing door vetiver.

4.2.1 Oppervlakte erosie

Een helling kan instabiel worden door erosie van de oppervlakte en door structurele zwakheid van de helling. Om oppervlakte erosie tegen te gaan is een goede vegetatie effectief. Planten met diepe wortels kunnen de hellingen stabiel houden. Haagjes van vetiver gras spreiden het water wat van de hellingen af loopt en reduceren hiermee de snelheid van het water en daarmee de intensiteit van de erosie. Door vetiver hagen wordt ook het sediment verdeeld, hiervoor zijn de afstand tussen de hagen en de dichtheid van de hagen van belang [49].



figuur 4.3: erosie op terrassen [58]

Bij een grote regenintensiteit kan de bovenste grondlaag van een helling wegspoelen en ontstaan er geulen. Wanneer een helling bestaat uit aangelegde terrassen zal deze geul op het bovenste terras ontstaan en zich uitbreiden naar lager gelegen terrassen, zie figuur 5.3. Door het dikke wortelsysteem van vetiver gras, zijn vetiver hagen een goede oplossing om deze erosie te voorkomen. De hellingen blijven stabiel en de bovenste grondlaag wordt aan de onderste verankerd.

Bij de Madagaskar spoorlijn is vetiver gras toegepast om dit soort erosie te voorkomen. De grond in Madagaskar bestaat uit kleine korreltjes, is zacht en wanneer het nat is erg gevoelig voor erosie. De spoorlijn op Madagaskar is heel belangrijk voor de 100.000 mensen die er wonen. Er is geen andere mogelijkheid voor het vervoer van goederen en mensen.

Tijdens twee orkanen die in 2000 zijn opgetreden, zijn er meer dan 280 landafschuivingen geweest. Hierdoor is er 150.000 m³ aarde over de 163 km lange spoorlijn gekomen. Vetiverspecialisten zijn naar Madagaskar toegegaan om de mogelijkheden voor de toepassing van vetiver voor het opbouwen van de spoorbaan en het voorkomen van verdere erosie te bekijken. Vetiver is daar op twee manieren toegepast: bij het herstellen van de afgeschoven delen en het stabiel houden van de hellingen. Dit laatste is gedaan in samenwerking met de lokale bevolking. In ruil voor het onderhoud aan de vetiver hagen mogen de boeren langs de spoorweg hun gewassen verbouwen. Na een zware regenbui zijn er in de gebieden met ontwikkelde vetiver hagen geen afschuivingen meer geweest. De gronden zijn ook voor een langere tijd vruchtbaar. In 3,5 jaar tijd zijn er meer dan 2,6 miljoen vetiver stekjes geplant langs de spoorlijn [54].



figuur 4.4: Schade ontstaan door landafschuiving in Madagaskar [54]

4.2.2 Rivier erosie

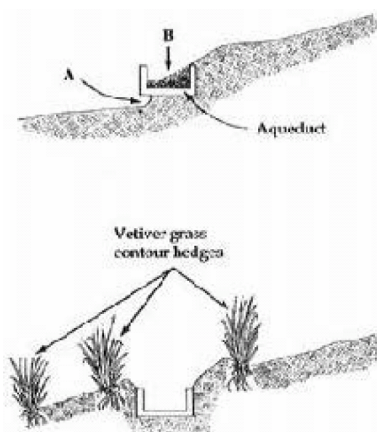


figuur 4.6: vetiver gras langs een oever

Erosie van rivierbanken is van alle tijden. Door deze erosie worden er in een delta weer nieuwe geulen gevormd. Door het ontstaan van nieuwe geulen, die steeds op een andere plek terechtkomen, kunnen er geen wegen worden aangelegd. Het meeste transport gaat daardoor over water. Door economische ontwikkelingen zijn bijna alle boten voorzien van een motor. Door de grotere snelheid van de boten worden golven veroorzaakt die een grotere erosie tot gevolg hebben. De meeste oevers langs rivieren bestaan uit silt of leem. Deze gronden kunnen extreem eroderen als ze nat zijn. In Vietnam erodeert er bijvoorbeeld meer dan tien meter oever in drie jaar tijd. De bevolking heeft dit geprobeerd tegen te houden door verschillende planten en

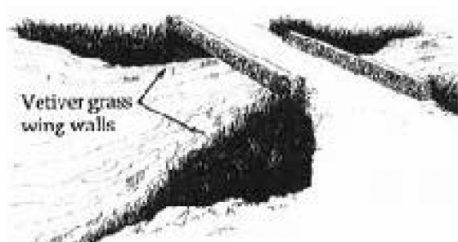
muurtjes langs de oever te zetten. Er worden nu verschillende experimenten gedaan met vetiver planten langs de oever. Het experiment is nog niet afgerond, maar vetiver is al bij de bevolking geaccepteerd [53].

Ook langs irrigatiekanalen of irrigatieaquaducten wordt vetiver gras geplant. De geulen en aquaducten worden toegepast om de afstroom van water vanaf een helling te reguleren. Deze aquaducten liggen vaak parallel aan de hoogtelijnen van een helling. Door de erosie van de toplaag van de helling kan er grond in de aquaducten terechtkomen. Om dit te voorkomen wordt er langs de aquaducten en kanalen vetiver gras aangeplant, zie figuur 4.8. De stevige stengels en diepe wortels zorgen ervoor dat er geen grond meer in de aquaducten terechtkomt.



figuur 4.7: bescherming van irrigatie-aquaducten [58]

Erosie van oevers treed ook vaak op ter hoogte van bruggen. Hier wordt de rivier vaak versmald om een zo klein mogelijke overspanning te krijgen. Door het versmallen van de rivier wordt de stroomsnelheid in de rivier en langs de oevers groter.



figuur 4.6: bescherming van rivierdoorgangen bij bruggen [58]

Hierdoor kan erosie optreden van de landhoofden waardoor bij een grote hoeveelheid erosie de brug in kan storten. De oevers bij de landhoofden kunnen worden beschermd door de aanplant van vetiver gras. Door de stevige wortels wordt de stabiliteit van de oevers vergroot. Vetiver kan ook een tijdje onder water staan, waardoor het ook toegepast kan worden bij rivieren met een wisselende waterstand.

4.3 Overige toepassing van vetiver gras

Behalve om erosie tegen te gaan wordt vetiver gras ook nog voor heel wat andere toepassingen gebruikt.

Grond geschikt maken voor inheemse planten

Op gronden die door erosie hun voedingstoffen zijn kwijtgeraakt kunnen weinig planten zich vestigen. Voor deze gronden kan het planten van vetiver gras een begin zijn om de flora en fauna te herstellen. Door vetiver gras aan te planten wordt de bodem voedselrijker en kunnen andere planten zich vestigen [49].

Dit is toegepast in het noorden van Nieuw-Zeeland, waar een grote hoeveelheid zand over een bouwterrein was gerold. Er groeide niets in het zand totdat er een grassoort met diepe wortels in werd geplant. Het zand werd gestabiliseerd en vervolgens konden andere planten zich vestigen. Het zand werd voedzamer door een toename van organisch materiaal. Binnen twee jaar was de grond voedzaam genoeg dat er zaad van bomen kon gaan groeien [20].

Stabiliseren van duinen

Door erosie van duinen veroorzaakt door overstromingen en stormen wordt er veel zand naar lager gelegen gebieden getransporteerd. Bestaande beschermingen raken hierdoor beschadigd en moeten weer hersteld worden. Door het toepassen van vetiver gras op de duinen, wordt de stabiliteit van het zand vergroot en richt de erosie minder schade aan [20].

Gewassen kweken in extreem droge gebieden

In extreem droge of gebieden met een dunne voedzame laag zijn er verschillende manieren om deze te bebouwen. Een mogelijkheid is om gebruik te maken van een dunne strook vlak achter de vetiver hagen. Hierdoor kunnen de gewassen gebruik maken van het sediment wat er achter deze hagen blijft liggen en gevoed wordt door het water dat van de helling afstroomt. Zo kunnen er in deze gebieden ook gewassen worden verbouwd [20].

Grondwater geschikt maken voor drinkwater

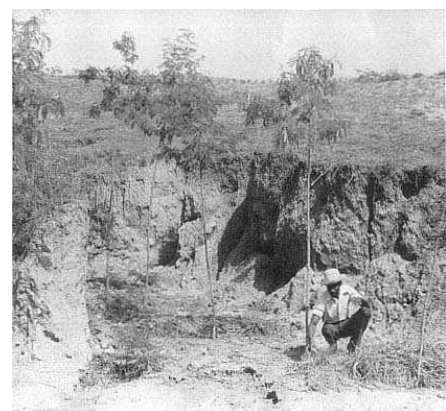
Vetiver gras kan worden gebruikt om grondwater geschikt te maken voor drinkwater. Het gras kan de hoeveelheid nitraat in het water verminderen [20].

Beschermen tegen insecten

Van de gedroogde wortels van vetiver gras worden schermen gemaakt die mensen kunnen beschermen tegen insecten. De geur van de olie die in de wortels zit schrikt de insecten af. Ook worden de wortels gebruikt om motten uit kleerkasten te weren [20].

Beschermen van jonge aanplant

Hagen vetiver gras houden de grond vast en zorgen ervoor dat er meer vocht de grond in kan zakken. Deze hagen worden daardoor ook gebruikt om rondom jonge aanplant te zetten. De jonge plantjes zijn zo voorzien van voldoende vocht en ze worden ook beschermd tegen de wind [58].



figuur 4.9: randen vetiver langs jonge aanplant [20]

4.4 Bijproducten vetiver gras

Vetiver gras kan ook een aantal producten leveren die nuttig zijn voor boeren in de tropen. Deze kunnen worden gebruikt zonder dat de hoofdfunctie (beschermen tegen erosie) van het gras wordt aangetast. Deze bijproducten kunnen zijn:

- Veevoer, vooral de jonge scheuten; Eén kilo gedroogd vetiver gras bevat 1,47 Mcal verteerbare energie. De jonge scheuten van vetiver gras zijn een goede voedselbron omdat er een hoop eiwitten in zitten. Door de snelle groei van het gras is er een constante productie van nieuw voedsel.
- Vetiver gras kan de grond rondom jonge plantjes bedekken, hierdoor kan de groei van onkruid tegen worden gegaan;
- Van vetiver gras kunnen dakbekledingen worden gemaakt, het gras is duurzaam en waterdicht;
- Het gras kan gebruikt worden om matrassen van te maken;
- Grondbedekking waar vee op kan liggen;
- Voor het maken van matten, manden en schermen;
- Na het drogen van de bladen kan het gras worden gebruikt als brandstof;
- De wortels van het gras bevatten een geurige olie, zie paragraaf 2.2.3;
- Van het gras kan papier worden gemaakt.

Deze bijproducten kunnen op lokale markten worden verkocht. Dit zorgt ervoor dat de boeren extra inkomsten hebben en zo sneller geneigd zijn om vetiver langs hun landerijen te planten.

5

Wat is *Cyperus rotundus*?

Cyperus rotundus is een bodembedekker die veel voorkomt in Amerikaanse landen [40]. De naam *Cyperus* komt van het oude Griekse woord 'Cypeiros'. Rotundus is een Latijnse naam en verwijst naar de vorm van de wortelknol [26].

Cyperus rotundus is ook bekend onder de naam "Purple Nutsedge". Tot dezelfde familie behoort *Cyperus esculentus*, het Yellow Nutsedge. Dit plantje lijkt erg veel op *Cyperus rotundus*. Ze zijn te onderscheiden aan de vorm van het uiteinde van het blad en aan de kleur van de zaden. De wortels van *Cyperus rotundus* worden in China voor een deel gebruikt om griep en pijn mee te verminderen. Ook kan het dienen als veevoer.

Cyperus rotundus groeit in uiteenlopende omstandigheden en klimaten. Het kan overleven in bijna elk type grond, in gebieden met veel of weinig grondvocht, zure of basische gronden en op verschillende hoogteniveaus. *Cyperus* komt voor in gazons, op oevers en langs randen van velden waar gewassen worden gekweekt. *Cyperus rotundus* groeit het beste in een vochtige en voedzame grond. Het plantje kan zich ook vestigen in verstoorde gebieden, waar bijna alle voedingsstoffen door planten zijn opgebruikt [26].



figuur 5.1: *Cyperus rotundus*

5.1 Plantbeschrijving *Cyperus rotundus*

In dit rapport wordt figuur 5.6 een stengel genoemd en een aantal stengels bij elkaar vormen de plant. Een stengel *Cyperus rotundus* ontstaat vanuit een wortelknol. Deze wortelknol bevindt zich onder de grond en ontstaat meestal uit een andere wortelknol. De wortelknollen zijn onderling verbonden door een wortel, die wortelstok wordt genoemd, zie figuur 5.6. Een volwassen stengel bestaat uit acht tot tien bladen. In sommige gevallen ontstaat er vanuit het midden van een plant een bloem. Deze bloemen hebbende vorm van paraplu en zijn paars tot bruin van kleur. De bladen van *Cyperus rotundus* hebben een eenvoudige vorm, met een duidelijke verdikte nerf in het midden. De bladen hebben een donkergroene kleur en glanzen een beetje. Ze hebben een breedte van vijf tot acht millimeter en hebben een puntige top. Totaal kan een stengel dertig tot zestig centimeter hoog worden [40].



figuur 5.2: een blad van *Cyperus rotundus*

5.2 Wortels *Cyperus rotundus*

De wortels van *Cyperus rotundus* bestaan uit een vertakte wortelstok met veel ronde knollen. Deze knollen hebben een ribbelig oppervlak en zijn in eerste instantie wit van kleur, later worden ze donker roodbruin van kleur en ze hebben een bittere smaak. De knollen hebben een afmeting van ongeveer tien millimeter, zoals te zien is in figuur 5.2.

De vorming van bloemen en zaad is zeldzaam, de meeste planten ontstaan uit de knollen. *Cyperus rotundus* produceert ketens van knollen die zich langs de hele wortelstok, en door het hele grondoppervlak ontwikkelen [40].

Door de bladen vaak af te knippen wordt de plant gestimuleerd om nieuwe knollen te maken uit wortelstokken. De wortelstokken groeien in de grond in alle richtingen. De wortels die omhoog groeien, vormen een bobbel aan de oppervlakte. Hieruit ontstaan bladen, wortels of wortelstokken. De wortelstokken die naar beneden of horizontaal groeien, vormen individuele knollen of een ketting van knollen.

De wortelstokken en de knollen van *Cyperus rotundus* vormen uitgebreide netwerken in de grond. De meeste knollen groeien in de bovenste 15 tot 20 cm van de grond, enkelen groeien zelfs tot een diepte van 40 cm. In zware klei kan het wortelsysteem meer dan één meter diep worden. Het aantal knollen kan in één seizoen vervijfvoudigen. Hierdoor kan één groeipunt zorgen voor 10 tot 15 planten per seizoen. Na zes maanden groei zijn de wortels maximaal drie meter van het oorspronkelijke plantje verwijderd. De dichtheid van de bodembedekking bedraagt uiteindelijk 200 tot 300 scheuten per m².



figuur 5.3: wortelknol



figuur 5.4: de knol waaruit een *Cyperus* plant ontstaat

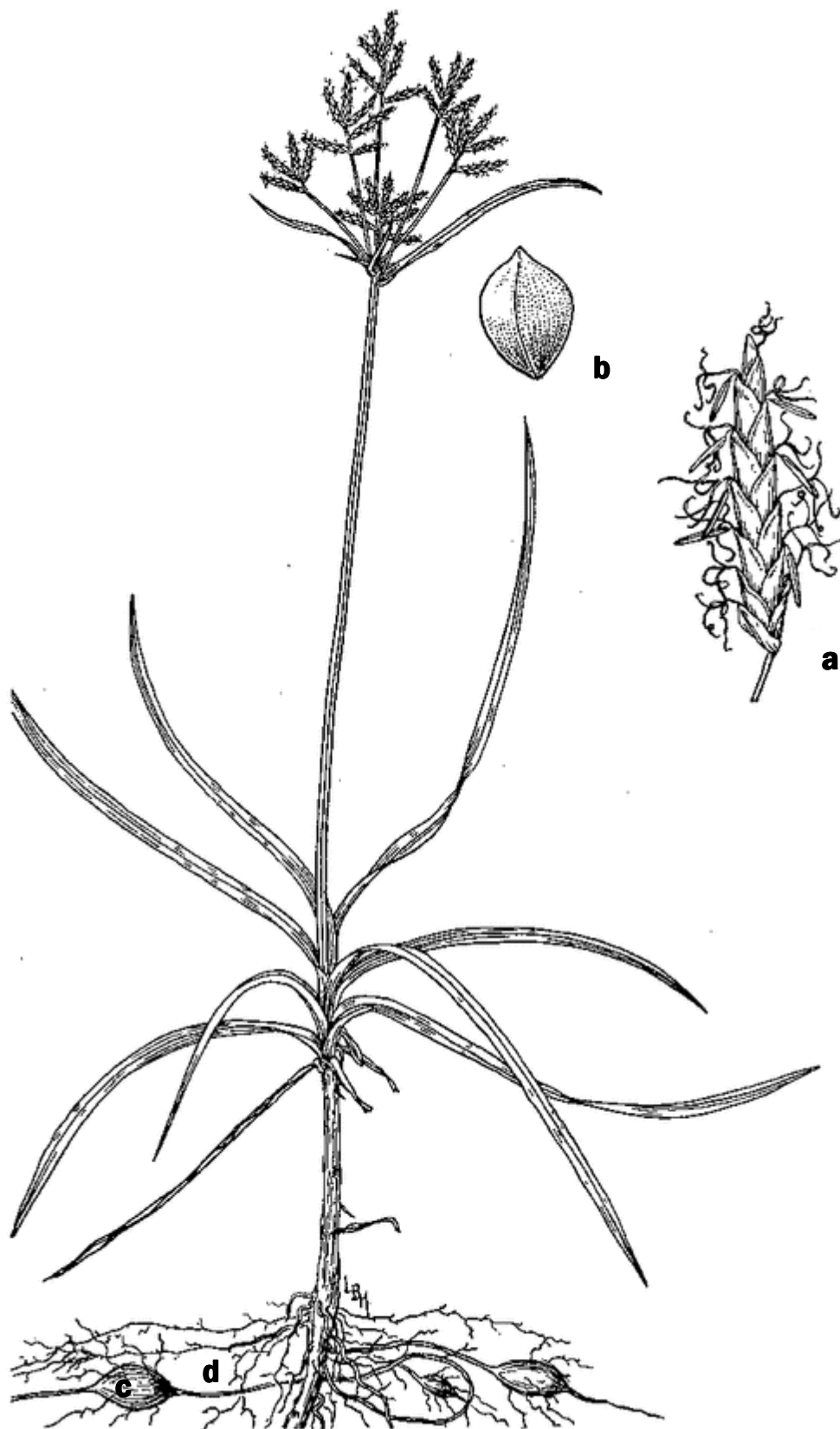
De knollen kunnen extreme warme temperaturen weerstaan, maar ze zijn gevoelig voor lagere temperaturen. De laagste temperatuur waarin *Cyperus rotundus* kan overleven is -5 graden. De knollen ontkiemen bij een temperatuur boven de 15 graden. Bij een laag zuurstof- en een hoog koolstofdioxideniveau blijft de plant in rust. Een hoog percentage knollen in rust is te vinden in ongestoorde en in diepe gronden. Ook oude knollen zijn vaker in rust. Tijdens winterperiodes overwinteren alleen de knollen, de bladen sterven dan af.

Door stormen kunnen de knollen naar de oppervlakte worden getransporteerd en naar nieuwe gebieden worden gebracht. De knollen kunnen overstroomde gronden voor minstens 200 dagen overleven. In de meeste gevallen overleven de knollen 3 tot 4 jaar, maar onder sommige condities wel 10 jaar of meer.

Cyperus rotundus staat in sommige gebieden bekend als onkruid, doordat de vorming van de knollen aan de wortelstok moeilijk in de hand te houden is. Een kluit planten kan per seizoen duizenden knollen maken, die voor een lange tijd in de grond verborgen kunnen blijven en later weer kunnen ontkiemen. De plant concurreert met andere planten doordat het onder andere snel groeit en een vertakt wortelsysteem heeft.



figuur 5.5: bedekking van de grond met Cyperus rotundus



figuur 5.6: schematische weergave van een stengel van *Cyperus rotundus* [29]
a = bloem, b = zaad, c = wortelknol, d = wortelstok

6

Wortellengte vetiver gras

6.1 Inleiding

De wortels van vetiver gras vormen een belangrijk onderdeel van de plant. De wortels verankeren de plant in de grond en vervullen nog verschillende andere functies, zie paragraaf 2.2.3. In dit hoofdstuk wordt gekeken hoe de wortels van vetiver gras er uit zien en wordt de worteldichtheid bepaald.

6.2 Opstelling

Een vetiver plant van één jaar en vier maanden oud is gebruikt om de worteldichtheid te bepalen. De stengels van deze plant hebben een lengte van ongeveer 2,3 meter. Van deze plant is ongeveer één vierde afgehaald en de rest van de plant wordt gebruikt om het afsterven te onderzoeken, zie hoofdstuk 7. Dit deel van de plant is aan de zijkant van de grote plant weggehaald. Om de wortels te kunnen bekijken wordt de grond rondom de wortels weggespoeld met de hulp van een waterstraal. De plant heeft in zware klei gestaan, hierdoor is het lastig om alle grond rondom de wortels te verwijderen. Vooral dicht bij de stengels, waar veel kleine en dunne wortels zitten. Ook zijn tijdens het verwijderen van de grond enkele wortels afgebroken. Dit zijn dan voornamelijk de dunnere wortels. Het uitspoelen van de wortels heeft geleid tot een kluit wortels met de afmetingen van tien bij negentien centimeter. De afmetingen van de pol met de stengels is zeven bij elf centimeter, zie figuur 6.1.

Het is op de foto goed zichtbaar dat dicht bij de oppervlakte er een hoop dunne wortels zijn. Dit aantal neemt snel af naar de diepte toe en dieper zijn er dikkere wortels te zien die op sommige plekken dunne zijwortels hebben.



figuur 6.1: plant voor de bepaling van de worteldichtheid

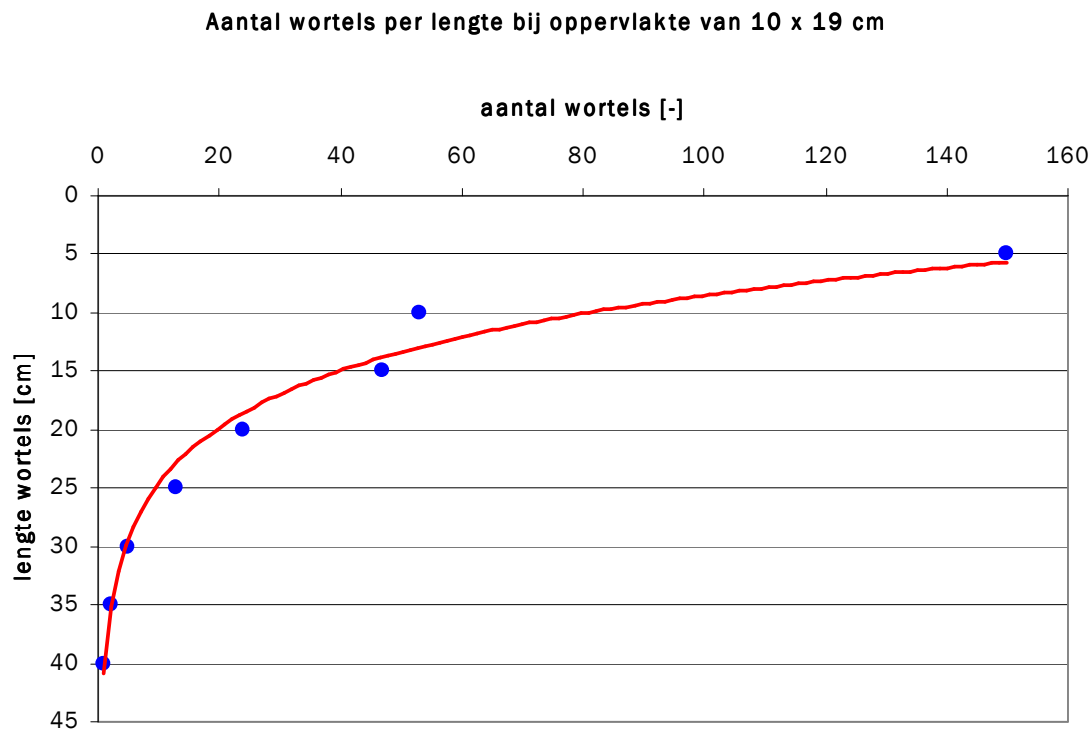
6.3 Resultaten

Om de dichtheid van de wortels op een bepaalde diepte te kunnen bepalen, is om de vijf centimeter het aantal wortels geteld. De wortels die geteld zijn beginnen bij de 'kruin' van de plant. De zijwortels die uit de hoofdwortels groeien zijn dus niet meegeteld. Dicht bij de 'kruin' vormen de dunne wortels een dicht netwerk waar de grond tussen blijft zitten. Hierdoor is het lastig om het precieze aantal wortels te tellen. Er is op een afstand van vijf centimeter vanaf de stengels daarom een schatting gemaakt voor het aantal wortels. Het resultaat van deze telling is weergegeven in tabel 6.1.

Tabel 6.1 :aantal wortels per afstand vanaf de overgang tussen de plant en de wortels

Afstand vanaf de overgang tussen plant en wortels [cm]	Aantal wortels gemeten
5	+/- 150
10	53
15	47
20	24
25	13
30	5
35	2
40	1

De waarden uit deze tabel zijn vervolgens weergegeven in onderstaande grafiek, figuur 6.2.



figuur 6.2: grafische weergave van het aantal wortels per lengte van de wortels

De punten in de grafiek geven de gemeten waarden aan en de lijn geeft de best passende formule aan. De formule ziet er in dit geval als volgt uit: $y = -7,0116 \ln(x) + 40,797$. De kwadratische afwijking van deze formule en de gemeten punten bedraagt 1,24. Deze afwijking is zo klein dat er gesproken mag worden van een logaritmisch verband tussen het aantal wortels en de lengte van de wortels.

6.4 Conclusies

Uit de figuren 6.1 en 6.2 is te zien dat er dicht bij het grondoppervlak veel wortels zijn. Dit aantal neemt af bij een grotere afstand tot het grondoppervlak. De wortels van vetiver gras bestaan uit lange dikke wortels met dunne zijwortels. Bij dit experiment zijn de langste wortels ongeveer veertig centimeter lang, terwijl in droge gebieden de wortels al na één jaar twee tot drie meter lang kunnen worden [32, 60]. Dat de wortels uit het experiment deze lengte niet hebben, kan veroorzaakt zijn doordat de kluit waarvan de wortels zijn bekeken aan de zijkant van een bestaande plant is gehaald. De nieuwe stengels van vetiver gras groeien aan de zijkant dicht tegen de bestaande stengels. Hierdoor is het deel waaruit de worteldichtheid is bepaald minder oud dan het midden van de plant en kunnen de wortels nog niet hun uiteindelijke lengte hebben bereikt.

Tussen de lengte van de wortels en het aantal bestaat een logaritmisch verband.

6.5 Aanbevelingen

Van het aantal wortels op een afstand van vijf centimeter vanaf het grondoppervlak is een schatting gemaakt. De grond kon hier moeilijk tussen de wortels worden verwijderd, zonder veel wortels te beschadigen. Door dit experiment nog een keer uit te voeren in een wat lichtere grondsoort, kan de grond makkelijker worden verwijderd en kunnen de wortels ook op een kleine afstand vanaf het grondoppervlak worden geteld. Door meer experimenten uit te voeren in andere grondsoorten kan worden gekeken of de grondsoort invloed heeft op de groei van de wortels.

Er kan ook worden gekeken of de leeftijd van de plant invloed heeft op het verband tussen de wortels en de lengte van de wortels.

7

Afsterven vetiver gras

7.1 Inleiding

Dat vetiver gras op dit moment nog niet op dijken wordt toegepast, komt omdat men bang is dat het gras afsterft en dat daarbij ook de wortels vergaan. Dan zullen op de plaatsen waar eerst wortels zaten, gaten ontstaan. Door deze gaten kan het water stromen en zo de dijk verzwakken. Of deze angst gegrond is wordt in dit hoofdstuk onderzocht door een grote vetiver plant te laten afsterven. Het afsterven van een plant kan op verschillende manieren, enkele hiervan zijn:

- het in contact komen met giftige stoffen;
- geen water krijgen;
- geen zuurstof;
- geen licht;
- bevriezing.

Dat vetiver gras niet goed tegen vorst kan blijkt uit de literatuur en is beschreven in hoofdstuk 2. De gebieden waar men vetiver gras wil toepassen hebben vaak een warm klimaat. In deze gebieden kan het voorkomen dat er een lange tijd geen neerslag valt. In dit hoofdstuk wordt daarom onderzocht hoe lang het duurt voordat een vetiver plant afsterft als het geen water tot zijn beschikking heeft.

7.2 Opstelling

Het afsterven gebeurt door een grote plant uit de Botanische Tuin die op het moment van het begin van het experiment al één jaar en vier maanden oud was geen water meer toe te dienen. Deze plant staat in een grote bak en heeft de afmetingen bij de grondoppervlakte van ongeveer dertig bij dertig centimeter. De lengte van de stengels van het gras is ongeveer 2,3 meter. De grond waarin het gras staat bestaat uit zware klei. Wanneer de plant is afgestorven, kunnen de wortels voor en na worden bekeken en de eventuele verschillen worden opgemerkt.

7.3 Resultaten

Het afsterven van deze grote vetiver plant neemt een lange tijd in beslag. Om te bepalen in hoeverre het gras is afgestorven wordt het percentage verdroogde bladen bepaald. Het bepalen van de percentages verdroogde bladen is op het oog gebeurd, omdat het aantal verdroogde stengels door de grootte van de plant moeilijk te tellen is. Na een periode van zeven weken is ongeveer 25 procent afgestorven. Na 14 weken is 50 procent afgestorven en na 23 weken is ongeveer 75 procent van alle bladen vergeeld. Na 31 weken zijn bijna alle bladen afgestorven, ongeveer 95 procent van de bladen. Hoe de planten er op die momenten uit zien is weergegeven in figuur 7.1.



figuur 7.1: het afsterven van een grote plant vetiver gras met v.l.n.r. 0%, 25%, 50%, 75% en 95% verdroogde stengels

Het totale overzicht van het afsterven van deze plant is opgenomen in bijlage 1.

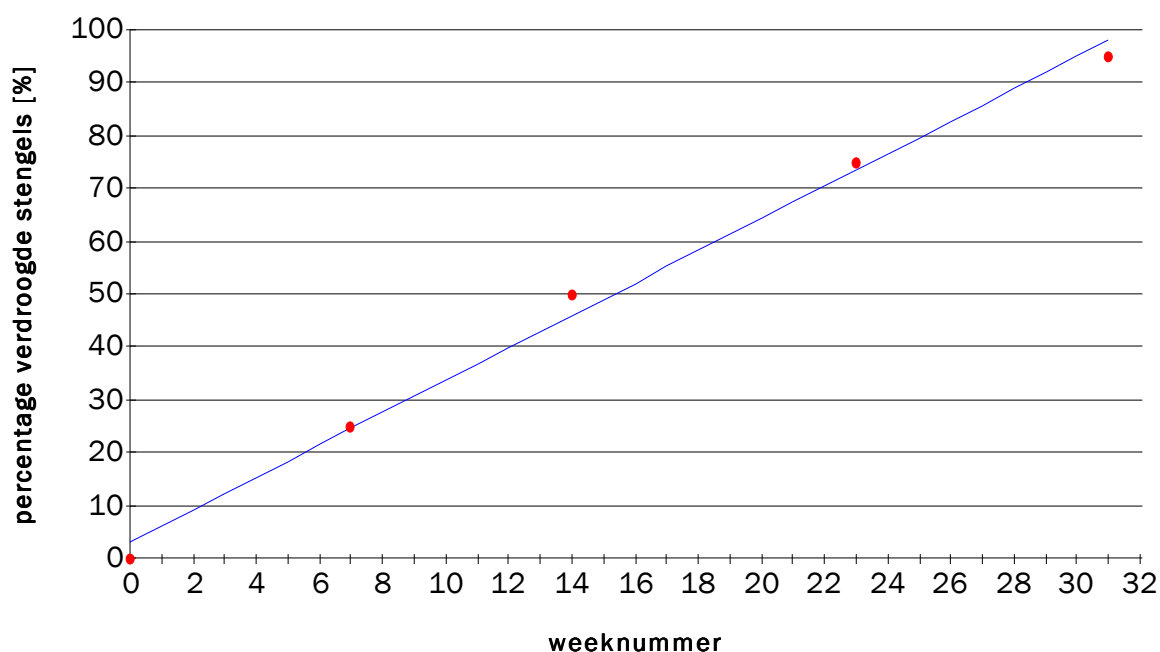
In de onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven:

Tabel 7.1: percentage afgestorven stengels

Aantal weken	Percentage afgestorven stengels
0	0 %
7	25 %
14	50 %
23	75 %
31	95 %

Deze percentages uit tabel 7.1 kunnen worden uitgezet tegen de tijd en daaruit volgt figuur 7.2 en zijn aangegeven door de rode punten.

Afsterven van vetiver gras



figuur 7.2: de percentages verdroogde stengels van het afstervende vetiver gras

De lijn die de punten verbind kan worden berekend met behulp van de kleinste kwadraten methode. In bijlage 8 wordt deze methode uitgebreid beschreven en wordt de formule van deze lijn bepaald. Deze formule is:

$$\text{Percentage gele stengels} = 3,02 + 3,07 * \text{aantal weken}$$

De afwijking van de lijn die uit de formule volgt met de gemeten punten wordt bepaald door de standaarddeviatie (zie bijlage 8). In dit geval is de standaarddeviatie 3,53. Deze afwijking is klein genoeg om de formule te kunnen toepassen.

In figuur 7.2 is deze lijn in blauw weergegeven. Deze formule is bepaald door maar één steekproef uit te voeren. Deze formule geeft dus maar een indicatie en gaat waarschijnlijk niet op voor alle vetiver planten. Uit de formule blijkt dat per week ongeveer drie procent van het aantal bladen verdroogd. Uit de grafiek en de formule volgt dat na ongeveer 32 weken de plant geheel is afgestorven.

Om te kunnen bekijken of de wortels gedurende dit experiment worden verteerd zijn er aan het begin en tegen het einde van het experiment foto's van de wortels gemaakt, zie figuur 7.3. Op beide afbeeldingen zijn de wortels duidelijk te zien. De wortels worden dus niet verteerd tijdens het experiment.



figuur 7.3: wortels aan het begin (links) en tegen het einde (rechts) van het experiment

7.4 Conclusies

Een volwassen plant, in dit experiment een plant van bijna 1,5 jaar oud, doet er ongeveer 32 weken (7 maanden) over om af te sterven. De plant moet in deze periode geen water tot zijn beschikking hebben. Er moet in deze periode geen regen vallen en het grondwater moet diep genoeg zitten dat de wortels er niet bij kunnen. Dit zal in een werkelijke situatie niet vaak voorkomen en men hoeft dus niet bang te zijn dat een volwassen plant in een haag snel afsterft. Er bestaat een lineair verband tussen het aantal verdroogde stengels en de tijd, zoals te zien is in figuur 7.2. De afwijking tussen de lijn en de gemeten punten is klein genoeg om de formule te mogen toepassen.

Tijdens het afsterven van vetiver gras, vergaan de wortels niet. Dit is te zien in figuur 7.3. De wortels blijven intact en de kans dat het water in de dijk kan stromen en deze daardoor kan verzwakken is daardoor erg klein.

7.5 Aanbevelingen

Of het lineaire verband tussen het percentage verdroogde stengels en de tijd voor meer situaties geldt, kan in een vervolg onderzoek nader worden onderzocht. Hiervoor kan het gras in andere soorten gronden worden gezet en er kunnen andere leeftijden van het gras worden genomen. De resultaten van die onderzoeken kunnen met dit onderzoek vergeleken worden. Er kunnen ook nog andere manieren worden onderzocht waardoor vetiver gras dood kan gaan, zie ook paragraaf 7.1.

8

Invloed waterstand op de wortels van vetiver gras

8.1 Inleiding

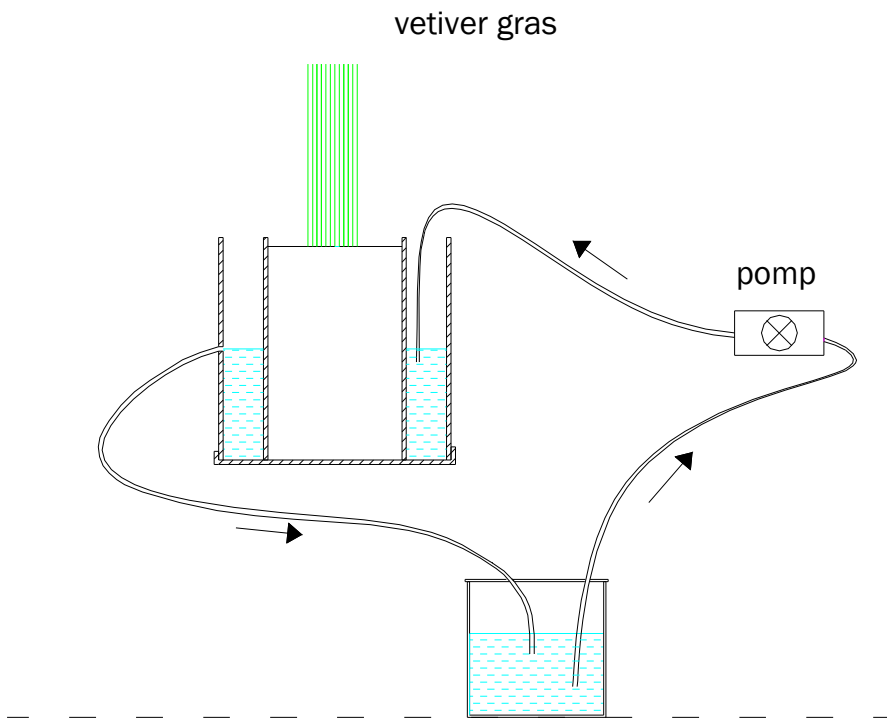
Het is gebleken dat vetiver gras voor een vergroting van de stabiliteit van hellingen zorgt, zie hoofdstuk 2 en 3. Door de lange wortels schuift de grond minder snel af. Door vetiver gras op dijken te planten, kunnen ook de dijken worden verstevigd tegen afschuivingen. Dijken staan onder invloed van waterstanden die per seizoen kunnen verschillen. In droge seizoenen zal het water laag staan en in de natte seizoenen kan het water tot aan de berm van de dijk staan en soms zelfs hoger. In dit hoofdstuk zal onderzocht worden of de lengte van de wortels van vetiver gras wordt beïnvloed door de hoogte van de grondwaterstand.

8.2 Opstelling

Dit experiment is uitgevoerd in de kas van de Botanische Tuin van de TU Delft. In deze kas is een verwarmingselement die de temperatuur van de kas kan verhogen om een gunstig klimaat voor vetiver gras te hebben. De temperatuur in de kas was ongeveer twintig graden en kon door de zon oplopen tot meer dan dertig graden. Voor het experiment is een al wat grotere vetiver plant in drie even grote delen gesplitst, zie figuur 8.1. Dit splitsen is gebeurd met de hulp van een schop, omdat de wortels in de pot al een stevig netwerk hadden gevormd. De bladen van het gras zijn afgesneden tot een lengte van dertig centimeter en de wortels tot een lengte van twintig centimeter. Deze plantjes zijn alledrie in een plastic buis met een lengte van 75 centimeter gezet. De buizen, met een diameter van dertig centimeter, zijn gevuld met voedzame potgrond en daarin zijn de vetiver plantjes gepoot. Aan de onderzijde van deze buizen zijn er deksels geplaatst die aan de buis zijn vastgeschroefd. De buizen met vetiver gras zijn in een grotere buis, met een diameter van vijftig centimeter, geplaatst. Onder deze buis zit een vastgelijmd deksel, zodat er een grote bak ontstaat. De ruimte tussen deze twee buizen is met water gevuld. In de buitenste bak is een gat gemaakt, waardoor het water de bak weer kan verlaten. Dit water komt dan in een emmer terecht en vanuit deze emmer wordt het water weer naar de bak gepompt. Hierdoor is er een circulatie van het water, waardoor de algengroei wordt geremd. Ook is er op die manier altijd voldoende water voor vetiver gras beschikbaar. De opstelling is schematisch weergegeven in figuur 8.2. De emmers moeten regelmatig worden bijgevuld, omdat het gras het water verbruikt voor de groei.



figuur 8.1: vetiver voor het begin van de proef



figuur 8.2: schematische weergave van de opstelling met een gemiddelde waterstand

De gaten zitten in de drie bakken op verschillende hoogtes, zodat er in elke bak een andere waterstand is. In de eerste bak staat het water 64 centimeter onder het grondoppervlak. In de tweede bak is dit slechts 3,5 centimeter en in de derde buis ongeveer halverwege de buis, op een afstand van 36,5 centimeter onder het grondoppervlak. De opstelling is te zien in figuur 8.3.



figuur 8.3: de opstelling van vetiver gras met een verschillende waterstand

8.3 Resultaten

8.3.1 *Stengels en bladen*

In bijlage 2 zijn de meetresultaten weergegeven van de lengte van de bladen. In deze bijlage is ook een foto overzicht gegeven van de plantjes die twee keer per week gefotografeerd zijn. Op de volgende drie pagina's is een selectie te zien uit het foto overzicht uit de bijlage. Tussen deze foto's zit een periode van ongeveer 3,5 weken.

Vetiver gras met een lage waterstand



dag 11



dag 36



dag 59



dag 84



dag 108



dag 130

figuur 8.4: vetiver gras met een lage waterstand

Vetiver gras met een hoge waterstand



dag 11



dag 36



dag 59



dag 84



dag 108



dag 130

figuur 8.5: vetiver gras met een hoge waterstand

Vetiver gras met een gemiddelde waterstand



dag 11



dag 36



dag 59



dag 84



dag 108

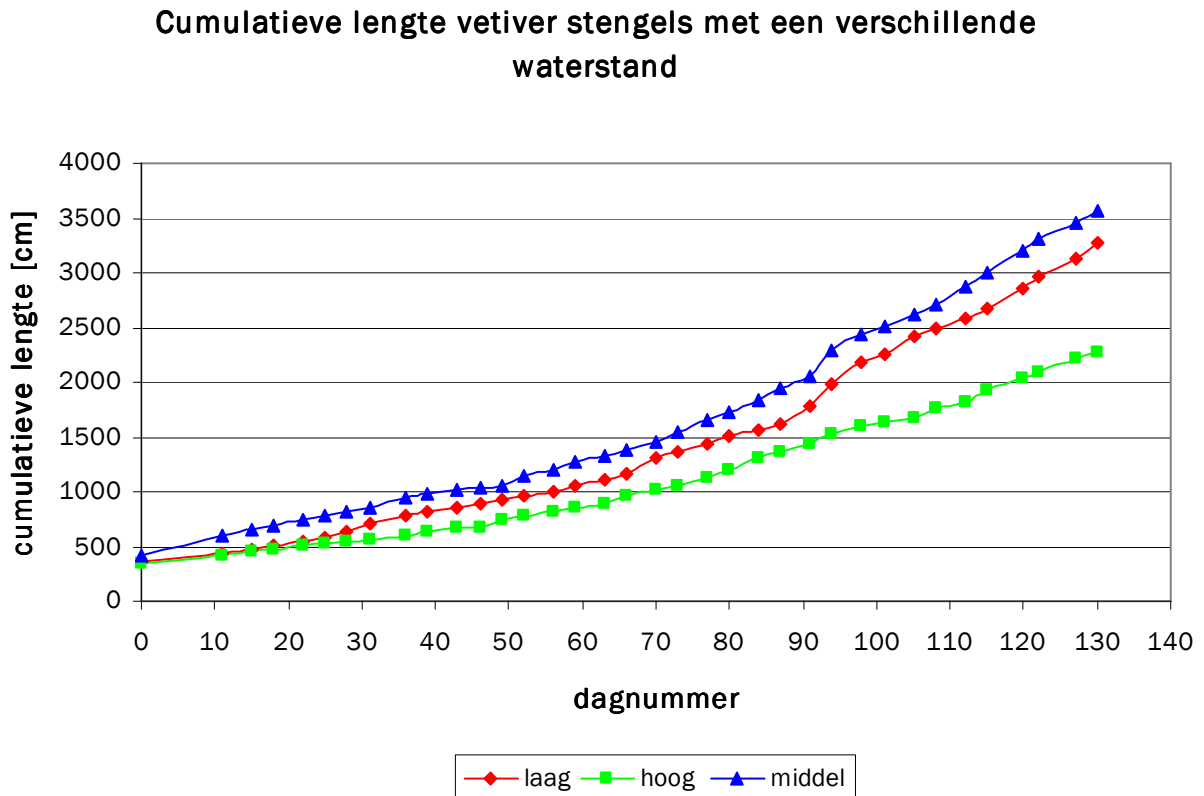


dag 130

figuur 8.6: vetiver gras met een gemiddelde waterstand

In de voorgaande foto's, figuur 8.4 t/m 8.6, zijn op het oog niet veel verschillen te zien. De plant met de hoge waterstand is iets smaller en bestaat uit minder stengels.

De groei van een vetiver plant kan gemeten worden aan de lengte van de stengels en aan de productie van nieuwe stengels. Per stengel wordt de lengte van het langste blad gemeten. De lengte is twee keer per week opgemeten. Van al deze bladen wordt de lengte, ook van de nieuwe stengels, bij elkaar opgeteld. Hieruit ontstaan de cumulatieve lengte van de vetiver stengels. Deze is uitgezet tegen het dagnummer en daaruit volgt onderstaande grafiek:



figuur 8.7: grafiek van de cumulatieve lengte van de stengels met een verschillende waterstand

Uit deze grafiek valt op te maken dat de plant met de middelste waterstand het beste groeit. De planten met een lage en hoge waterstand hebben in het begin een zelfde groeisnelheid, maar na ongeveer drie weken groeit de plant met de lage waterstand harder dan die met een hoge waterstand. De lage waterstand volgt de lijn van de gemiddelde waterstand. Na drie maanden (90 dagen) neemt de groei van de lage en middelste waterstand toe en blijft de plant met de hoge waterstand met hetzelfde tempo doorgroeien.

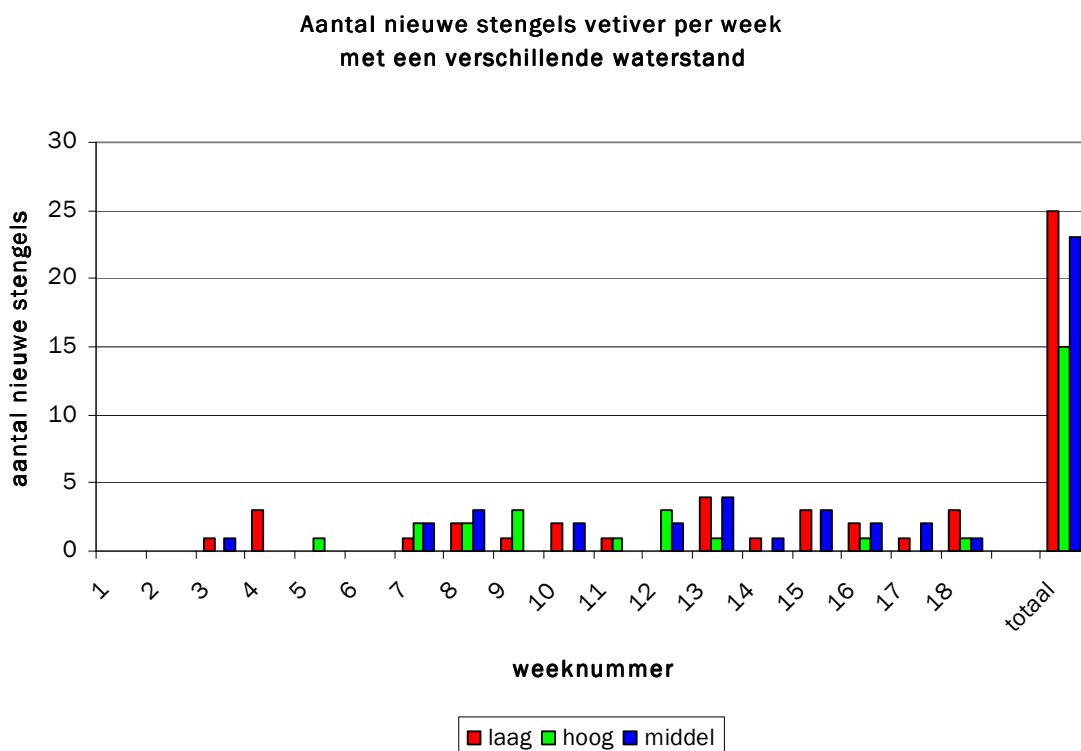
Uit de metingen van de lengte van de stengels kan de gemiddelde groeisnelheid van de stengels worden bepaald. Deze groeisnelheid is bepaald door een gemiddelde te nemen van de groei van de acht langste stengels en deze te delen door de totale tijdsduur van het experiment, 18 weken. In de onderstaande tabel is in de eerste regel de gemiddelde groeisnelheid over de hele periode te zien. In de tweede regel staat de groeisnelheid over de eerste helft van het experiment en in de derde regel de groeisnelheid over de tweede helft.

Tabel 8.1: groeisnelheden van vetiver gras met een verschillende waterstand

	lage waterstand	hoge waterstand	gemiddelde waterstand
gemiddeld	6,9 cm/ week	6,0 cm/ week	7,3 cm/ week
1 ^{ste} helft	7,5 cm/ week	6,6 cm/ week	7,2 cm/ week
2 ^{de} helft	6,4 cm/ week	5,3 cm/ week	7,5 cm/ week

De waarden zijn weergegeven in centimeters per week, in plaats van in centimeters per dag, om de verschillen tussen de verschillende waterstanden goed te kunnen zien. De gemiddelde waarden van de groeisnelheid liggen rond de één centimeter per dag. Dit is ook terug te vinden in verschillende literatuur. Alleen de plant met de hoge waterstand blijft hierin wat achter. Dit volgt ook uit figuur 8.7, waar goed te zien is dat de cumulatieve lengte achterblijft. De groeisnelheid van de plant met de lage en hoge waterstand neemt in het tweede deel van het experiment af. De groeisnelheid van de plant met de gemiddelde waterstand neemt iets toe.

Een andere maat voor de groei van een vetiver plant is de productie van nieuwe stengels. De nieuwe stengels worden geteld als ze net boven het grondoppervlak verschijnen en zich vervolgens verder ontwikkelen. Doordat de planten tegen het einde van het experiment veel stengels hebben is het ontdekken van de nieuwe stengels wat moeilijker. In onderstaande grafiek is het aantal nieuwe stengels per week aangegeven:



figuur 8.8: aantal nieuwe stengels per week

Uit figuur 8.8 valt op dat de planten met een lage waterstand en een gemiddelde waterstand ongeveer evenveel nieuwe stengels produceren. In de eerste twee weken van het experiment produceert geen van de planten nieuwe stengels. De plant met de hoge waterstand doet er zelfs vier weken over om nieuwe stengels te produceren. Na zes weken produceren alle planten regelmatig nieuwe stengels. Tegen het einde ontstaan er bij de plant met de hoge waterstand wat minder regelmatig nieuwe stengels.

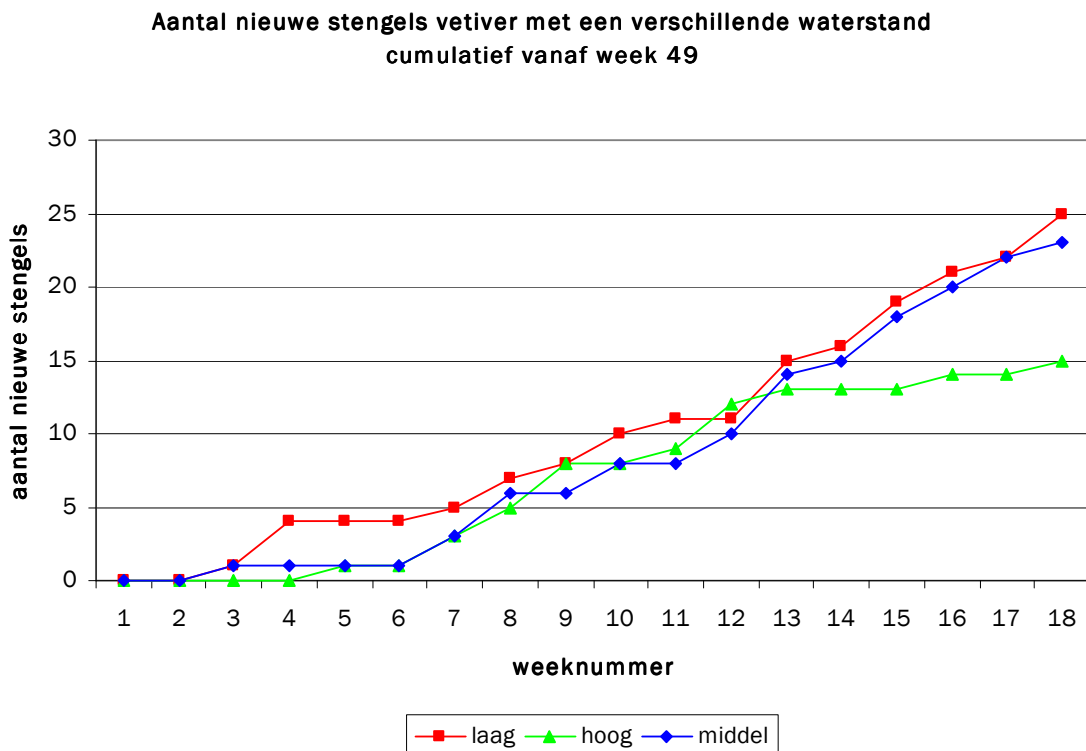
Het totale aantal nieuwe stengels dat gevormd wordt, is in onderstaande tabel weergegeven. Ook het aantal nieuwe stengels in de eerste en tweede helft is gegeven:

Tabel 8.2: aantal nieuwe stengels bij verschillende waterstanden

	lage waterstand	hoge waterstand	gemiddelde waterstand
totaal	25	15	23
1 ^{ste} helft	9	8	6
2 ^{de} helft	16	7	17

In het eerste deel is het verschil in het aantal nieuwe stengels niet groot, de drie planten maken ongeveer evenveel nieuwe stengels. In het tweede deel is er wel een verschil te zien. De planten met een lage en een gemiddelde waterstand maken in het tweede deel van het experiment meer stengels dan in het eerste deel. Bij de plant met de hoge waterstand is dit niet het geval.

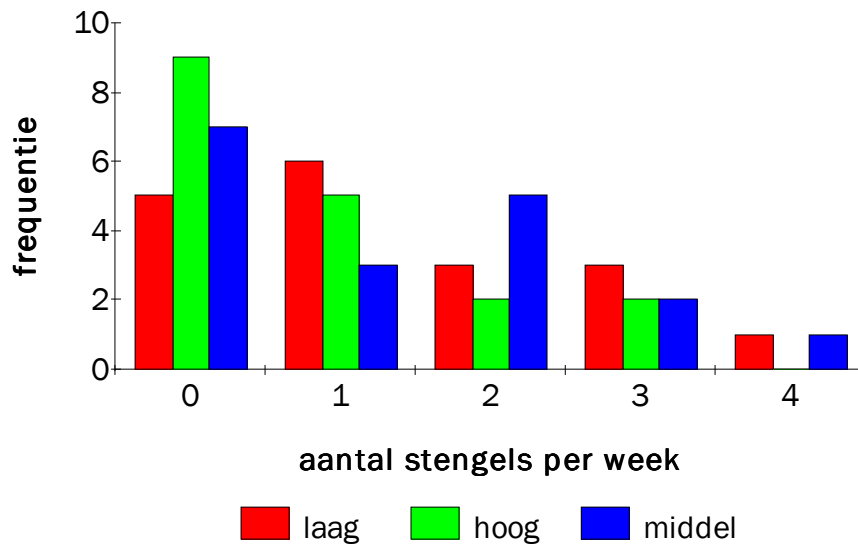
De trend in de productie van nieuwe stengels is beter te zien in een grafiek waarbij het cumulatief aantal nieuwe stengels is uitgezet tegen de datum:



figuur 8.9: aantal nieuwe stengels per week cumulatief

Uit deze grafiek is te zien dat het aantal nieuwe stengels bij een hoge, lage en gemiddelde waterstand in de eerste drie maanden gelijk op gaat. Na ongeveer 13 weken is er een verschil te zien in de productie van de nieuwe stengels. Het aantal nieuwe stengels bij de lage en gemiddelde waterstand neemt ongeveer even snel toe, terwijl de plant met de hoge waterstand in vijf weken tijd nog maar twee nieuwe stengels produceert.

De gegevens uit figuur 8.8 kunnen worden omgezet in een histogram waarbij het aantal nieuwe stengels van vetiver gras wordt uitgezet tegen de frequentie.



figuur 8.10: histogram van het aantal stengels per week

Uit de bovenstaand histogram, figuur 8.10, kan een gemiddelde worden bepaald van het aantal nieuwe stengels die per week ontstaan. Ook kan de mate van spreiding van deze metingen worden bepaald. De manier waarop dat gebeurd is uitgebreid beschreven in bijlage 8, de resultaten zijn hieronder weergegeven:

Tabel 8.3: kenmerkende waarden voor het aantal nieuwe stengels per week

		Lage waterstand	Hoge waterstand	Gemiddelde waterstand
Gemiddelde	μ	1,39	0,83	1,28
Mediaan		1	0,5	1
Variantie	s^2	1,55	1,09	1,62
Standaarddeviatie	σ	1,24	1,04	1,27

De plant met een lage waterstand geeft gemiddeld 1,4 nieuwe stengels per week geproduceerd. Voor de plant met de hoge waterstand zijn dit 0,8 nieuwe stengels en voor een gemiddelde waterstand zijn dit ongeveer 1,3 nieuwe stengels per week. De afwijking ten opzichte van het gemiddelde is bij de planten met een lage en een gemiddelde waterstand groter dan de plant met een hoge waterstand.

In alle gevallen is de mediaan kleiner dan het gemiddelde. Dit betekent dat de curven scheef naar rechts zijn (ze hebben een langere tak aan de rechterkant). Dit is ook te zien in figuur 8.9.

Volgens de literatuur [24] blijkt dat vetiver gras bij een temperatuur van twintig graden gemiddeld één centimeter per dag groeit en één nieuwe stengel per week produceert. Uit tabel 8.1 blijkt dat de groeisnelheid bij dit experiment gemiddeld ook ongeveer één centimeter per dag is. Uit tabel 8.3 is te zien dat het aantal nieuwe stengels dat gemiddeld geproduceerd wordt ongeveer één stengel per week is.

Om de gemeten waarden te vergelijken met de literatuurwaarden wordt er een Chi-kwadraat toets uitgevoerd, zie bijlage 8. Met deze toets wordt bekeken of de uitkomst in overstemming is met de literatuurwaarden bij een overschrijdingskans van 10 %. De resultaten van deze toets zijn:

Tabel 8.4: Chi – kwadraat toets

	χ^2	Voldoet aan overschrijdingskans van 10 %
Lage waterstand	29	Nee
Hoge waterstand	19	Ja
Gemiddelde waterstand	29	Nee

De planten met een lage en een gemiddelde waterstand voldoen niet aan de overschrijdingskans van 10 %. Dit wil zeggen dat de afwijking tussen de gemeten waarden en de waarde uit de literatuur te veel verschillen. Deze grote afwijking wordt veroorzaakt door het onregelmatig vormen van nieuwe stengels. Er mag, als gevolg van deze toets, niet worden gezegd dat er elke week één nieuwe stengel wordt gevormd, de resultaten van de metingen zijn daar niet constant genoeg voor.

8.3.2 Wortels

Na 137 dagen, ongeveer 4,5 maanden, vanaf het begin van het experiment met een verschillende waterstand zijn de wortels van de planten vetiver gras bekeken. Dit is gedaan door de planten uit de bakken te halen en de grond tussen de wortels zoveel mogelijk te verwijderen. Rond de waterlijn maken de wortels een groot aantal kleine zijwortels, de haarwortels. Het oppervlak voor de wateropname wordt daardoor vergroot. Deze haarwortels zitten ongeveer vijf centimeter boven en vijf centimeter onder de waterlijn.

De plant met de lage waterstand maakt de langste wortels. De plant die in een hoge waterstand heeft gestaan heeft de kortste wortels, zoals te zien is in figuur 8.12 en figuur 8.13. De plant met een hoge waterstand heeft wortels gemaakt met een lengte van 40 centimeter. De wortels van de plant met een gemiddelde waterstand hebben een lengte van 85 centimeter (zie figuur 8.14) en die van de plant met een lage waterstand hebben een lengte van 105 centimeter (zie figuur 8.15). Dit is weergegeven in tabel 8.5.

De plant met de lage waterstand heeft wortels gemaakt die over de hele lengte van de bak. De wortels zorgen voor een goede verankering van de grond. Dit is goed te zien in figuur 8.11, hierin is te zien dat de plant zelfstandig (zonder omhulsel) rechtop blijft staan. De grond is zo verstevigd door de wortels dat er geen uitwendige steun meer nodig is.



figuur 8.11: vetiver gras met een lage waterstand, het gras blijft staan zonder steun.

In onderstaande tabel zijn de wortellengtes van de verschillende planten weergegeven. Ook is hierin de afstand tussen het grondoppervlak en de waterstand aangegeven. Het verschil tussen de wortellengte en de afstand tot de waterstand geeft de lengte aan van de wortels onder de waterstand.

Tabel 8.5: overzicht lengte wortels

Waterstand	Lengte tot waterstand [cm]	Max. wortellengte [cm]	Vershil [cm]
Laag	64	105	41
Hoog	3,5	40	36,5
Middel	36,5	85	48,5

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat de planten ongeveer tot vijfendertig tot vijftig centimeter onder de waterlijn nog wortels maken. Deze wortels hebben weinig tot geen zijwortels.



figuur 8.12: wortellengte bij de verschillende waterstanden. Vlnr: hoge waterstand, gemiddelde waterstand en lage waterstand
Waarbij één tegel de afmetingen heeft van 30 bij 30 centimeter.

figuur 8.13: lengte wortels van vetiver gras met een hoge waterstand (lengte 58 cm)



figuur 8.14: lengte wortels van vetiver gras met een gemiddelde waterstand (lengte 85 cm)



figuur 8.15: lengte wortels van vetiver gras met een lage waterstand (lengte 105 cm)

Bij de drie planten is ook nog de worteldichtheid bepaald. Vanaf de onderzijde is om de vijf centimeter het aantal wortels geteld die zich op die afstand bevonden. Het aantal wortels is geteld totdat de kluit wordt omgeven door haarwortels. Het volume van de kluit met wortels is bij alle drie de planten verschillend. Deze waarden zijn omgerekend naar een kluit met de afmetingen van 10 x 10 centimeter. Het resultaat hiervan is te zien in tabel 8.4.

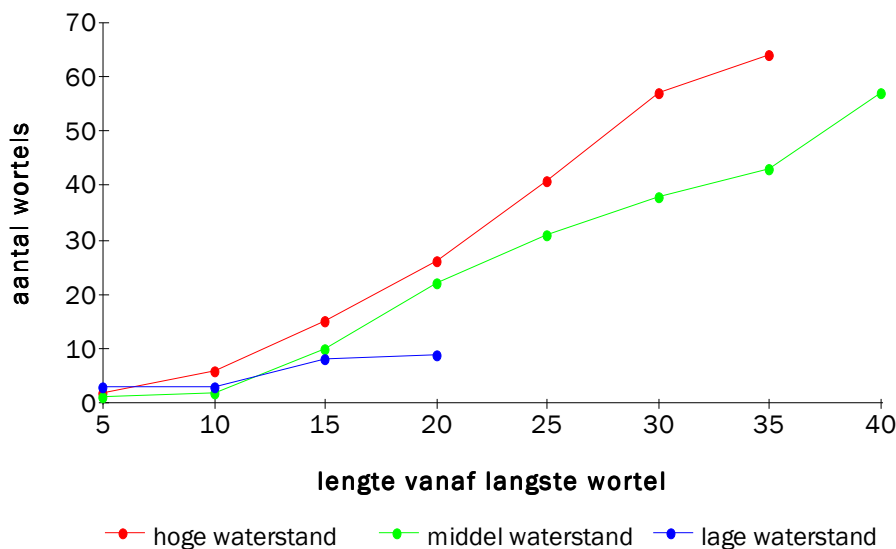
Tabel 8.6: aantal wortels per lengte

Lengte vanaf einde langste wortel [cm]	Gemeten aantal bij hoge waterstand	Omgerekend aantal bij hoge waterstand	Gemeten aantal bij middelste waterstand	Omgerekend aantal bij middelste waterstand	Gemeten aantal bij lage waterstand	Omgerekend aantal bij lage waterstand
*	13 x 11	10 x 10	13 x 17	10 x 10	17 x 14	10 x 10
5	3	2	3	1	6	3
10	9	6	5	2	8	3
15	21	15	23	10	16	8
20	37	26	49	22	21	9
25	59	41	69	31		
30	82	57	84	38		
35	92	64	94	43		
40			127	57		

* afmeting van de kluit in centimeters

De totale lengte van de wortels is respectievelijk 40 centimeter, 85 centimeter en 105 centimeter. Door het dichte wortelsysteem kan niet alle grond tussen de wortels worden verwijderd. Daardoor kan ook niet op alle afstanden het aantal wortels worden gemeten.

Deze tabel is weer te geven in de volgende figuur:



figuur 8.16: aantal wortels per lengte in grafiekvorm bij een kluit van 10 x 10 cm

Uit deze grafiek blijkt dat het aantal wortels van de hoge en de gemiddelde waterstand ongeveer gelijk is vanaf de langste wortel. De metingen met de lage waterstand zijn te weinig om daar een conclusie uit te kunnen trekken.

8.4 Conclusies

In het begin bestond een plant die gebruikt is voor dit experiment uit ongeveer tien stengels, maar niet al deze stengels zijn verder gaan groeien. Een oorzaak hiervoor kan zijn dat tijdens het poten of het splitsen van de plant de wortels beschadigd zijn. De plant waaruit de drie plantjes gehaald zijn, had in het midden al wat afgestorven stengels. Naast deze stengels zijn er geen nieuwe jonge stengels gevormd.

Met het oog is weinig verschil te zien tussen de drie planten, zie figuur 8.4 – 8.6. Bij de plant die een hoge waterstand heeft is de pol iets minder breed dan die van de andere planten. Uit de metingen van de lengte van de bladen blijkt dat in het begin van het experiment de groei van de drie planten gelijk is. Na drie weken blijft de groei van de plant in de hoge waterstand wat achter. De plant met de lage en gemiddelde waterstand groeien ongeveer even snel. In het begin in de groei langzamer dan aan het einde van het experiment. Dit wordt veroorzaakt doordat er regelmatig nieuwe stengels worden gevormd.

De groeisnelheid van de drie planten vetiver gras is bepaald door een gemiddelde te nemen van de acht snelst groeiende stengels, zie tabel 8.1. De plant met de lage waterstand groeit gemiddeld 6,9 centimeter per week, de plant met de hoge waterstand gemiddeld 6,0 centimeter per week en de plant met de gemiddelde waterstand groeit gemiddeld 7,3 centimeter per week. Bij de plant met de lage en de hoge waterstand is de groeisnelheid in het tweede deel van het experiment lager dan in het eerste gedeelte. Bij de plant met de gemiddelde waterstand is dit juist andersom.

Volgens literatuurgegevens [24] is de groei van vetiver planten bij een temperatuur van twintig graden Celsius gemiddeld één centimeter per dag. Dit komt overeen met de gemeten waarden voor de lage en gemiddelde waterstand. De plant met de hoge waterstand blijft hierbij wat achter.

Een andere maat voor de groei van een vetiver plant is de productie van nieuwe stengels. In het begin van het experiment worden er nog weinig nieuwe stengels geproduceerd. De bladen van de plant groeien eerst verder. Na een periode van zes weken ontstaan er regelmatig nieuwe stengels. Tegen het einde van het experiment wordt de productie van nieuwe stengels bij een hoge waterstand minder regelmatig. Het aantal nieuwe stengels dat gemaakt wordt bij de plant met de lage waterstand en de gemiddelde waterstand is bijna even groot. De plant met de lage waterstand maakt gemiddeld 1,4 nieuwe stengels per week en de plant met de gemiddelde waterstand 1,3 nieuwe stengels per week. De plant met de hoge waterstand blijft hierbij ook wat achter en maakt gemiddeld 0,8 nieuwe stengels per week. De plant met de lage en gemiddelde waterstand maakt in het tweede deel van het experiment meer stengels dan in het eerste gedeelte.

Het aantal nieuwe stengels bedraagt volgens de literatuur [24] bij een temperatuur van twintig graden Celsius gemiddeld één nieuwe stengel per week. De planten met de lage en gemiddelde waterstand maken iets meer nieuwe stengels dan deze literatuurwaarde. De plant met de hoge waterstand produceert iets minder nieuwe stengels. Uit de Chi-kwadraat toets blijkt dat er niet zo maar mag worden gezegd dat er één nieuwe stengel per week wordt gevormd. Bij een lage en gemiddelde waterstand is de afwijking meer dan 10 %. Deze grote afwijking wordt veroorzaakt door de onregelmatige vorming van de nieuwe stengels.

Het verschil tussen de verschillende waterstanden is duidelijk terug te vinden in de lengte van de wortels. De plant met de lage waterstand maakt de langste wortels. Deze lengte neemt af bij hogere waterstanden. De planten maken wortels die 35 tot 50 centimeter dieper zijn dan de waterstand.

De wortels van het gras zorgen voor een versteviging van de grond. De grond wordt zover verstevigd dat de grond zonder verticale steun blijft staan, zie ook figuur 8.11.

Wanneer een vetiver plant voornamelijk gebruikt wordt om de grond te verstevigen door de lange en stevige wortels moet ervoor worden gezorgd dat de waterstand niet te hoog ligt. Door een hoge waterstand worden de wortels niet veel langer dan 40 centimeter onder het waterniveau en zal de plant niet echt zorgen voor een versteviging van de grond. Bij een diepe grondwaterstand is vetiver daarentegen geschikt om te worden gebruikt bij het verstevigen van de grond. Door het dichte netwerk van de wortels wordt de grond zo verstevigd dat deze zonder steun kan blijven staan.

8.5 Aanbevelingen

In deze drie gevallen die bij dit experiment zijn onderzocht, groeien de wortels ongeveer veertig centimeter verder dan het waterniveau. Of dit altijd het geval is, kan met meer experimenten met een verschillende waterstand worden onderzocht.

De groei van een vetiver plant met een waterstand tot de grondoppervlakte neemt in de loop van de tijd af. Of de afname van de groei van de stengels en bladen zich doorzet, kan worden onderzocht door het experiment met een hoge waterstand langer door te zetten.

Van de drie planten is de worteldichtheid gemeten. Deze waarden van de hoge en gemiddelde waterstand komen ongeveer overeen. De metingen van de lage waterstand zijn te beperkt om een conclusie uit te halen. Of dit verband tussen het aantal wortels en de afstand vanaf de langste wortel in het algemeen geldt kan worden onderzocht door meer experimenten uit te voeren.

9

De invloed van zout op de groei van vetiver gras

9.1 Inleiding

Of vetiver gras ook op zeedijken kan worden toegepast hangt af van de zouttolerantie van het gras. In dit hoofdstuk wordt deze tolerantie onderzocht.

In Vietnam is vetiver gras al eens toegepast op een zeedijk om de stabiliteit te vergroten. Tijdens vloed raakte het water soms de onderste twee rijen van het gras. De rijen die niet worden geraakt door het zoute water groeien uitstekend. De planten die wel worden beïnvloed door het zoute water overleven het wel, maar de groei is gereduceerd [62].

Het zoutgehalte wordt gedefinieerd als de totale hoeveelheid van opgeloste stof in één kilo zeewater. De gemiddelde waarde van de zoutconcentratie van het zeewater is ongeveer 35 PSU. PSU staat voor Practical Salinity Units en staat gelijk aan het bekendere promille (‰). Het meten van de zoutconcentratie gebeurt met een geleidbaarheidsmeter in Siemens per meter (S/m), dit is gelijk aan 10 millisiemens per centimeter (mS/cm). De geleidbaarheid is afhankelijk van de temperatuur en de hoeveelheid zout. Als er meer zouten in oplossing zijn, wordt de elektrische geleidbaarheid hoger. Een geleidbaarheid van 1 dS/m staat ongeveer gelijk aan 640 à 700 ppm (parts per million = het aantal deeltjes) en dit is weer gelijk aan het aantal milligram per liter. De dichtheid, geleidbaarheid en saliniteit hebben een vaste verhouding met elkaar. Deze verhouding is in een tabel weergegeven die in bijlage 3 opgenomen is [43].

De zoutconcentratie van het water is te onderscheiden in drie gebieden [3]:

- zoet water met een chloride gehalte van minder dan 1000 mg/l (< 1 PSU)
- brak water met een chloride gehalte tussen de 1000 tot 10.000 mg/l (> 1 PSU, < 10 PSU)
- zout water met een chloride gehalte van meer dan 10.000 mg/l (> 10 PSU)

In Australië zijn verschillende experimenten gedaan naar de zouttolerantie van vetiver gras. Deze experimenten zijn in kassen gedaan en tevens in het veld. De doelen van deze experimenten waren het bepalen van de zouttolerantie van vetiver in vergelijking met andere grassen, het bepalen van de effecten van ondiep zout grondwater op de groei van vetiver en het bepalen van het niveau waarop giftige reacties optreden en de waarnemingen beschrijven.

Voor deze experimenten werden de planten blootgesteld aan verschillende zoutconcentraties. De planten werden elke dag met zout water besproeid. Er viel op dat ook al waren de potten goed gedraineerd, het zout zich ophoopte in de bovenste laag van de grond. Hier heeft vetiver niet veel last van, omdat de plant lange verticale wortels maakt [24, 50].

Het zoutgehalte wat de planten toegediend kregen is gemeten in elektrische geleidbaarheid bij een temperatuur van 25 graden. De geleidbaarheid lag tussen de 4 en 18 mS/cm, wat gelijk staat aan 3 tot 10 PSU.

De conclusie van deze experimenten in Australië was dat vetiver een hoog tolerantieniveau heeft voor zout water en vooral bij bestaande planten. Het kritieke zoutgehalte (zoutgehalte waarbij de eerste tekenen van het zout zichtbaar worden) van vetiver bedraagt 8 dS/m wat gelijk staat aan 7 PSU. En bij een zoutgehalte van 20 dS/m treedt er 50% reductie op. Vetiver kan worden gebruikt in gronden met een zoutgehalte van 4 – 8 dS/m (middelzout) en in 8 – 16 dS/m (erg zout) [25].

Kleine hoeveelheden zout zijn niet schadelijk voor planten, ze hebben het zelfs nodig om te groeien. Bij een te hoog zoutgehalte treden er veranderingen op bij de plant. De plant krijgt het water, wat nodig is voor de fotosynthese binnen door het proces van osmose, zie bijlage 9. Wanneer de zoutconcentratie van het water uit de omgeving hoog is, zal het proces in omgekeerde richting plaatsvinden. Er wordt dan water uit de plant gezogen en de groei van de plant wordt eerst geremd en vervolgens zal de plant verwelken. Wanneer een plant al een tijd in de grond staat is zijn gevoeligheid voor het zoute water minder groot. De symptomen van giftigheid verschijnen het eerst bij de jonge scheuten [8]. De zouten die in het water zitten kunnen niet verdampen en blijven op de bladen achter. Hierdoor kunnen de bladen verbranden.

Dat de planten last hebben van het hoge zoutgehalte komt naar voren in de volgende tekenen [27]:

- De groei van de plant wordt vertraagd;
- De plant heeft minder kiemkracht en minder kracht om zich in de grond te vestigen;
- De plant is minder stevig en de plant zal niet helemaal volgroeien;
- De bladen worden kleiner dan die van planten die niet in het zoute water staan;
- De bladen krijgen een blauwgroenachtige kleur in plaats van een heldere groene kleur;
- Op de toppen van de bladen krijgen een verbrand verschijnsel te zien. Vervolgens wordt het hele blad bleekzuchtig en droogt uit.

De laatste kenmerken zijn het duidelijkst om te zien, maar op dat moment is het te laat voor de plant en zal de plant niet overleven.

Voor elke plant is de tolerantie voor het zout verschillend. Elke hoeveelheid zout zal de plant beïnvloeden, maar groei- en opbrengstvermindering minder dan 10% is moeilijk te herkennen. In de onderstaande tabel is de mate van zouttolerantie bij planten weergegeven:

Tabel 9.1: reactie van planten op het zoutgehalte [27]

Saliniteit (dS/m)	PSU (promille)	reactie
0 – 2	0 – 1,3	Te negeren
2 – 4	1,3 – 2,7	De groei van gevoelige planten verminderd
4 – 8	2,7 – 5,6	De groei van veel planten verminderd
8 – 16	5,6 – 11,8	Alleen tolerante planten groeien bevredigend
> 16	> 11,8	Enkele, zeer tolerante planten groeien bevredigend

De tolerantie van zout water kan worden verhoogd door de planten in de lente te planten, wanneer het hoge water, met een hoge zoutconcentratie, geweest is.

9.2 Opstelling

De opstelling van dit experiment is voor een groot deel gelijk aan het experiment met de verschillende waterstand, zie hoofdstuk 8. Voor dit experiment is ook weer gebruik gemaakt van een grote vetiver plant die in drie stukken verdeeld is. Het verdelen van de plant is gebeurd met de hulp van een schop, omdat de wortels een dicht netwerk hebben gemaakt. De lengte van de bladen is ingekort tot dertig centimeter en de wortels tot ongeveer vijftientig centimeter, zie figuur 9.1. Deze plantjes zijn in een plastic buis met een diameter van dertig centimeter en een hoogte van vijftig centimeter geplant. Onderaan deze buis is een deksel aan de buis vastgeschroefd. Deze buis is in een buis met een diameter van vijftig centimeter geplaatst. Aan de onderzijde van deze buis is een deksel vastgelijmd. Tussen deze buizen staat het water met de eventuele zoutconcentratie. In de buitenste buis is halverwege een gat gemaakt waar het water uit kan stromen. De waterstand kan op die manier nooit hoger worden dan halverwege de buis. Het water stroomt naar een emmer, waaruit het weer terug naar de buis wordt gepompt. Zo is er altijd voldoende water voor de vetiver plantjes. Vetiver gras verbruikt water om te groeien. Hierdoor moeten de emmers regelmatig worden bijgevuld met water en zout. Een foto van de opstelling is gegeven in figuur 9.2.



figuur 9.1: vetiver gras voor het experiment



figuur 9.2: opstelling van vetiver gras met verschillende zoutconcentraties

Er is voor de experimenten gekozen om drie verschillende concentraties zout te onderzoeken. Een referentieconcentratie van 0 ‰. Eén concentratie in het brakke gebied en één in een echte zoute omgeving. De concentratie in het water wordt de hele tijd van het experiment ongeveer constant gehouden. In de bakken zit een hoeveelheid van 60 liter, dat ongeveer gelijkstaat aan 60 kilo water. In de bak met het brakke water is een hoeveelheid van 560 gram zout toegevoegd, wat een concentratie van 9,2 ‰ is. In de bak met het zoute water is een hoeveelheid van 2200 gram zout toegevoegd, een concentratie van 35,4 ‰. Zie ook tabel 9.2.

Tabel 9.2: zoutgehalte in de opstelling

Nummer bak	Hoeveelheid water [kg]	Hoeveelheid zout [kg]	Totaal gewicht [kg]	Berekening	Zoutgehalte [‰]	Geleidbaarheid [dS/m]
4 (links)	60	0	60	0/60	0	0
5 (midden)	60	0,56	60,56	0,56/60,56	9,2	13
6 (rechts)	60	2,2	62,2	2,2/62,2	35,4	43

In het vervolg van dit hoofdstuk worden de drie zoutconcentratie aangeduid met 0 ‰, 9 ‰ en 35 ‰.

Het zout wat voor dit experiment is gebruikt is het gewone keukenzout met de chemische formule NaCl (natriumchloride). Dit gebruikte zout is natuurlijk zeezout uit het zuiden van Spanje.

De oplosbaarheid van keukenzout (NaCl) is 0,359 kg/ kg water [6]. Er kan in een bak met 60 kg water dus $0,359 \cdot 60 = 21,54$ kg zout in het water worden opgelost. De hoeveelheid keukenzout die in dit experiment aan water toegevoegd wordt lost dus geheel op.

9.3 Resultaten

Op de volgende drie pagina's is de groei van vetiver gras op foto's weergegeven met een tussentijd van drieënhalve week. In bijlage 4 is het hele foto overzicht terug te vinden. In deze bijlage worden ook de meetresultaten gegeven.

Vetiver gras met een zoutgehalte van 0 ‰



dag 11



dag 36



dag 59



dag 84



dag 108



dag 130

figuur 9.3: vetiver gras met een zoutgehalte van 0‰

Vetiver gras met een zoutgehalte van 9 ‰



dag 11



dag 36



dag 59



dag 84



dag 108



dag 130

figuur 9.4: vetiver gras met een zoutgehalte van 9 ‰

Vetiver gras met een zoutgehalte van 35 ‰



dag 11



dag 36



dag 59



dag 84



dag 108

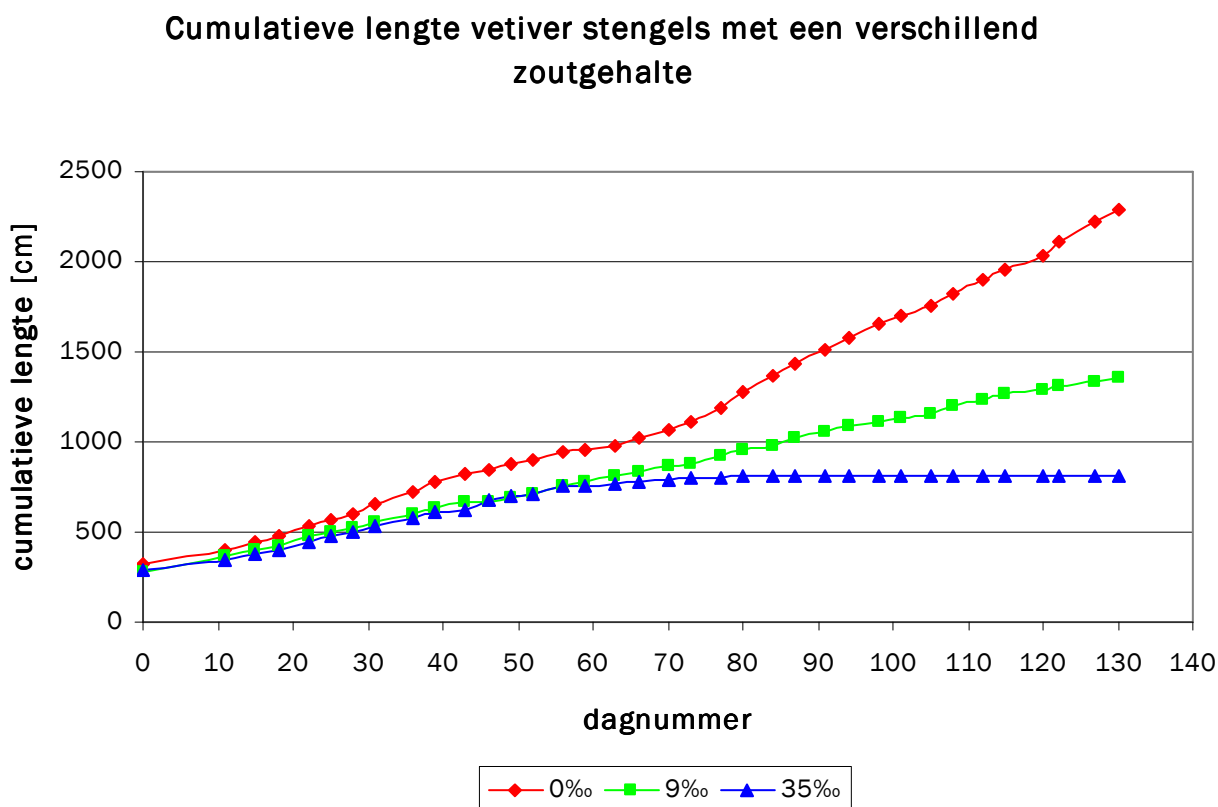


dag 130

figuur 9.5: vetiver gras met een zoutgehalte van 35‰

Op de foto's, figuur 9.3 t/m 9.5, is de reactie van vetiver gras op de verschillende zoutgehaltes goed te zien. Het gras met 9 ‰ heeft aan het einde van het experiment minder stengels dan het gras zonder toegevoegd zout, maar het sterft niet af. Het verdrogen van de plant met het hoogste zoutgehalte gaat langzaam, wat ook in figuur 9.5 goed te zien is. Wat het eerste opvalt, is dat er minder nieuwe stengels worden gemaakt en dat de stengels ook minder lang worden en vervolgens slap gaan hangen.

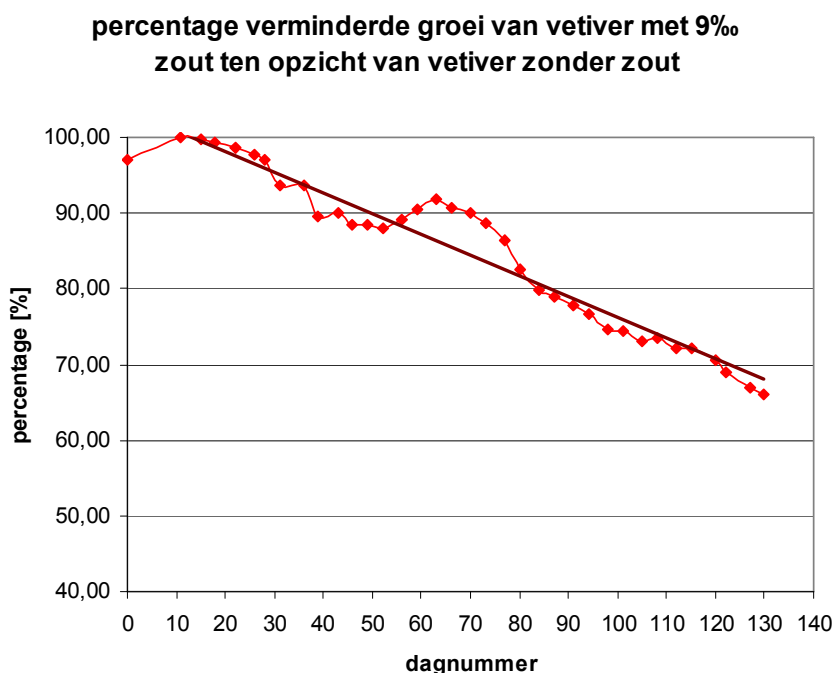
De groei van de stengels kan worden gemeten aan de lengte van de stengels en het aantal nieuwe stengels dat geproduceerd is. De stengels van het gras bestaan uit verschillende bladen. Van elke stengel is het langste blad opgemeten en van alle stengels zijn deze waarden bij elkaar opgeteld en dit leidt tot onderstaande grafiek, waarin de cumulatieve lengte van de stengels is uitgezet tegen het dagnummer. De aparte waarden zijn vermeld in bijlage 4.



figuur 9.6: grafiek van de cumulatieve lengte van de stengels met een verschillend zoutgehalte

In deze grafiek is goed te zien dat in de eerste twee maanden (ongeveer 60 dagen) de groei van vetiver met de beide zoutgehaltes gelijk opgaat en het gras zonder zout iets sneller groeit. Na iets meer dan twee maanden neemt de groei van vetiver zonder zout toe en blijft het gras met een zoutgehalte van 9 ‰ met dezelfde snelheid doorgroeien. Het gras met het zoutgehalte van 35 ‰ stopt na twee maanden met groeien. De kleur van de bladen begint eerst te veranderen van groen naar grijsgroen en de bladen krijgen verbrande puntjes (zoutnecrose). Vervolgens beginnen de bladen te verdrogen en wordt het bladoppervlak steeds geler.

De opbrengst van de plant in het brakke water neemt langzaam af ten opzichte van de plant in het brakke water. Deze afname wordt in percentages uitgedrukt ten opzichte van de meting op dag 11. De resultaten zijn in onderstaande figuur weergegeven:



figuur 9.7: het verschil in groei tussen de plant in zout en brak water

Het verschil in opbrengst tussen de planten met 9 ‰ zout en zonder zout bedraagt na ongeveer 130 dagen (ongeveer 4,5 maanden) 65 %. Aan de lijn in deze grafiek te zien zal de daling doorzetten.

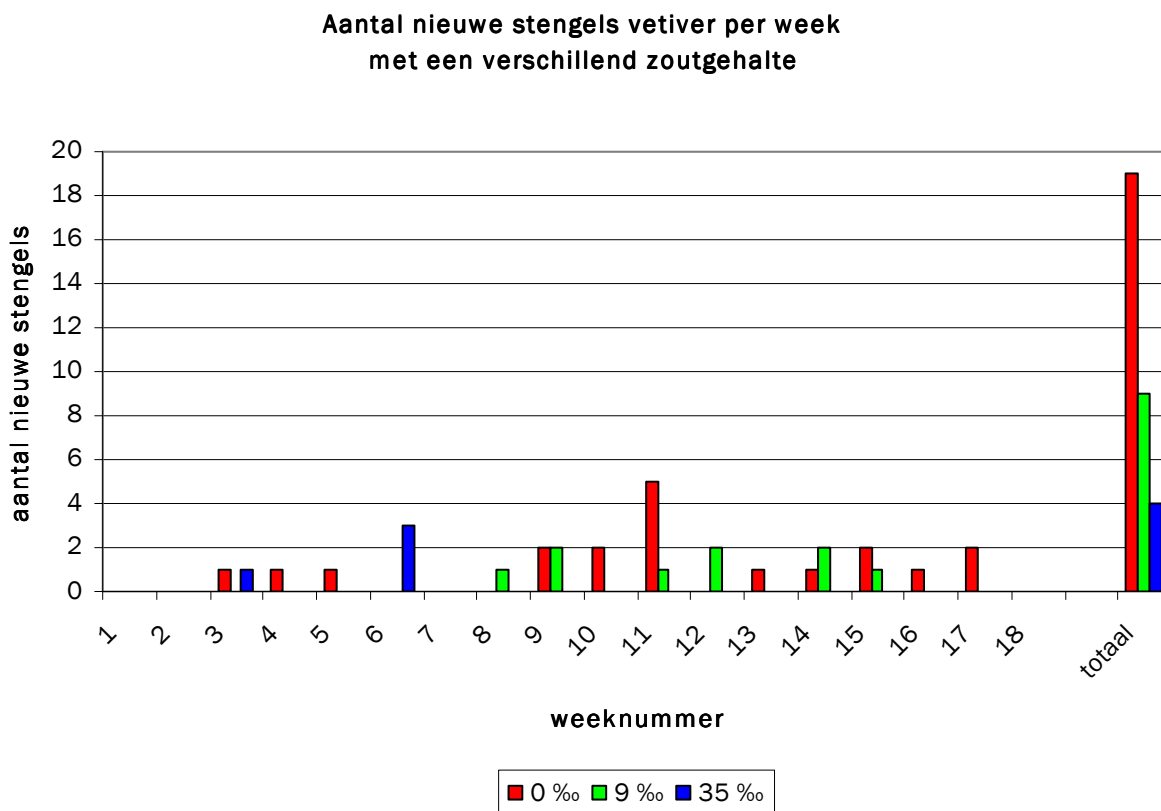
Uit de metingen van de lengte van de stengels kan, net als bij de planten met een verschillende waterstand, de gemiddelde groeisnelheid van de stengels worden bepaald. Deze groeisnelheid wordt bepaald door een gemiddelde te nemen van de groei van de acht langste stengels en deze te delen door de totale tijdsduur van het experiment, 18 weken. In de onderstaande tabel is in de eerste regel de gemiddelde groeisnelheid over de hele periode te zien. In de tweede regel staat de groeisnelheid over de eerste helft van het experiment en in de derde regel de groeisnelheid over de tweede helft.

Tabel 9.3: groeisnelheden van vetiver gras met een verschillend zoutgehalte

	0 ‰	9 ‰	35 ‰
gemiddeld	6,8 cm/ week	5,5 cm/ week	3,4 cm/ week
1 ^{ste} helft	7,9 cm/ week	7,3 cm/ week	6,4 cm/ week
2 ^{de} helft	5,8 cm/ week	3,7 cm/ week	0,3 cm/ week

Het verschil in groei tussen de plantjes met een verschillend zoutgehalte is in de tabel duidelijk te zien, vooral in de tweede helft van het experiment. In de eerste helft is de snelheid nog ongeveer één centimeter per dag, maar deze neemt in alledrie de gevallen af. Bij de hoogste zoutconcentratie wordt de groeisnelheid na twee maanden nul.

De andere maat om de groei van het gras te meten is het tellen van het aantal nieuwe stengels. Deze stengels worden geteld wanneer ze net boven de grond uitkomen en zich ontwikkelen tot grotere stengels. Het aantal nieuwe stengels is weergegeven in onderstaande grafiek.

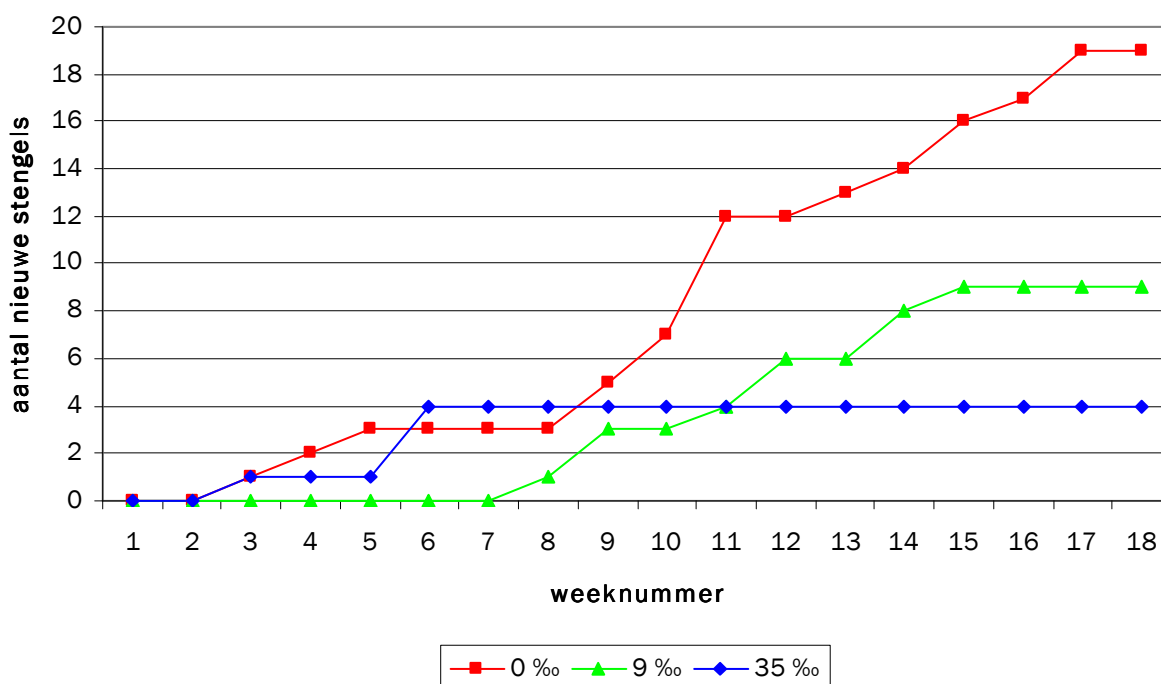


figuur 9.8: aantal nieuwe stengels per week

In deze grafiek is het aantal nieuwe stengels per week uitgezet. In deze grafiek is goed het verschil te zien tussen de verschillende zoutgehaltenes. De plant zonder zout heeft in 18 weken tijd 19 nieuwe stengels gemaakt. De plant met 9 ‰ zout maar negen en de plant met 35 ‰ maar vier nieuwe stengels. De plant met het hoogste zoutgehalte heeft alleen in het begin nieuwe stengels geproduceerd. De plant zonder zout heeft vrij regelmatig nieuwe stengels gemaakt en dat geldt ook in zekere mate voor de plant met 9 ‰ zout.

De waarden uit figuur 9.8 kunnen ook cumulatief in een grafiek worden weergegeven. Al de nieuwe stengels worden bij elkaar opgeteld, zodat de verschillen duidelijk zichtbaar zijn.

**Aantal nieuwe stengels vetiver met een verschillend zoutgehalte
cumulatief vanaf week 49**



figuur 9.9: aantal nieuwe stengels per week cumulatief

In deze grafiek is duidelijk te zien dat het gras in het hoogste zoutgehalte na zes weken geen nieuwe stengels maakt. Ook is goed te zien dat het gras in de brakke omgeving pas na zeven weken een nieuwe stengel maakt. Het gras zonder zout maakt na ongeveer acht weken regelmatig nieuwe stengels.

De groei van de stengels van vetiver gras is volgens [24] bij een temperatuur van twintig graden ongeveer één centimeter per dag en één nieuwe stengel per week. Uit tabel 9.5 blijkt dat dit ook opgaat voor de plant die in het zoete water staat. Voor de planten in het zoute water neemt de groeisnelheid af als het zoutgehalte toeneemt. In tabel 9.5 is te zien dat vetiver in het zoete water één nieuwe stengel per week produceert. De planten in het zoute water maken minder nieuwe stengels bij toenemend zoutgehalte.

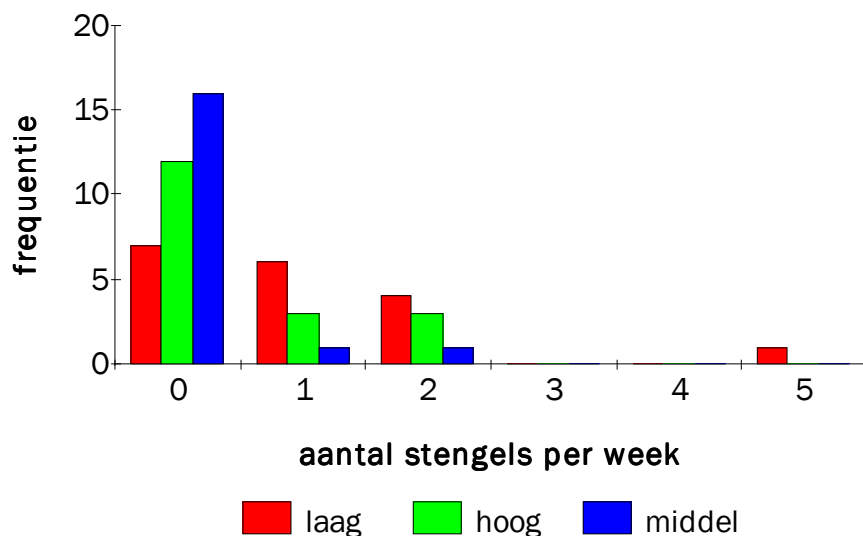
In de onderstaande tabel wordt het totale aantal nieuwe stengels weergegeven. In deze tabel is ook onderscheid gemaakt met het aantal stengels dat in het eerste deel en in het tweede deel van het experiment gevormd is.

Tabel 9.4: het aantal nieuwe stengels die zijn gevormd

	0 ‰	9 ‰	35 ‰
totaal	19	9	4
1 ^{ste} helft	5	3	4
2 ^{de} helft	14	6	0

Uit deze tabel is te zien dat de plant in zoutconcentraties van 0 ‰ en 9 ‰ in het tweede deel van het experiment meer stengels produceert dan in het eerste deel. De plant in het water met 35 ‰ zout maakt in het tweede deel geen enkele nieuwe stengel meer.

De gegevens uit figuur 9.8 kunnen worden omgezet in een histogram waarbij het aantal nieuwe stengels van vetiver gras wordt uitgezet tegen de frequentie.



figuur 9.10: histogram van het aantal stengels per week

Uit de bovenstaande grafiek, figuur 9.10, kan een gemiddelde worden bepaald van het aantal nieuwe stengels die per week ontstaan. Ook kan de mate van spreiding van deze metingen worden bepaald. De manier waarop dat gebeurt is, toegelicht met een voorbeeld, beschreven in bijlage 8, de resultaten zijn hieronder weergegeven:

Tabel 9.5: kenmerkende waarden voor het aantal nieuwe stengels per week

		0 ‰	9 ‰	35 ‰
Gemiddelde	μ	1,06	0,5	0,22
Mediaan		1	0	0
Variantie	s^2	1,59	0,62	0,54
Standaarddeviatie	σ	1,26	0,79	0,73

De plant die in het zoete water staat heeft gemiddeld één nieuwe stengel per week geproduceerd. De plant in het brakke water heeft gemiddeld één nieuwe stengel in de twee weken geproduceerd en de plant in het zoute water maakt gemiddeld één nieuwe stengel per 4,5 weken. De laatste waarde is vertekend omdat na een periode van zeven weken geen nieuwe stengels meer worden geproduceerd.

In alle gevallen is de mediaan kleiner dan het gemiddelde. Dit betekent dat de curven scheef naar rechts zijn. Dit is ook te zien in figuur 9.10.

Om de gemeten waarden te vergelijken met de literatuurwaarden wordt er een Chi-kwadraat toets uitgevoerd, zie bijlage 8. Met deze toets wordt bekeken of de uitkomst in overstemming is met de literatuurwaarden en de resultaten binnen een overschrijdingskans van 10 % vallen. De resultaten van deze toets zijn:

Tabel 9.6: Chi – kwadraat toets

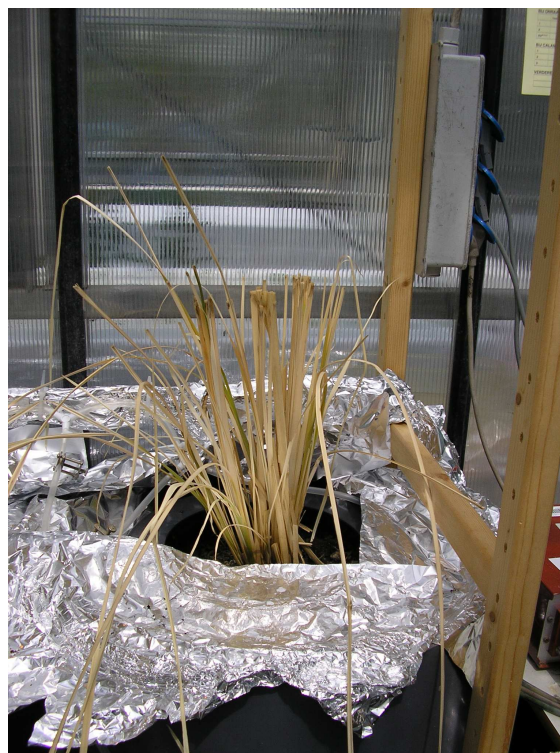
	χ^2	Voldoet aan overschrijdingskans van 10 %
0 ‰	27	Nee
9 ‰	16	Ja
35 ‰	20	Ja

De plant die in het zoete water staat voldoet niet aan de overschrijdingskans van 10 %. Dit wordt veroorzaakt door de onregelmatige vorming van nieuwe stengels. Het gevolg van deze toets is dat niet gezegd mag worden dat er elke week één nieuwe stengel wordt gevormd. Dit wordt veroorzaakt door de onregelmatige vorming van nieuwe stengels. De planten met een zoutgehalte van 9 ‰ en 35 ‰ voldoen wel aan deze overschrijdingskans. Hoewel dit resultaat voor de plant in 35 ‰ zout wat dubieus is. Na een periode van zes weken worden er bij deze plant geen nieuwe stengels meer gevormd. Wanneer de Chi-kwadraat toets wordt uitgevoerd tot een periode van zes weken, is het resultaat van χ^2 : 8. Met de tabel in bijlage 8 blijkt dat deze voldoet aan de overschrijdingskans van 10 %

9.4 Conclusies

In dit experiment is gekeken wat de invloed van zout is op de groei van vetiver gras. Hiervoor is een grote plant in drie ongeveer gelijke stukken verdeeld. Deze planten zijn blootgesteld aan zoet, brak en zout water. De plant in het zoete water is gebruikt als referentieplant. Op de foto's in figuur 9.3 – 9.5 is het effect van het zout op de planten goed te zien. De plant in het brakke water (9 ‰) heeft aan het einde van het experiment een omvang die ongeveer de helft is van de plant in het zoete water. De plant in het zoute water (35 ‰) sterft geleidelijk af.

In figuur 9.6 is de groei van de stengels weergegeven. In het begin van het experiment gaat de groei van de drie planten gelijk op. Na drie weken is er vermindering te zien van de groei van de planten in het zoute water. De groei van de planten in het brakke en zoute water gaat gelijk op tot ongeveer acht weken na het begin van het experiment. Na deze tijd groeit het gras in het zoute water niet meer en sterft langzaam af. Na een periode van ongeveer een half jaar is het gras geheel afgestorven, zie figuur 9.11.



figuur 9.11: afgestorven vetiver in 35 ‰

De invloed van het zout is te zien in een vertraging van de groei, ook is de plant minder stevig en de plant zal minder vol groeien, zie paragraaf 9.1. Deze kenmerken zijn ook terug te zien in de planten met 9 ‰ en 35 ‰. Een andere invloed van het zout is dat de diameter van de bladen minder is dan die van de plant in het zoete water, zie figuur 9.12. Deze foto's zijn gemaakt op een afstand van twintig centimeter van het topje van het blad.

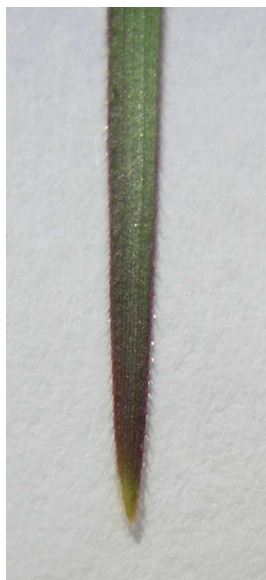


figuur 9.12: breedte van respectievelijk de plant met 0 ‰ (3mm) en 35 ‰ (2,5 mm)

Onder invloed van het zout krijgen de bladen een blauwgroenachtige kleur, te zien in onderstaande figuur.



figuur 9.13: kleurverschil tussen planten 0‰ (links) en 9‰ (rechts)



Bij een grote concentratie zout is er sprake van zoutnecrose, een verbrand uitziend topje van een blad.

Het slap hangen van de bladen ontstaat doordat het water uit de vacuole (zie bijlage 9) van de cellen van de bladen verdwijnt. Dit water verdwijnt doordat er nog steeds verdamping optreedt en het water wordt door de hogere zoutconcentratie van het omliggende water uit de plant gezogen door het proces van osmose (zie bijlage 9). Er zal dus geen water meer in de cellen van de plant terecht komen terwijl er nog steeds water verdwijnt. Doordat het water uit de cellen wordt gezogen neemt de druk van de vacuole tegen de celwand af en verliezen de cellen hun stevigheid.

figuur 9.14: zoutnecrose van vetiver gras met het hoogste zoutgehalte

De groeisnelheid van de planten is bepaald door een gemiddelde te nemen van de acht snelst groeiende stengels. Voor de plant in het zoete water is deze groeisnelheid 6,8 centimeter per week. In het brakke water is deze groeisnelheid 5,5 centimeter per week en voor het zoute water is deze snelheid gemiddeld over de hele periode 3,4 centimeter per week. Bij alle drie de planten is de groeisnelheid in het tweede deel van het experiment minder dan die in het eerste deel. Uit [98] blijkt vetiver gras een groeisnelheid bij twintig graden Celsius te hebben van één centimeter per dag. De groeisnelheid van de plant in het zoete water komt hiermee overeen. De plant in het brakke water heeft een groeisnelheid die beduidend lager is.

Een andere maat voor de groei van vetiver gras is het aantal nieuwe stengels dat geproduceerd wordt. De vorming van nieuwe stengels is onregelmatig. Gemiddeld over de hele periode maakt het gras in het zoete water één nieuwe stengel per week, de plant in het brakke water maakt één stengel in de twee weken en de plant in het zoute water heeft in totaal maar vier nieuwe stengels gemaakt. Volgens de literatuur [24] wordt er één nieuwe stengel per week geproduceerd. Alleen de plant in het zoete water is hiermee te vergelijken.

De opbrengstvermindering van vetiver met een zoutgehalte van 9 ‰ is weergegeven in figuur 9.7. In de loop van de tijd neemt het de productie van het aantal nieuwe stengels en lengte van de bladen af. In de literatuur [25] blijkt dat bij een geleidbaarheid van 17 – 20 dS/m de opbrengst 50 % is. Deze geleidbaarheid staat gelijk aan ongeveer 10 -12 ‰. De metingen die gedaan zijn tonen na 4,5 maand een vermindering aan van ongeveer 65 % bij een zoutgehalte van 9 ‰. Deze waarde klopt redelijk.

Uit dit experiment blijkt dat vetiver gras niet geschikt is om op zeedijken te plaatsen waarvan de berm continu in het zoute water ligt. Op deze plaatsen sterft het gras langzaam af en kan het zijn functie niet vervullen. In een brakke omgeving kan vetiver gras wel worden toegepast. Het gras blijft in leven en kan zijn functie vervullen. Het gras groeit minder snel en produceert minder stengels. Het duurt daardoor langer voordat een haag volgroeit is.

9.5 Aanbevelingen

In dit experiment is uitgegaan van een constante zoutconcentratie. Wanneer vetiver gras op een dijk staat zal het als gevolg van eb en vloed te maken krijgen met verschillende zoutconcentraties en kan er door een zoute wind ook zout op de bladen komen. Of de groei van vetiver gras wordt beïnvloed door het zout op de bladen kan in een vervolg experiment worden onderzocht.

De grafiek met de opbrengst van vetiver gras met een zoutgehalte van 9 ‰ vergeleken met een zoutgehalte van 0 ‰ heeft nog geen eindpunt bereikt. Om te onderzoeken of het verschil tussen de beide zoutgehalten op den duur constant wordt, zal het experiment langer doorgezet moeten worden.

10

De invloed van zout op *Cyperus rotundus*

10.1 Inleiding

Om te bepalen of *Cyperus rotundus* als dijkbekleding op een zeedijk geschikt is, zal er gekeken moeten worden of *Cyperus rotundus* bestand is tegen zout water. In de literatuur is hierover niets geschreven. In dit hoofdstuk wordt de invloed van het zout op het *Cyperus rotundus* bekeken.

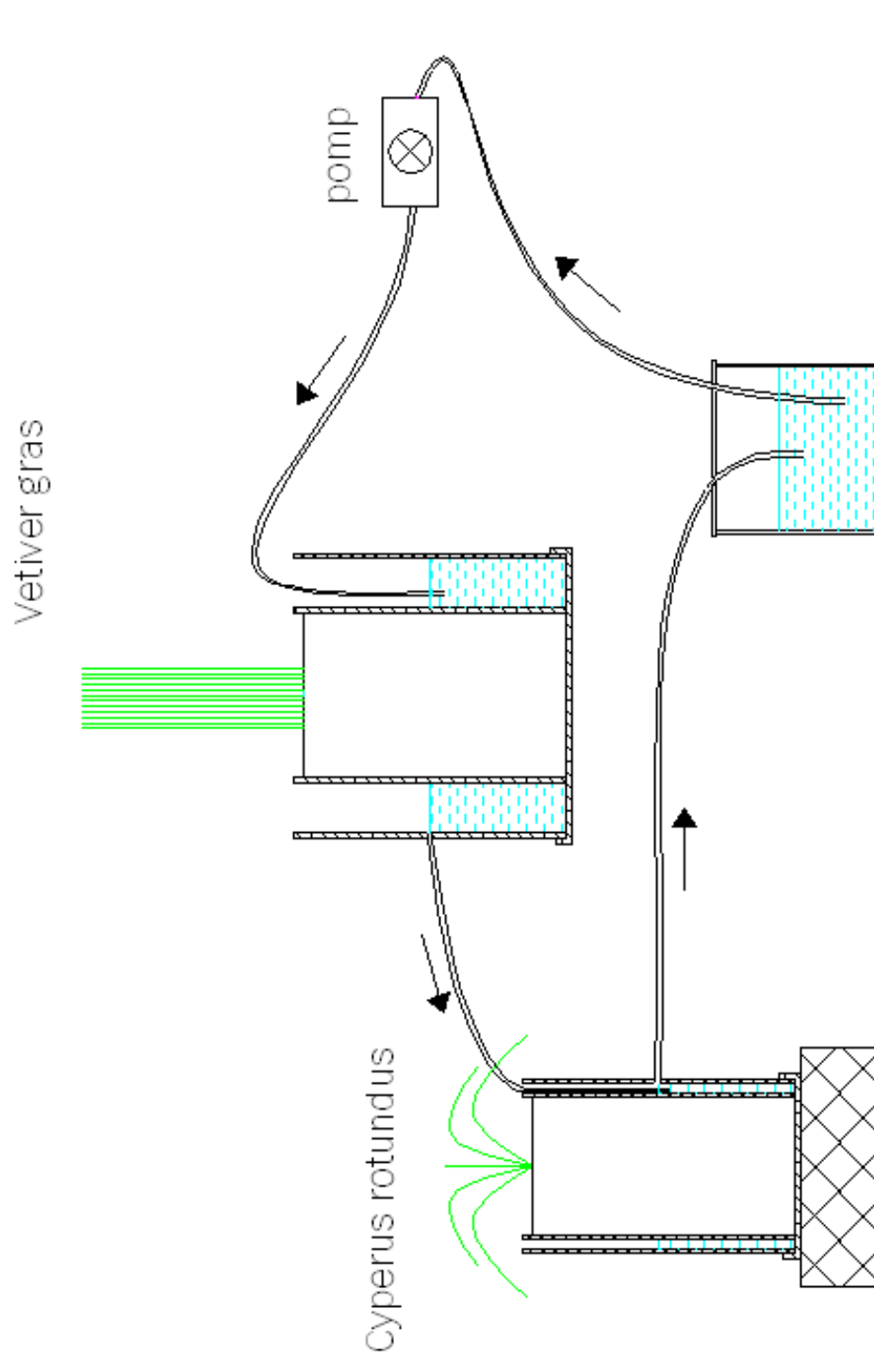
10.2 Opstelling

Dit experiment wordt uitgevoerd door het experiment met vetiver gras in verschillende zoutconcentraties (zie hoofdstuk 9) uit te breiden. *Cyperus rotundus* wordt in een plastic buis met een diameter van vijftientig centimeter en een hoogte van vijftig centimeter gezet. Deze buizen zijn in een grotere buis met een diameter van dertig centimeter geplaatst. In deze buizen komt het water uit de buis met vetiver gras terecht, zie ook de schematische weergave in figuur 10.2. Halverwege de grootste buis met *Cyperus rotundus* is er een gat gemaakt waardoor het water in een emmer terecht komt. Dit water wordt weer naar de buis met vetiver gras gepompt en zo gaat het water door de opstelling heen. De concentraties zout waar *Cyperus rotundus* in staan zijn hierdoor gelijk aan die van vetiver gras. Een referentie bak met een concentratie van 0 ‰, een bak met 9,2 ‰ en een bak met 35,4 ‰.



Voor dit experiment is gekeken naar het aantal geproduceerde nieuwe stengels per week en naar de groei van de afzonderlijke stengels. Ook is er gekeken naar het aantal verdroogde stengels die in de loop van de tijd zijn ontstaan.

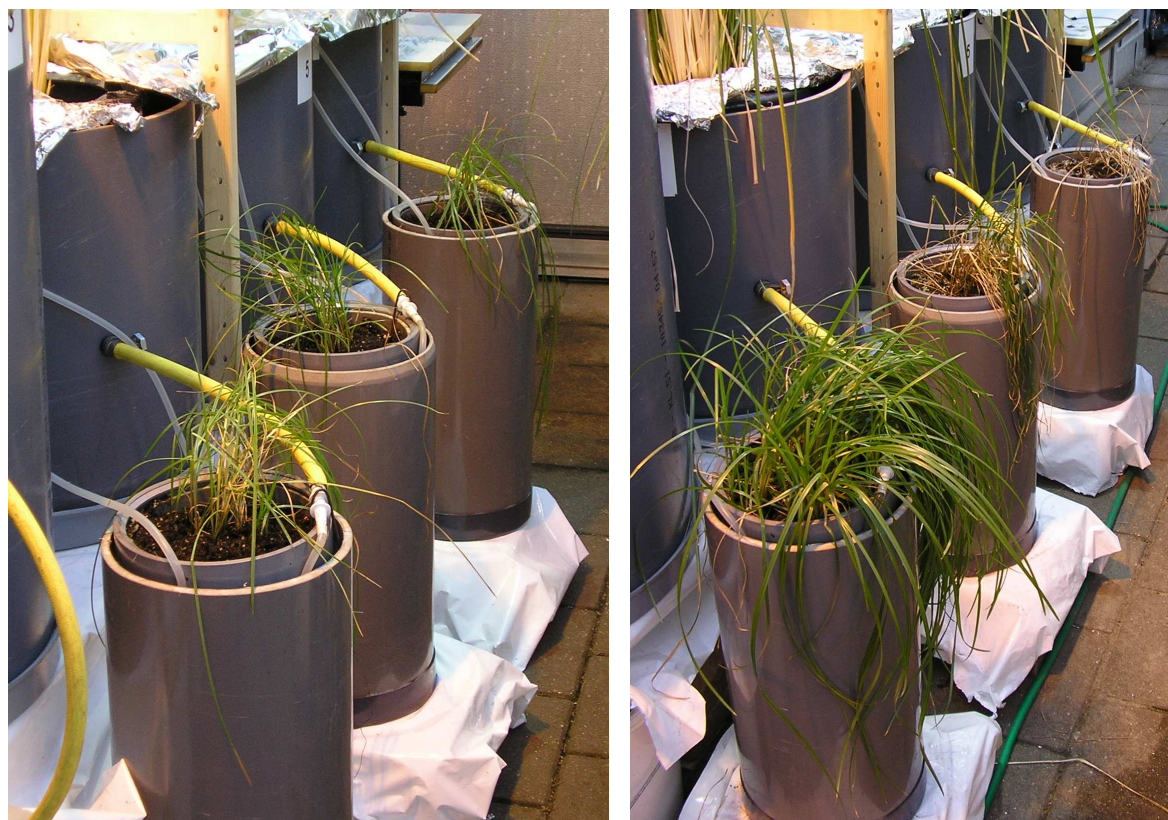
figuur 10.1: opstelling vetiver gras en *Cyperus rotundus*



figuur 10.2: schematische weergave van de opstelling

10.3 Resultaten

Cyperus rotundus aan het begin van het experiment zag eruit als in figuur 10.3 en aan het einde van de proef als in figuur 10.4. De voorste buis is de plant zonder zout. De plant daarachter heeft een zoutconcentratie van 9 ‰ en de achterste plant een zoutconcentratie van 35 ‰.



figuur 10.3: opstelling bij het begin van het experiment figuur 10.4: opstelling na 125 dagen

In bijlage 5 worden de meetresultaten van deze *Cyperus rotundus* plantjes weergegeven. In deze bijlage is ook een foto overzicht opgenomen van de groei van de plantjes. Op de volgende pagina's is een selectie weergegeven van de foto's uit de bijlage van de *Cyperus rotundus* planten met een verschillend zoutgehalte. De tijd tussen de foto's is ongeveer 3,5 weken.

Cyperus rotundus met een zoutgehalte van 0 ‰



dag 0



dag 25



dag 48



dag 73



dag 97



dag 119

figuur 10.5: *Cyperus rotundus* met een zoutgehalte van 0 ‰

Cyperus rotundus met een zoutgehalte van 9 ‰



dag 0



dag 25



dag 48



dag 73



dag 97



dag 119

figuur 10.6: *Cyperus rotundus* met een zoutgehalte van 9 ‰

Cyperus rotundus met een zoutgehalte van 35 ‰



dag 0



dag 25



dag 48



dag 73



dag 97



dag 119

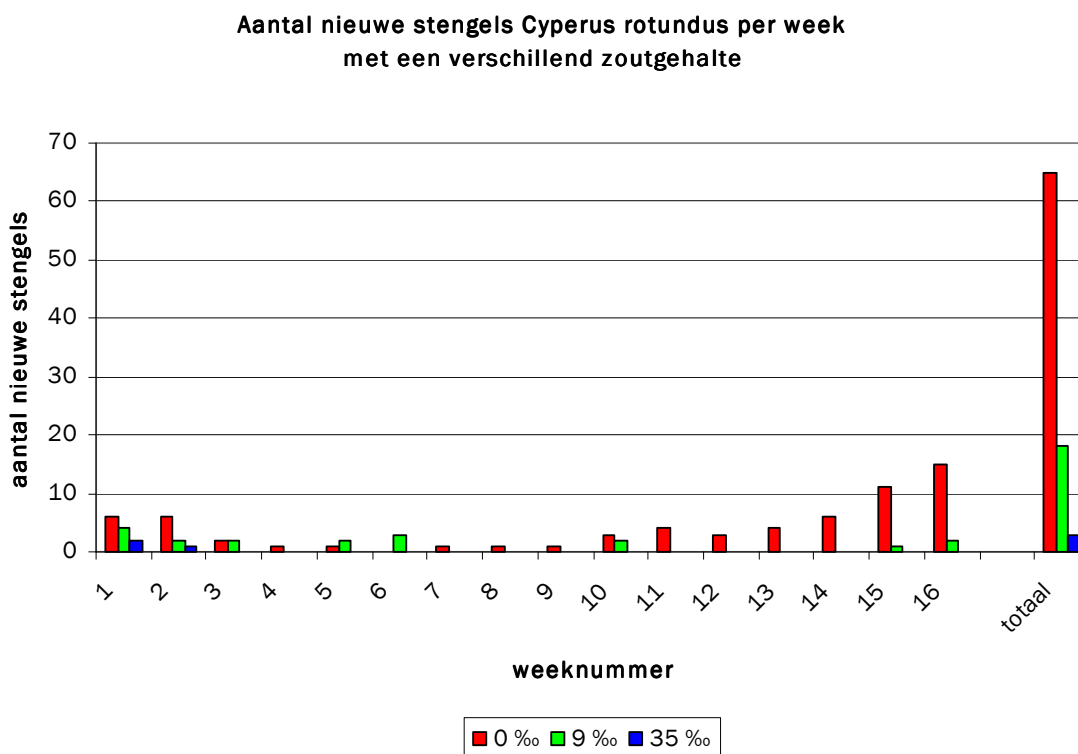
figuur 10.7: *Cyperus rotundus* met een zoutgehalte van 35 ‰

Op de foto's is duidelijk het verschil in groei te zien tussen de verschillende planten *Cyperus rotundus*. De planten zijn ongeveer even groot bij het begin van het experiment. Bij *Cyperus* zonder zout is goed te zien dat er steeds meer stengels bij komen. Deze stengels staan ook rechtop en zien er fris groen uit. In de eerste twee maanden is er weinig verschil te zien aan de kleur en stevigheid van de stengels tussen de plant met 9 ‰ zout en de plant zonder zout. Daarna is te zien dat er steeds meer gele stengels ontstaan. De stengels staan in de loop van de tijd niet meer rechtop maar laten verschillende knikken in de bladen zien. Er ontstaan nog wel nieuwe stengels, maar deze worden niet meer zo lang als de stengels van de plant zonder zout. Dit kan worden verklaard doordat de stengels vanuit een wortelknop groeien. In deze knop zitten voedingsstoffen die ervoor zorgen dat de stengel kan groeien. Door het hogere zoutgehalte bevatten deze wortelknoppen minder voedingsstoffen en komt de stengel niet meer toe aan het strekken van de cellen en het aanmaken van nieuwe cellen. Aan de plant met het hoogste zoutgehalte (35 ‰) is in het begin al gelijk te zien dat de plant in het zoute water niet aanslaat. De plant krijgt steeds meer gele bladen.

De nieuwe scheuten ontstaan soms in groepjes bij elkaar en bij dit experiment vaak dicht langs de rand van de bak. *Cyperus rotundus* heeft dus de mogelijkheid in zich om uit te groeien over een groot oppervlak, zie ook het experiment in hoofdstuk 12.

De plantjes komen uit een klein potje en zijn in grotere bakken gezet voor het experiment. Niet alle potjes met *Cyperus* zijn gebruikt voor het experiment en er kon een vergelijking worden gemaakt tussen de plantjes in een kleine pot en die in een grotere pot. Hieruit blijkt dat *Cyperus* het beter doet in een bak met een diepe grondlaag.

De groei van *Cyperus rotundus* is gemeten door het aantal nieuwe stengels te tellen en het aantal gele stengels te meten. De nieuwe stengels worden geteld als ze net boven de grond uitkomen. De vorming van nieuwe stengels is een goede maat voor de groei van de plantjes. In onderstaande figuur is het aantal nieuwe stengels per week gegeven.



figuur 10.8: aantal nieuwe stengels per week

In deze figuur is te zien dat er in het begin bij alle drie de planten nieuwe stengels worden gevormd. Na twee weken komen er bij de plant met het hoogste zoutgehalte geen nieuwe stengels meer bij. De plant zonder zout maakt regelmatig nieuwe stengels en de plant met 9 ‰ zout maakt af en toe nog een nieuwe stengel. Tegen het einde van het experiment valt te zien dat *Cyperus* zonder zout steeds meer nieuwe stengels maakt en het dus erg goed doet. In 4,5 maanden tijd heeft de plant die niet in het zoute water staat 65 nieuwe stengels gemaakt, de plant in het brakke water 19 en de plant in het zoute water maar drie. De stengels die worden geproduceerd door de plant in het brakke water worden vaak niet groter dan ongeveer zeven centimeter.

In de onderstaande tabel wordt het totale aantal nieuwe stengels weergegeven dat *Cyperus rotundus* heeft gevormd. In deze tabel is ook onderscheid gemaakt met het aantal stengels dat in het eerste deel en in het tweede deel van het experiment gevormd is.

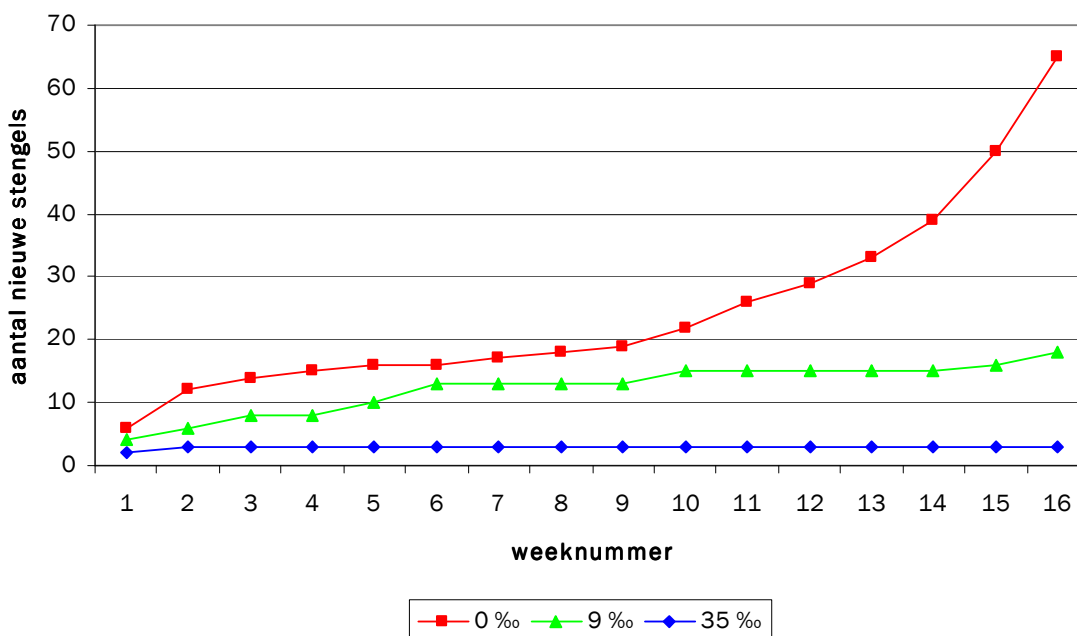
Tabel 10.1: het aantal nieuwe stengels *Cyperus rotundus* die zijn gevormd

	0 ‰	9 ‰	35 ‰
totaal	65	19	3
1 ^{ste} helft	18	12	3
2 ^{de} helft	47	5	0

Uit deze tabel volgt dat alleen de plant in het zoete water in de tweede helft van het experiment meer stengels maakt dan in de eerste helft

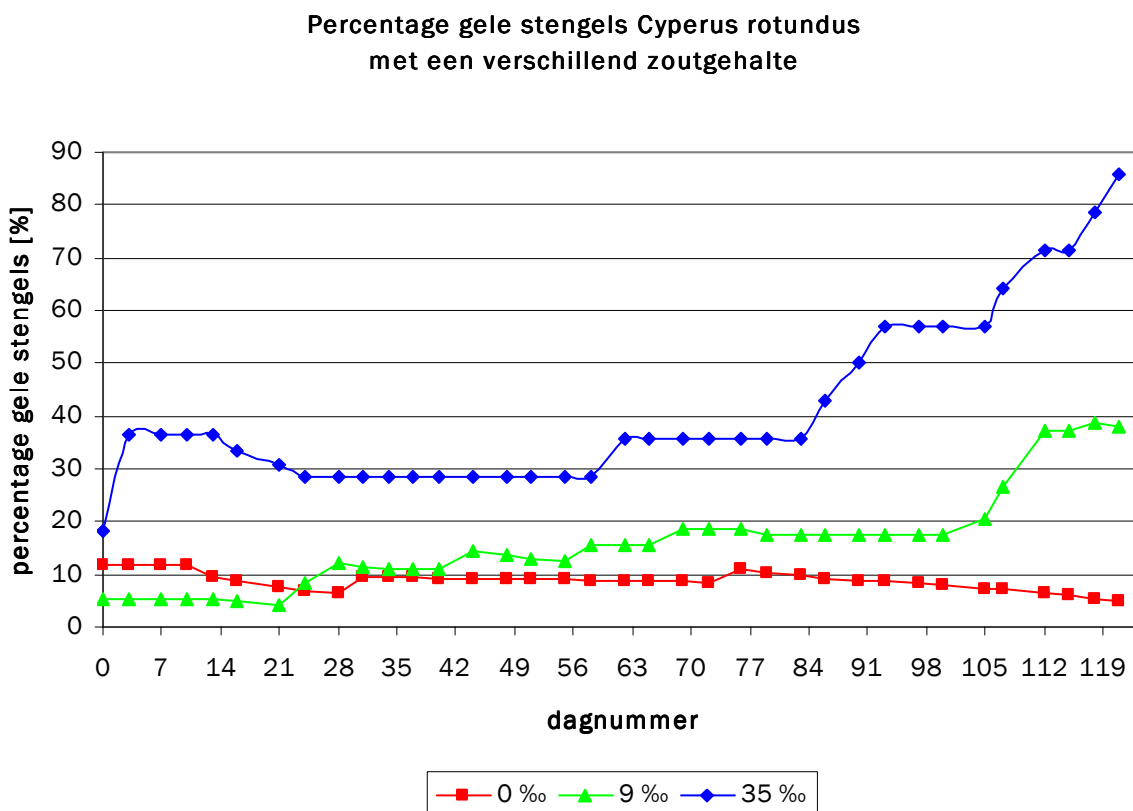
In de grafiek met deze nieuwe stengels bij elkaar opgeteld (zie figuur 10.9) is goed te zien dat aan het einde van het experiment de plant zonder zout steeds meer nieuwe stengels produceert.

Aantal nieuwe stengels *Cyperus rotundus* met een verschillende waterstand cumulatief vanaf week 52



figuur 10.9: aantal nieuwe stengels per week cumulatief

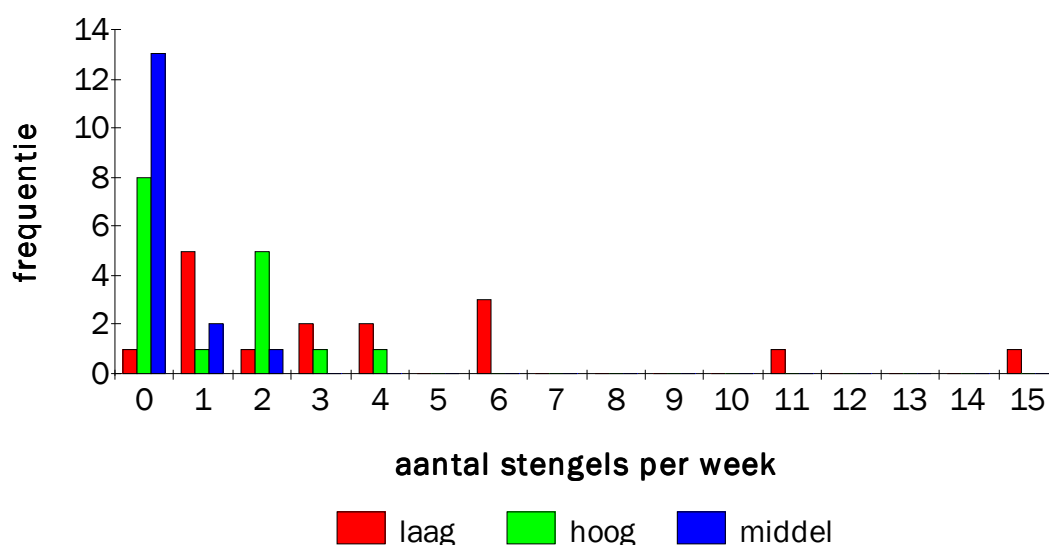
Een andere maat om te kijken of *Cyperus rotundus* voldoet om te worden toegepast in zoute en brakke omgevingen is het percentage verdroogde stengels. Deze verdroogde stengels zijn geteld wanneer alle bladen van de stengel een gele kleur hebben. In de onderstaande grafiek zijn de gele stengels weergegeven als percentage van het totale aantal stengels. De getalswaarden zijn opgenomen in bijlage 6. Er is goed te zien dat bij de plant met het hoogste zoutgehalte na drie maanden het percentage gele stengels flink toeneemt. Bij de plant met het zoutgehalte van 9 ‰ neemt het percentage gele stengels toe. Dit komt doordat er steeds minder nieuwe stengels worden gevormd en er geleidelijk meer gele stengels aan de plant komen. Bij de plant zonder zout neemt het percentage gele stengels af doordat er steeds meer nieuwe stengels bijkomen en het aantal gele stengels gelijk blijft. Deze grafiek is in de figuur op de volgende bladzijde weergegeven.



figuur 10.10: percentage verdroogde stengels van *Cyperus rotundus* met een verschillend zoutgehalte

In deze figuur is goed te zien dat de plant met een zoutconcentratie van 35 ‰ een steeds groter percentage verdroogde stengels krijgt. Deze trend zal zich doorzetten totdat alle stengels verdroogd zijn. Van de plant met een zoutconcentratie van 9 ‰ worden in de loop van het experiment steeds meer stengels verdroogd. Ook deze lijn zal langzaam naar honderd procent verdroogde stengels gaan.

De gegevens uit figuur 10.8 kunnen worden omgezet in een histogram waarbij het aantal nieuwe stengels van vetiver gras wordt uitgezet tegen de frequentie.



figuur 10.11: histogram van het aantal stengels per week

Uit de bovenstaande grafiek, figuur 10.11, kan een gemiddelde worden bepaald van het aantal nieuwe stengels die per week ontstaan. Ook kan de mate van spreiding van deze metingen worden bepaald. De manier waarop dat gebeurt is, toegelicht met een voorbeeld, beschreven in bijlage 8, de resultaten zijn hieronder weergegeven:

Tabel 10.2: kenmerkende waarden voor het aantal nieuwe stengels per week

		0 ‰	9 ‰	35 ‰
Gemiddelde	μ	4,06	1,13	0,25
Mediaan		3	0,5	0
Variantie	s^2	16,60	1,72	0,33
Standaarddeviatie	σ	4,07	1,31	0,58

De plant die in het zoete water staat heeft gemiddeld vier nieuwe stengels per week geproduceerd. De plant in het brakke water heeft gemiddeld 1,1 nieuwe stengels per week geproduceerd en de plant in het zoute water maakt gemiddeld één nieuwe stengel per vier weken. De laatste waarde is vertekend omdat er na twee weken geen nieuwe stengels bij zijn gekomen. Het gemiddelde van de plant in het zoute water is in het begin lager en aan het eind hoger dan in tabel 10.2 weergegeven.

In alle gevallen is de mediaan kleiner dan het gemiddelde. Dit betekent dat de curven scheef naar rechts zijn. Dit is ook te zien in figuur 10.11.

10.4 Conclusies

Uit de foto's in figuur 10.5 – 10.7 is duidelijk de invloed van het zout op de planten te zien. De plant in het zoete water is de referentieplant. Door deze plant te vergelijken met de planten die in het brakke (9 ‰) en zoute (35 ‰) water staan is het verschil goed te zien. De plant in het zoete water maakt in de loop van de tijd steeds meer nieuwe stengels en bladen. De planten die in het brakke en zoute water staan sterven langzaam af.

De groei van de planten is te meten aan de groei van de stengels en het aantal nieuwe stengels dat geproduceerd wordt. De groei van de stengels is door het grote aantal stengels niet eenvoudig te meten, maar het verschil is toch duidelijk te zien. De nieuwe stengel van de plant in het zoete water krijgen in de loop van de tijd een lengte van vijftig tot zestig centimeter. De nieuwe stengels van de plant in het brakke water worden niet langer dan tien centimeter, terwijl de plant in het zoute water bijna geen nieuwe stengels produceert. Het aantal nieuwe stengels is weergegeven in figuur 10.8. Na een periode van zestien weken heeft de plant in het zoete water gemiddeld vier nieuwe stengels per week gemaakt. De plant in het brakke water 1,2 nieuwe stengels en de plant in het zoute water heeft in het totaal maar drie nieuwe stengels geproduceerd. Deze stengels zijn alleen in het begin van het experiment gemaakt. De plant in het brakke water maakt onregelmatig nieuwe stengels en de plant in het zoete water maakt regelmatig nieuwe stengels. Het aantal nieuwe stengels neemt aan het eind van het experiment steeds meer toe.

Het aantal verdroogde stengels is een maat voor het afsterven van de plant. Deze waarden zijn weergegeven in figuur 10.10. Het is duidelijk te zien dat de plant in het zoute water langzaam afsterft. Na ongeveer 13 weken is ongeveer de helft van de plant verdroogd en na 21 weken is de plant geheel afgestorven. Op dat moment heeft de plant in het brakke water nog enkele groene stengels. Na ongeveer 30 weken is ook deze plant geheel afgestorven. Waarden in de literatuur over de groei van *Cyperus rotundus* zijn niet terug te vinden. Deze waarden kunnen dus niet gecontroleerd worden.

Uit dit experiment blijkt dat *Cyperus rotundus* niet geschikt is om dicht bij brak en zout water te planten. Het is dus niet geschikt als dijkbeekleding ter hoogte van het wateroppervlak. De planten die in contact komen met het zoute water sterven langzaam af. Wanneer de planten ver genoeg van het zoute water zijn verwijderd kan het *Cyperus rotundus* wel worden toegepast als dijkbeekleding.

10.5 Aanbevelingen

Het *Cyperus rotundus* het in dit experiment onder meer bloot gestaan aan een zoutgehalte van 9 ‰. Dit zoutgehalte zorgde ervoor dat het plantje langzaam afsterft. Om te bepalen in welk zoutgehalte het *Cyperus rotundus* het overleeft kan er als vervolg op dit onderzoek de invloed van lagere concentraties zout op *Cyperus rotundus* worden bekeken.

11

Cyperus rotundus als dijkbekleding?

11.1 Inleiding

Een dijklichaam kan te maken krijgen met erosie. Deze erosie kan ontstaan door golfaanval, golfoverslag, grondwaterstroming en langsstroming. Door deze belastingen kunnen er verschillende faalmechanismen ontstaan. Eén van deze faalmechanismen is erosie van het buitentalud als gevolg van de golfaanvallen. Dijklichamen en andere kunstmatige waterkeringen kunnen door een gebrek aan ruimte niet functioneren zonder een dijkbekleding. *Cyperus rotundus* is een bodembedekker en zou daarom gebruikt kunnen worden als dijkbekleding. In dit hoofdstuk wordt de functie van dijkbekleding beschreven. Ook wordt de Nederlandse situatie nader toegelicht en wordt *Cyperus rotundus* op basis van de zodekwaliteit vergeleken met het gras dat in Nederland wordt toegepast.

11.1.1 Dijkbekleding

Met een bekleding wordt het hele pakket bedoeld dat de kern van de dijk bedekt. Afhankelijk van het soort bekleding kan het bestaan uit een toplaag, verschillende soorten tussenlagen en een onderlaag. Dit kunnen harde bekledingen zijn, zoals beton, of zachte, zoals gras.

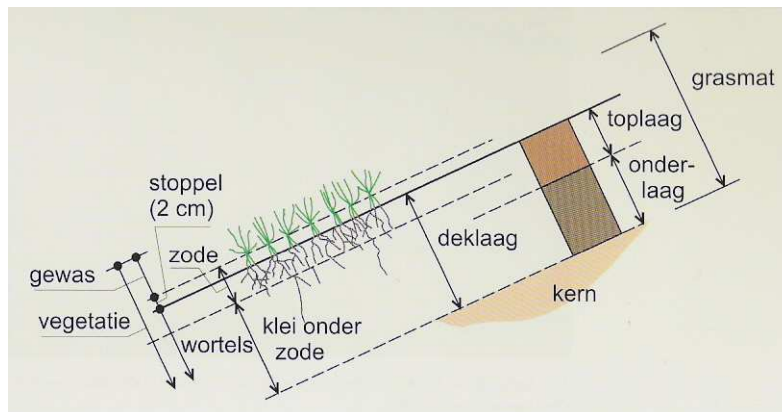
Een dijkbekleding kan verschillende functies vervullen:

- Het onder- en achterliggende grondlichaam beschermen;
- De golfoploop reduceren;
- Een bijdrage leveren aan de waterdichtheid van de kering;
- Het verminderen van het onderhoud aan de kering;
- De kering een natuurlijk uiterlijk geven.

Vaak vervult een dijkbekleding een combinatie van deze functies.

In Nederland is een met gras of een andere vegetatie begroeide kleilaag de goedkoopste dijkbekleding. Ook wordt het vaak toegepast als een landschappelijke inpassing van dijken. Voor een goede ontwikkeling van een grasmat is een laag van ongeveer twintig centimeter voedzame en goed doorwortelbare grond nodig. De hoge erosiebestendigheid van een grasmat komt door een hoge worteldichtheid in de bovenste laag van de ondergrond. De dichtheid van de wortels is afhankelijk van de ontwikkeling, het gebruik en het onderhoud van het gras. Na enige jaren zijn de wortels gegroeid tot een diepte van vijftientig tot dertig centimeter, waarvan de eerste vier tot zes centimeter sterk doorwortelt is. De samenhang tussen de gronddeeltjes wordt bepaald door de cementerende stoffen, die ontstaan rond de plantenwortels, die de afzonderlijke gronddeeltjes aan elkaar kitten. Ook zorgt het netwerk van wortels ervoor dat de brokjes grond bij elkaar worden gehouden. De zode is daardoor een sterke, veerkrachtige en flexibele laag, die kan vervormen zonder te scheuren. Het deel van het gras dat bovengronds staat zorgt voor een bijdrage aan de weerstand tegen afstromend water. Door de golfbelastingen en grote stroomsnelheden zal het grasblad na enkele uren afslijten. De waterdoorlatendheid van de bekleding is afhankelijk van het materiaal van de ondergrond. Bij een goed beheer van het gras is de duurzaamheid onbepaald. Tijdens de groei moet er voldoende zuurstof aanwezig zijn, ook mag het talud niet te steil zijn. Het gras kan aanzienlijke golfbelastingen weerstaan. De golven in riviergebieden zijn voor een goede grasmat geen probleem. Bij zee- en meerdijken richten golven die lager zijn dan 0,75 meter geen schade aan.

Een doorsnede van een grasbekleding ziet er als volgt uit [19]:



figuur 11.1: de doorsnede van een grasmat [19]

Een goed wortelstelsel is als volgt opgebouwd, zie figuur 11.1 [19]:

- De bovenste één tot drie millimeter bestaat voornamelijk uit rulle grond en plantenresten. Deze laag kan gemakkelijk door de golven worden weggespoeld.
- In de laag tussen de vijf en vijftig millimeter is de zode nog los gepakt en meestal dicht doorwortelt. Het eroderen van deze laag gaat daarom langzaam.
- Daaronder ligt een laag tussen de vijf en vijftien centimeter waarin de zode dichter is gepakt en de hoeveelheid wortels is daar aanzienlijk minder. Deze zone wordt pas bij langdurige golfbelasting aangetast.
- Nog verder naar beneden nemen de hoeveelheid wortels af en neemt de pakking van de grond toe.

De eerste twee lagen behoren tot de zode en het onderste gedeelte tot de onderlaag.

Voor een goede beworteling moet er voldoende groeiruimte, vocht, voedingsstoffen en lucht beschikbaar zijn. De poriën in de grond zorgen voor voldoende groeiruimte voor de wortels, deze poriën moeten voor de meeste planten groter zijn dan 0,2 mm. De wortels van het gras kunnen deze poriën nog vergroten. Wortels van het gras hebben onvoldoende kracht om door dichtgepakte lagen te groeien. Het gras heeft een uitgebreid wortelstelsel wat beïnvloed wordt door de mate van maaien of weiden [37].

De grasmat kan zich op een zandige klei sneller ontwikkelen dan op een vette klei. Na aanleg van een grasbekleding heeft het gras enkele seizoenen nodig om zich tot een sterke zode te ontwikkelen. In deze eerste periode kan een erosiebestendige klei voor voldoende erosiebestendigheid zorgen.

Factoren die de sterkte van een grasmat bepalen zijn onder andere [14]:

- De dikte van de deklaag;
- De samenstelling van de kleilaag voor de ontwikkeling van de vegetatie;
- De mate van erosiebestendigheid van de klei;
- De grondmechanische eigenschappen van de klei;
- De taludhelling;
- De aard van de vegetatie, de soortensamenstelling, de ouderdom, de mate van beschadiging, het bedekkingspercentage en de doorworteling;
- De wijze van het beheer en de veranderingen daarin in de loop van de tijd;
- De concentratie van de hydraulische belasting;
- De betreding door dieren;
- De aanwezigheid van harde constructies.

De aanwezige bomen en struiken op een dijk kunnen de sterkte van de bekleding ook beïnvloeden. In de schaduw zal het gras een groter bladoppervlak maken, zodat er voldoende energie uit het zonlicht kan worden gehaald, wat zichtbaar kan zijn door een snellere groei. Doordat de fotosynthese niet optimaal kan verlopen, kunnen de wortelreserves niet worden hersteld. In extreme gevallen kan het wortelstelsel afsterven. Bomen en struiken hebben dikkere en stevigere wortels, hierdoor kan de stabiliteit van de deklaag worden vergroot. Afschuiving van een talud kan de dikkere en diepere wortels worden voorkomen. Door zware stromen kunnen de bomen ontworteld raken en kan de deklaag beschadigen.

11.1.2 Beschadigingen

De maatgevende belasting op een dijkbekleding wordt veroorzaakt door de golfaanvallen. De belastingen die voorkomen uit aanvaringen, ijs, drijvende voorwerpen, zout, uitdroging en betreding zullen meer de sterkte van de grasmat beïnvloeden. De schade die hierdoor eventueel wordt veroorzaakt kan worden opgemerkt door een regelmatige inspectie, onderhoud en herstel.

Door één of meer van de onderstaande zes mechanismen kan de kern van de dijk bloot komen te liggen [14]:

1. De afzonderlijke gronddeeltjes en kleine brokjes grond kunnen tussen de wortels van het gras wegspoelen. Dit wordt meestal niet als schade ervaren wanneer dit leidt tot een geleidelijke en min of meer gelijkmatige erosie over een groot oppervlak. In extreme gevallen kan dit mechanisme tot grondverplaatsingen leiden waardoor de deklaag oneffen wordt of de vegetatie verstoord wordt.
2. Als gevolg van waterdrukverschillen tussen de holten en spleten in de onderlaag en het buitenwater kunnen er plotseling grote brokken uitspoelen, met een afmeting van tweemaal vuist grootte. De oneffenheden die zijn veroorzaakt door het vorige mechanisme kunnen het optreden van deze waterdrukverschillen bevorderen.
3. Door een plaatselijke sterke erosie kan de zode doorbreken en komt de kern bloot te liggen.
4. De zode kan door golfwerking of langsstroming opbreken of oprollen vanuit een gat dat al eerder is ontstaan.
5. Nadat de zode is verdwenen, kunnen de onderlagen eroderen.
6. Wanneer de grond verzadigd is, of door grondwaterstromingen kan de grasmat langs een glijvlak door de onderlaag afschuiven.

De erosie uit de eerste vier mechanismen ontstaat door golfklappen, golfoploop, golfoverslag en stromingen.

11.1.3 Erosiebestendigheid



figuur 11.2: proefopstelling sproeikopproef [19]

De erosiebestendigheid van een grasbekleding kan worden bepaald met behulp van erosieproeven. Met de hulp van sproeiproeven kan de oppervlakkige slijterosie en het verband met de bedekking worden getoetst. Een andere proef is de centrifugeproef. Hierin wordt de interne erosie van de zode en het verband met de doorworteling onderzocht. Sproeiproeven worden uitgevoerd door een raam van vijftig bij vijftig centimeter in de zode te drukken. Op dit raam wordt een goedsluitende sproeikop geplaatst met 625 gaatjes, die een diameter hebben van twee millimeter (totale uitstroomopening is 1963,5 mm²). Door het water op de zode te laten stromen en het uitgespoelde bodemmateriaal op te vangen kan de mate van erosie worden bepaald. Ook kan de erosie worden bepaald door het verschil in reliëf van het monster te bepalen. De afname van het bodemoppervlak ligt tussen de twee en vier millimeter. Deze erosie is afhankelijk van het type bodembeheer. De stroomsnelheid uit de sproeikop bedraagt 1,05 m/s bij een debiet van 2 l/s.

Voor de centrifugeproeven moeten er monsters worden genomen die in een erosiecentrifuge-apparaat worden gezet. Dit draait met een bepaald toerental rond en het water stroomt om het grondmonster, wat tussen twee blokken geklemd zit. Het toerental loopt op van 0 tot 1200 omwentelingen per minuut. Om de tien minuten wordt het gewicht van het monster bepaald en het procentuele gewichtsverlies berekend. Deze proef duurt maximaal zes uur of totdat 50 % van het monster is weggespoeld. Men gaat er vanuit dat een monster voor de helft uit grond bestaat [17].

Er zijn enkele modellen opgezet die zoeken naar een verband tussen de kwaliteit van de grasbekleding en de sterkte. De totale belasting op een grasmat is een combinatie van de belastingduur en de belastingzwaarte. De stroming levert maar een geringe bijdrage aan de erosiebelasting. Uit deze proeven is een empirisch verband opgesteld tussen de golfaanval en de erosiesnelheid [19]:

$$E_{\text{gras}} = c_E \cdot H_s^2 \quad (1)$$

waarin:

E_{gras} erosiesnelheid (m/s)
 c_E graserosiecoëfficiënt (m⁻¹s⁻¹)
 H_s significante golfhoogte (m)

De graserosiecoëfficiënt hangt af van de kwaliteit van het gras [19]:

Tabel 11.1: graserosiecoëfficiënten

Erosiebestendigheid grasland	c_E [m ⁻¹ s ⁻¹]
Goed	0,5 à 1,5 * 10 ⁻⁶
Matig	1,5 à 2,5 * 10 ⁻⁶
Slecht	2,5 à 3,5 * 10 ⁻⁶

Dit verband kan ook worden vertaald naar de toelaatbare duur van de golfbelasting. Deze relatie hangt van de golfhoogte, dikte en erosiebestendigheid van de zode:

$$t_{\max} = d / (\gamma \cdot c_E \cdot H_s^2) \quad (2)$$

waarin:

$t_{\max}$ maximale toelaatbare belastingduur [s]
 d zode dikte [m]
 γ veiligheidscoëfficiënt [-]

11.1.4 Bepaling zodekwaliteit

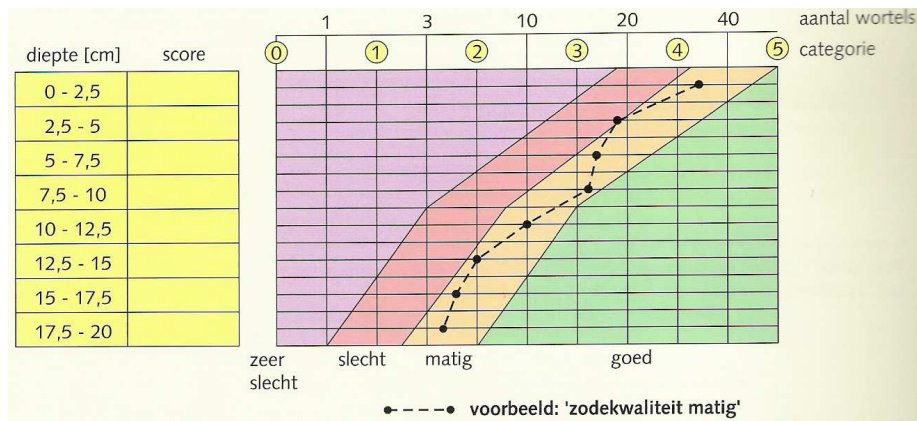
Ook de kwaliteit van de zode kan worden gecontroleerd. Hiervoor zijn er drie methodes beschikbaar. In eerste instantie wordt er gekeken naar het type van beheer. Er zijn verschillende soorten van het beheren van een grasmat, dit komt tot uiting in de kwaliteit van de grasmat. Het beheer van de grasmat is erop gericht dat de grasmat voldoende gesloten is en goed doorwortelt is. De toegevoegde hoeveelheid mest en de mate van maaien zijn hierbij cruciaal. Wanneer het type beheer niet bekend is, of dit niet tot een duidelijk resultaat leidt kan de vegetatiesamenstelling worden beoordeeld. Hierbij wordt gekeken naar de diversiteit van de vegetatie en de bedekkingsgraad van de vegetatie. De sterkte van een grasmat verschilt door het jaar heen, de meest geschikte tijd om de soortensamenstelling te bepalen is in de maanden mei en juni. In deze maanden kunnen de meeste soorten worden herkend. Wanneer dit ook niet leidt tot een duidelijk oordeel, wordt de doorworteling van de grasmat gemeten.

De doorworteling is gerelateerd aan het vegetatietype en een bepaling van de doorworteling zal de score van de eerste twee methodes daardoor zelden verbeteren. Dit kan wel het geval zijn onder bomen, waar de grasmat door de schaduw verzwakt is, maar waar de worteldichtheid verhoogd wordt door het wortelstelsel van de boom. Het meten van de worteldichtheid van het gras gebeurt door een wortelmonster te steken met een grondboor met een diameter van drie centimeter. Dit gebeurt op vier plaatsen binnen een oppervlakte van vijf bij vijf meter. De bovenste twintig centimeter van het monster wordt verdeeld in delen van 2,5 centimeter. In elk stukje wordt het aantal wortels geteld. Het gaat daarbij om de duidelijk zichtbare wortels met een lengte van minimaal één centimeter. Het aantal getelde wortels geeft aan in welke categorie de worteldichtheid van het stukje valt. Zie tabel 11.2.

Tabel 11.2: worteldichtheden [18]

Categorie	Worteldichtheid
0	Geen wortels
1	1 – 5 wortels
2	6 – 10 wortels
3	11 – 20 wortels
4	21 – 40 wortels
5	> 40 wortels

Deze aparte categorieën zeggen nog niets over de kwaliteit van de grasmat. Dit hangt ook af van de diepte waarop de hoeveelheid wortels worden gevonden. Categorie twee op een diepte van twintig centimeter betekent een hoop wortels, terwijl deze categorie op een diepte van drie centimeter zeer weinig wortels zijn. Voor het kwaliteitsoordeel wordt er gebruik gemaakt van figuur 11.2.



figuur 11.3: zodekwaliteit als functie van de doorworteling van grond met een diameter van drie centimeter [18]

In deze figuur wordt per bodemlaag de gemiddelde worteldichtheid aangegeven. Deze punten kunnen in vier mogelijke klassen terecht komen: zeer slecht, slecht, matig en goed. De worteldichtheid is hiermee gecorrigeerd naar diepte. De meeste punten zullen in één categorie terecht komen. Deze categorie is dan ook de zodekwaliteit. Wanneer er minimaal twee punten afwijken, geldt de laagste score over en diepte van twintig centimeter. Het wortelonderzoek kan het beste worden uitgevoerd tussen december en maart [14].

11.2 Opstelling

Om te bekijken of *Cyperus rotundus* kan voldoen als bekleding van dijken zijn er drie parameters van belang. Deze parameters zijn de bedekkingsgraad, het wortelgewicht en de worteldichtheid. De zodekwaliteit van het in Nederland toegepaste gras wordt aan de hand van de worteldichtheid bepaald, zoals beschreven in paragraaf 11.1.4.

Met *Cyperus rotundus* wordt hetzelfde experiment uitgevoerd om de resultaten vervolgens te kunnen vergelijken. Om dit experiment uit te voeren wordt er een potje met daarin *Cyperus rotundus* apart gezet. De omgevingstemperatuur bedraagt ongeveer twintig graden Celsius en de plant wordt regelmatig voorzien van water. De potjes hebben een hoogte van twaalf centimeter en een diameter van veertien centimeter.

11.3 Resultaten

Na een periode van ongeveer een half jaar in het potje te hebben gestaan is een plantje uit een potje gehaald. De grond rondom de wortels is uitgespoeld. De grond die verwijderd kon worden is ongeveer vijfde deel van de totale inhoud van het potje, zie figuur 11.5. De wortels van *Cyperus rotundus* vormen een vertakt stelsel met wortelknopen waaruit de stengels groeien, zie figuur 11.4. De wortels groeien naar beneden en ook naar opzij. De nieuwe stengels komen overal in het potje naar boven. Over de hele diepte van het potje zijn ongeveer evenveel wortels te vinden.



figuur 11.4: nieuwe stengels groeien vanuit de wortelknopen.

Het aantal wortels dat zich in een gebied met een diameter van drie centimeter bevinden is geteld en het resultaat is in onderstaande tabel weergegeven:

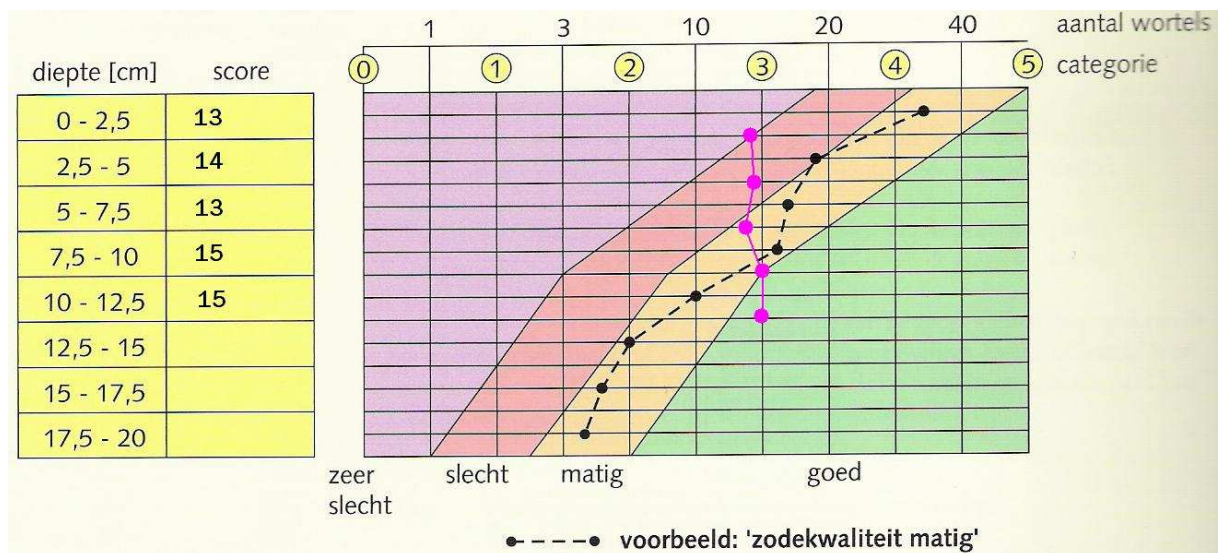
Tabel 11.3: aantal wortels van *Cyperus rotundus* in een gebied met een diameter van 3 cm.

Afstand vanaf grondoppervlak [cm]	Aantal wortels
2,5	13
5	14
7,5	13
10	15
12	15



figuur 11.5: wortels die overblijven na het uitspoelen van de grond, ongeveer 4/5^{de} deel

Deze waarden van tabel 11.3 zijn verwerkt in figuur 11.2 en dit resulteert in figuur 11.6.



figuur 11.6: waarden van *Cyperus rotundus* voor bepaling van de zodekwaliteit

De roze lijn in de figuur geeft de waarden aan die in dit experiment gemeten zijn. De metingen zijn niet verder dan een diepte van twaalf centimeter, doordat de pot van de plant niet dieper is. De zwarte lijn geeft een voorbeeld aan van de wortels van gras. De verwachting is dat in diepere gebieden de hoeveelheid wortels per diepte gelijk blijft. De meeste wortels van *Cyperus rotundus* groeien tot een diepte van twintig centimeter, zie hoofdstuk 5. De roze lijn zal dan ongeveer verticaal lopen.

11.4 Conclusies

De wortels van *Cyperus rotundus* zijn gelijkmatig over de diepte verdeeld. Boven en onderin het potje bevinden zich ongeveer evenveel wortels. Dit verschilt met het gras dat in Nederland als dijkbekleding wordt toepast. Het gras heeft aan de bovenzijde meer wortels dan verder in de grond. De wortels van *Cyperus rotundus* kunnen tot 1,3 meter lang worden in zware klei [31], maar de meeste wortels worden tussen de 15 en 20 centimeter lang. Dit betekent dat voor dieptes van meer dan twaalf centimeter de roze lijn in figuur 11.6 mag worden doorgetrokken. In het bovenste deel van de grond bevinden zich vergeleken met het gras weinig wortels, de kwaliteit van dit stuk grond is volgens figuur 11.6 dan ook slecht. Doordat er op elke diepte ongeveer evenveel wortels zijn neemt de kwaliteit van de doorworteling van *Cyperus* toe. Vanaf een diepte van tien centimeter is volgens figuur 11.6 de kwaliteit van de zode goed.

Voor bescherming van de dijk is het van belang dat de bovenste grondlaag niet weg kan spoelen. Door de mindere kwaliteit van de bovenste vijf tot zeven centimeter, zal deze laag weg kunnen spoelen door de belasting van de golven. Maar de onderste laag zal intact blijven door het sterk vertakte wortelstelsel dat de grond bij elkaar blijft. *Cyperus rotundus* is daardoor geschikt als dijkbekleding.

11.5 Aanbevelingen

In dit experiment is de bovenste twaalf centimeter van de grond met *Cyperus rotundus* onderzocht. Om zeker te zijn dat in diepere gronden er net zo veel wortels zitten als op deze diepte kan er hetzelfde experiment worden uitgevoerd met een hogere pot.

De conclusie van dit experiment is dat door de goede kwaliteit van de diepere lagen van de grond *Cyperus rotundus* geschikt is om de belastingen van de golven te weerstaan. En daardoor geschikt is als dijkbekleding. Om dit zeker te weten kan er als vervolg op dit experiment een experiment worden uitgevoerd waarbij *Cyperus rotundus* wordt blootgesteld aan golfbelastingen, zoals beschreven in paragraaf 11.1.3. Zo kan de erosiebestendigheid worden getest. Ook kan daarbij formule 1 worden getoetst.

12

Horizontale groeisnelheid *Cyperus rotundus*

12.1 Inleiding

Wanneer *Cyperus rotundus* wordt gebruikt als dijkbekleding, zullen de plantjes niet direct de hele bodem bedekken. Het heeft tijd nodig voordat de gehele oppervlakte doorwortelt en bedekt is. In dit experiment wordt bekeken hoe snel de bedekking van de bodem plaats vindt en hoe ver de nieuwe stengels opkomen vanaf het midden van de oorspronkelijke plant.

12.2 Opstelling

Dit experiment wordt uitgevoerd in een bak met de afmetingen van 120 bij 67 centimeter en een hoogte van 18 centimeter (zie figuur 12.1). Deze bak is gevuld met grond waarin twee bijna even grote *Cyperus rotundus* plantjes zijn gezet en ook een vetiver plant. Deze vetiver plant is in dit experiment toegepast om te bekijken of *Cyperus* ook in de buurt van een vetiver plant groeit. De afstand tussen vetiver gras en het eerste *Cyperus* plantje bedraagt 25 centimeter en de afstand tussen de twee *Cyperus* planten bedraagt 50 centimeter. Al deze planten zijn halverwege de breedte van de bak geplant.



figuur 12.1: opstelling voor de horizontale groeisnelheid met de afmetingen bij het begin van het experiment

Het eerste *Cyperus rotundus* plantje bestaat uit tien stengels waarvan er drie nieuw zijn. Het tweede *Cyperus rotundus* plantje bestaat uit veertien stengels waarvan er ook drie nieuw zijn. Hiervan zijn al enkele stengels geel en deze groeien niet verder en worden niet meegenomen bij het bepalen van de bedekkingsgraad.

12.3 Resultaten

12.3.1 Horizontale groei

In bijlage 7 is een foto overzicht gegeven van de opstelling, met daarin het ontstaan van de nieuwe stengels aangegeven. In tabel 12.1 is de afstand tussen het midden van de *Cyperus rotundus* plant en de jonge scheuten weergegeven. Het midden van de plant is aangegeven door een houten stokje, dat tijdens het experiment in het plantje blijft staan. De afstanden worden één keer per week gemeten. Een jonge scheut wordt gezien als een nieuwe stengel van *Cyperus rotundus* die net boven de grond uitkomt. De afstanden zijn bij elkaar opgeteld en vormen de cumulatieve afstand.

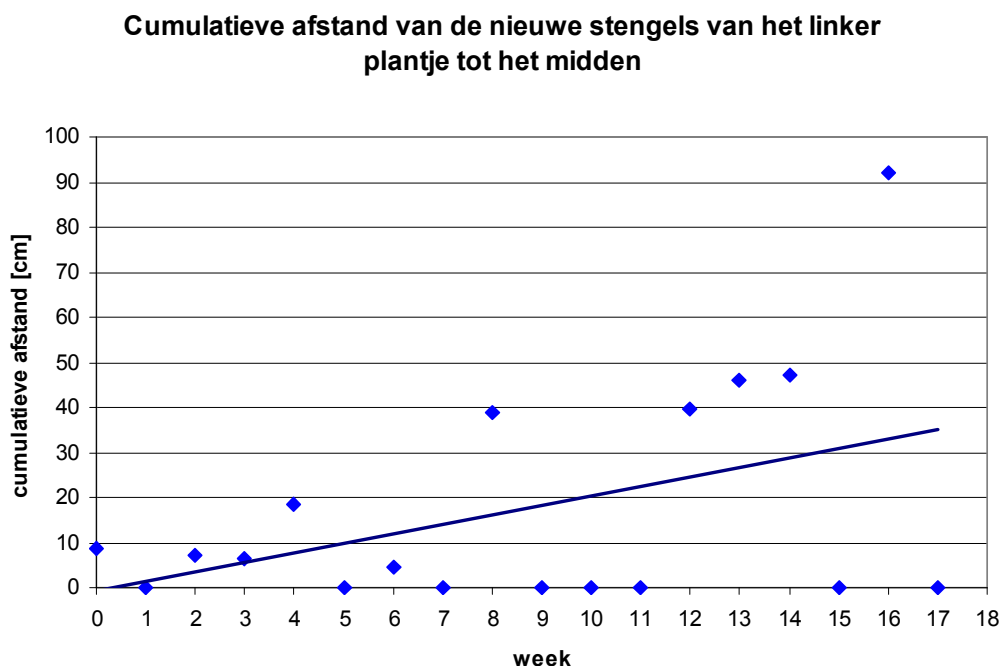
Tabel 12.1: de afstand tot het midden van de plant per week

week	Afstand tot midden plant 1			som	Afstand tot midden plant 2					som
0	3,5	3,5	1,5	8,5	2,5	2,5	3,5			8,5
1	X			0	3					3
2	3	4		7	X					0
3	2,5	4		6,5	6	6,5	6,5			19
4	3	3	12,5	18,5	2,5	4,5	5,5	5,5	17	35
5	X			0	5,5					5,5
6	4,5			4,5	3	5	5,5			13,5
7	X			0	7,5	30				37,5
8	39			39	X					0
9	X			0	2,5	34	34,5			71
10	X			0	X					0
11	X			0	X					0
12	39,5			39,5	X					0
13	46			46	X					0
14	47			47	X					0
15	X			0	X					0
16	39	53		92	3,5	31				34,5
17	X			0	7	11	39,5			57,5

Uit deze figuren blijkt dat er zeer onregelmatig nieuwe stengels worden gevormd. Na ongeveer zeven weken worden er stengels geproduceerd op een afstand van meer dan dertig centimeter. Na deze periode worden er bijna geen stengels gemaakt die dicht bij het midden van de plantjes staan.

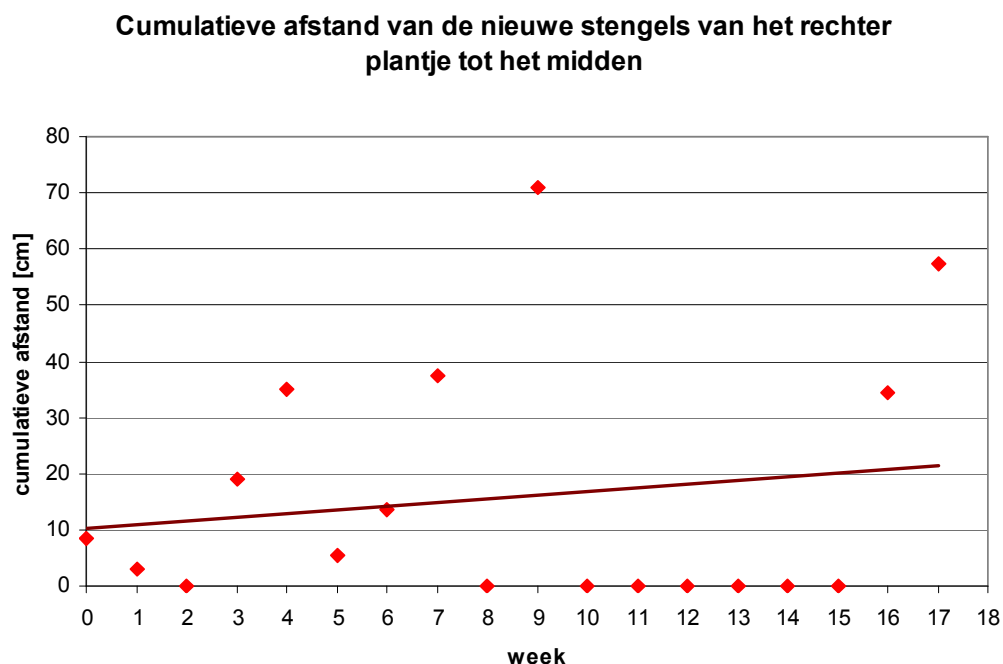
De nieuwe stengels ontstaan vaak dicht bij de rand van de opstelling. De wortels kunnen daar niet verder groeien en maken op die plek nieuwe stengels.

De cumulatieve afstanden uit tabel 12.1 zijn verwerkt in de figuren 12.2 en 12.3.



figuur 12.2: afstand tussen het midden van de plant en de nieuwe stengels van *Cyperus rotundus* 1

In deze figuur zijn de meetwaarden van de afstanden van *Cyperus rotundus* uit tabel 12.1 weergegeven met puntjes. De lijn is de best passende lijn tussen de punten. De formule die bij deze lijn hoort is $y = 2,1182x - 0,8655$. Deze formule is berekend volgens de kleinste kwadraten methode, beschreven in bijlage 8. De standaarddeviatie bij deze formule is 23,63. Dit is een erg grote afwijking, zodat deze formule niet zomaar mag worden gebruikt. Te zien is dat in de loop van de tijd de cumulatieve afstand toeneemt. De nieuwe plantjes die ontstaan staan steeds verder van het midden af. Dit is ook te zien in bijlage 7, waar een foto overzicht is weergegeven.



figuur 12.3: afstand tussen het midden van de plant en de nieuwe stengels van *Cyperus rotundus* 2

Ook in deze figuur zijn de meetresultaten weergegeven met puntjes en de best passende lijn tussen de punten met de doorgetrokken lijn. De formule die bij deze lijn hoort is $y = 0,6543x + 10,272$. De standaarddeviatie van deze formule met de gemeten punten is 22,50. Deze afwijking is groot en daardoor mag ook deze formule niet zo maar worden toegepast. Vergeleken met figuur 12.2 is de toename van de cumulatieve afstand in de tijd een stuk minder groot.

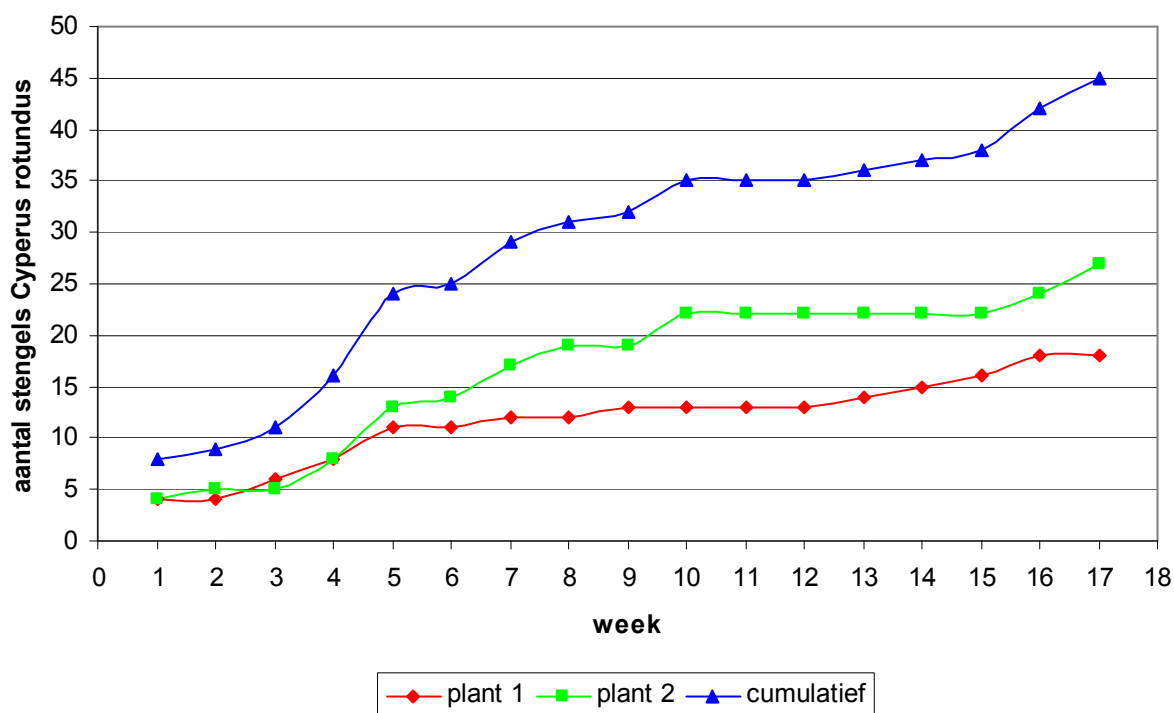
12.3.2 Bedekkingsgraad

De bedekkingsgraad van *Cyperus rotundus* over de bodem van de opstelling wordt gemeten aan de hand van het totale aantal stengels. Bij een grotere hoeveelheid stengels is de mate van bedekking groter. De hoeveelheid stengels is in tabel 12.2 weergegeven.

Tabel 12.2: bedekkingsgraad *Cyperus rotundus*

bedekkingsgraad (aantal stengels van de plantjes)			
week	plant 1	plant 2	cumulatief
0	4	4	8
1	4	5	9
2	6	5	11
3	8	8	16
4	11	13	24
5	11	14	25
6	12	17	29
7	12	19	31
8	13	19	32
9	13	22	35
10	13	22	35
11	13	22	35
12	14	22	36
13	15	22	37
14	16	22	38
15	16	22	38
16	18	24	42
17	18	27	45

Deze waarden zijn vervolgens weergegeven in figuur 12.4.

Bedekkingsgraad *Cyperus rotundus*

figuur 12.4: bedekkingsgraad *Cyperus rotundus*

Uit deze grafiek is te zien dat de plant die het dichtst bij vetiver staat minder nieuwe stengels produceert. In het begin worden er steeds meer stengels gemaakt. Na vier weken neemt de groei af en na negen weken zijn er nog maar drie nieuwe stengels ontstaan.

Bij de plant die is gebruikt bij het experiment met het zoutgehalte (hoofdstuk 11) als referentie opstelling is na een periode van twaalf weken de groei steeds meer toegenomen. Dit is nog niet terug te zien in dit experiment.

12.4 Conclusies

De bedekking van de grond vindt niet snel plaats. Na een periode van zeventien weken zijn er totaal nog maar 45 nieuwe stengels gevormd. Het bovenaanzicht van de opstelling ziet er op dat moment uit als in figuur 12.5. Een grote toename van de bedekking over de hele oppervlakte is hierin niet waar te nemen vergeleken met figuur 12.1.



figuur 12.5: de opstelling na een periode van zeventien weken

De planten in dit experiment maken onregelmatig nieuwe stengels. Er zijn periodes dat er veel nieuwe stengels gemaakt worden en soms worden er weken geen nieuwe stengels gemaakt. Uit het verband dat in de figuren 12.2 en 12.3 wordt aangegeven, mogen dan ook niet veel conclusies worden getrokken. Ook in de toename van de bedekkingsgraad is niet echt een verband te ontdekken.

Cyperus rotundus is in dit experiment in een periode van zeventien weken geen goede bodembedekker gebleken. In sommige landen wordt het *Cyperus rotundus* wel al gebruikt als dijkbekleding. Wanneer *Cyperus rotundus* wordt gebruikt als dijkbekleding moet de grond een lange periode beschermd worden tegen golfaanvallen omdat er nog een grote oppervlakte kale bodem is.

12.5 Aanbevelingen

Uit dit experiment is gebleken dat *Cyperus rotundus* niet snel de bodem bedekt, terwijl er al wel ervaringen zijn met *Cyperus rotundus* als dijkbekleding. Dat deze beide conclusies niet overeenkomen kan zijn dat de opstelling niet de juiste was. De planten die zijn gebruikt om de invloed van het zoutgehalte te bekijken zijn gedaan in bakken die dieper zijn dan die van deze opstelling. Na een periode van negen weken ontstond er een toename van de groei van het aantal stengels. Deze toename zou ook te verwachten kunnen zijn in bovenstaande opstelling. Het verschil tussen deze opstellingen was de diepte van de bak. Om te controleren of dit juist is kan hetzelfde experiment nog een keer worden uitgevoerd, maar nu met een diepere bak.

13

Vetiver gras als golfoploopremmer?

13.1 Inleiding

Zoals in de inleiding al beschreven wordt er gedacht om vetiver gras te gebruiken als golfoploopremmer. Het gras heeft stevige stengels en kan lange wortels maken. In gebieden waar veel erosie optreedt heeft het gras al bewezen dat het de energie dat het water in zich heeft kan verminderen. De afstroom van water vanaf de helling wordt door hagen vetiver gras vertraagd.

Vetiver gras op de berm van een dijk zal daar dezelfde functie moeten vervullen. Door de energie van de golven te verminderen, wordt ook de golfhoogte verminderd. Hierdoor wordt de golfoploop verminderd en de kans op overstroming verminderd. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar een oplossing om vetiver gras te schematiseren. Ook wordt er ingegaan op de achtergronden van de golven en de golfoploop.

13.2 Ontstaan van golven

Golven kunnen ontstaan doordat het wateroppervlak wordt blootgesteld aan de wind of door de beweging van het wateroppervlak door bijvoorbeeld voorbijvarende vaartuigen.

De hoogte van de golven die door schepen worden opgewekt, zie ook bijlage 10, is afhankelijk van de vaarsnelheid, de waterdiepte en de afstand van het schip tot de oever. Een schip met een snelheid van 3 m/s (~ 10 km/uur) in een rivier met een diepte van vier meter en een afstand van vier meter tot de oever heeft een golfhoogte tot gevolg van 0,25 meter. De golfhoogtes zijn sterk afhankelijk van de vaarsnelheid van de schepen. Bij een snelheid van 4 m/s (~ 14 km/uur) is in dezelfde situatie de golfhoogte 0,80 meter. Dit is meer dan drie keer zo groot, terwijl de snelheid 1,3 keer zo groot is.

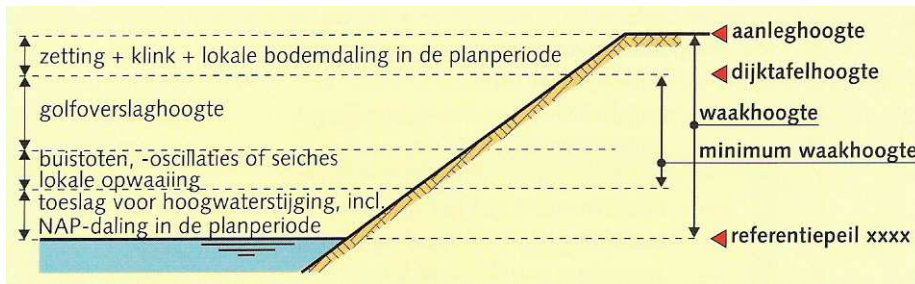
De hoogte van de golven die worden opgewekt door de wind zijn afhankelijk van de windsnelheid, de windduur, de strijklengte (de lengte van het water waarover de wind blaast) en de waterdiepte, zie bijlage 10. De golfhoogtes die worden veroorzaakt door de wind, worden bepaald door de windsnelheid, de waterdiepte en een bepaalde strijklengte. Bij een stevige wind van 10 m/s, een waterdiepte van vier meter en een rivier met een strijklengte van een kilometer zijn er golfhoogtes te verwachten van 0,24 meter.

De golfhoogte is vooral afhankelijk van de snelheid van de langsvarende schepen. In de meeste gevallen zullen de golfhoogtes tussen de 0,5 meter en 1 meter zijn [11].

13.3 Golfoploop

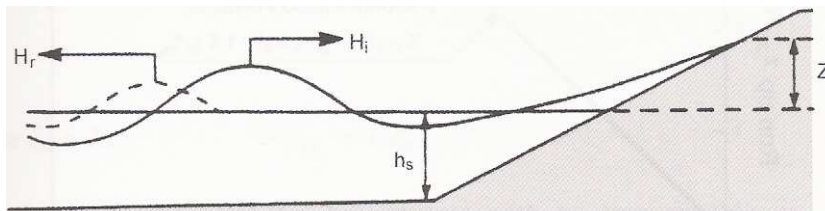
Voor de kenmerken van golven wordt verwezen naar bijlage 10.

De hoogte van een dijk wordt door verschillende kenmerken bepaald. Er zijn hiervoor twee faalmechanismen van belang, overlopen en golfoverslag. Het mechanisme van golfoverslag is bijna altijd maatgevend voor de hoogte van een dijk. De kruinhoogte van een dijk wordt bepaald door het ontwerppeil, de relatieve zeespiegelrijzing, golfoploop op golfoverslag, locale opwaaiing en zetting en klink van de grond, zie figuur 13.1.



figuur 13.1: bepaling dijkhoogte [13]

Het referentiepeil is de ontwerpwaterstand die hoort in Nederland bij rivierdijken bij een topafvoer met een overschrijdingsfrequentie van eens per 1250 jaar. De hoogte van de golven is niet regelmatig en daarom zijn de golven niet deterministisch te beschrijven en dat geldt vervolgens ook voor de golfoploop. Met de golfoploop wordt de verticale afstand bedoeld tussen de waterspiegel en de plaats op het talud, die bereikt wordt door de oplopende watertong, als gevolg van de al dan niet brekende golven. Dit is de afstand z in figuur 13.2.



figuur 13.2: definitie golfoploop, hierbij is z de hoogte van de golfoploop [16]

De golfoploop hangt af van het golfveld, de vorm van de waterkering en de ruwheid van het talud. De golfoploop wordt bepaald door de volgende formule [13]:

$$z_{2\%}/H_{m0} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f \cdot \xi_0 \quad (3)$$

waarin:

$z_{2\%}$ = de hoogte die twee procent van de golven zal overschrijden [m]

H_{m0} = de significante golfhoogte bij de teen van de dijk [m]

γ_b = invloedsfactor voor de berm [-]

γ_β = invloedsfactor voor scheve golfinval [-]

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid op het talud [-]

ξ_0 = de brekerparameter [-]

Voor een beschrijving van de factoren γ_b en γ_β wordt verwezen naar bijlage 10.

De significante golfhoogte wordt bepaald door het spectrum van de golven. De brekerparameter is een dimensieloze parameter die als volgt bepaald kan worden:

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}} \quad (4)$$

waarin:

s_0 = de golfsteilheid, de significante golfhoogte gedeeld door de golflengte op diep water [-]

α = de helling van het talud [°]

De invloedsfactoren (γ_b , γ_β , γ_f) zijn door middel van onderzoek bepaald. In de formule is er een combinatie van de invloedsfactoren mogelijk die een zo hoog mogelijke reductie tot gevolg heeft. Niet alle combinaties met de verschillende invloedsfactoren zijn onderzocht, het is daardoor ook wenselijk dat wanneer de totale invloedsfactor ($\gamma_b * \gamma_\beta * \gamma_f$) lager is dan 0,4 er nader onderzoek nodig is.

Voor de toepassing van vetiver gras op een dijk om de golfoploop te verminderen, zal een verandering van de ruwheid optreden. De invloedsfactor voor de ruwheid is geldig voor situatie waarin $\gamma_b \xi_0 < 1,8$ en $H_{m0} > 0,75$ meter. Deze invloedsfactor komt in formule 3 ook niet meer voor. Voor lagere waarden van de significante golfhoogte kan de hydraulische ruwheid naar verhouding groter zijn en is de invloedsfactor daardoor lager. Deze lagere invloedsfactor kan alleen in rekening worden gebracht als deze exact bekend is.

Om de golfoploop te verminderen zijn er verschillende maatregelen te nemen. Dit zijn bijvoorbeeld het verkleinen van de invloedsfactoren voor de berm en de ruwheid op het talud. Door het verbreden van de berm kan deze invloedsfactor worden verlaagd. Een andere mogelijkheid is om de ruwheid op het talud te vergroten. Dit kan gebeuren door bekledingen op de dijk te leggen die een bepaalde ruwheid hebben. Deze ruwheidselementen kunnen in vier categorieën worden verdeeld, zie figuur 13.3 [18]:

- Gladde en ondoorlatende bekleding, hieronder vallen beton, asfalt, dichte betonblokken en grasbekleding ($\gamma_f = 1$).
- Steenbekleding met enige ruwheid/doorlatendheid, hieronder vallen onder andere Vilvoortse steen, basalt en Haringmanblokken ($\gamma_f = 0,85 - 0,90$).
- Kunstmatige ruwheid op ondoorlatende taluds, dit zijn onder andere kleine blokjes en ribbels ($\gamma_f = 0,75 - 0,90$).
- Breuksteen, één laag en twee lagen ($\gamma_f = 0,70$ en $0,55$).



figuur 13.3: soorten bekledingen [18]

a = haringmanblokken, $\gamma_f = 0,90$; b = asfaltbeton, $\gamma_f = 1,0$; c = Vilvoordse steen, $\gamma_f = 0,85$; d = breuksteen, geopenetreerd met asfalt, $\gamma_f = 0,80$; e = natuursteen, gezet (Noordse of Drentse steen), $\gamma_f = 0,75$; f = breuksteen, enkellaags, $\gamma_f = 0,7$, dubbellaags, $\gamma_f = 0,55$; g = gras, gezaaid, $\gamma_f = 1,0$; h = doorgroeisteen, beton, $\gamma_f = 0,95$; i = betonblokken me afgeschuinde hoeken en gaten erin, $\gamma_f = 0,90$; j = basalt, gezet, $\gamma_f = 0,90$; k = diaboolblokken, $\gamma_f = 0,80$.

13.4 Riet en mattenbies

In Nederland wordt om de oevers te beschermen tegen de golven gebruik gemaakt van riet en mattenbies. Deze planten zijn te vergelijken met vetiver gras door hun lange en stevige stengels. De functie van het riet en mattenbies komt overeen met die van vetiver gras, het verminderen van de golfenergie. Het riet en mattenbies wordt onderaan een oever geplant en staat zodoende constant in het water. Vetiver gras wordt op de berm van een dijk geplant waar het bij hoge golven in aanraking komt met het water.

Riet en mattenbies komen in Nederland van nature voor. Het riet (*Phragmites australis*) is een in het water (0,6 – 1 meter diepte) of op drassige grond groeiende grassoort die één tot vier meter hoog kan worden. Riet wordt vaak aangetroffen in grote oppervlaktes of in de zogenaamde rietkragen. Door deze sterke en aaneengesloten kragen dempen ze de golven en reduceren ze de stromingen. Tevens zorgt hun goed ontwikkelde wortelsysteem voor een vergroting van de samenhang van de bodem. Ook wordt de weerstand van de bodem tegen de stroming vergroot. De bodem zal daardoor minder snel eroderen. Het mattenbies (*Scirpus lacustris*) komt voor in stilstand tot zwak stromend water en groeit in zoet tot brak water met een diepte groter dan één meter. Het riet en mattenbies komen voor in de zogenaamde rietzone, waarbij het bies zich aan de kant van het diepere water bevindt. Het laaggelegen gedeelte staat ongeveer een half jaar permanent onder water. Het riet kan droogstand verdragen, maar het bies niet. Langdurige overstroming waarbij de halmen onder water staan wordt door geen van beiden goed verdragen. Na het groeiseizoen sterven de bovengrondse delen van het riet af en in het voorjaar lopen de ondergrondse delen weer uit. Het frequent maaien van het riet stimuleert deze groei.



figuur 13.5: een rietkraag

Op verzoek van de Dienst Weg- en Waterbouw zijn er van 1990 tot 1994 proeven uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium. Het riet en mattenbies zijn daar al die tijd belast met golven. Gekeken is er naar de ontwikkeling, hoe de golven worden gedempt en in welke mate de erosie van de bodem wordt tegengegaan. Dit onderzoek werd uitgevoerd met verschillende golfhoogtes. Uit deze proeven zijn ontwerpregels afgeleid voor de oeverbescherming met riet en mattenbies. De golfdempende werking van het riet en mattenbies hangt af van de breedte en dichtheid van de kraag en varieert per seizoen.

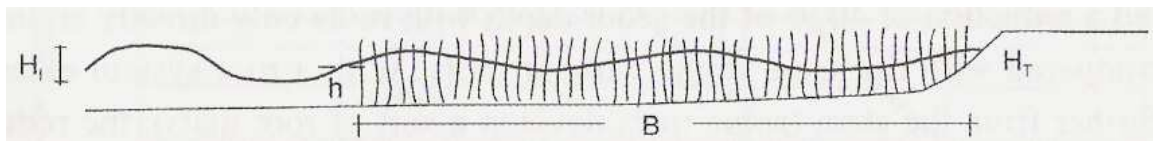
Het soort bodemmateriaal en de intensiteit van de golfaanval zijn hierbij niet van invloed. In het eerste jaar na de aanplant is elke mate van golfaanval ongewenst, omdat de plantjes nog niet stevig genoeg staan. Om dit te voorkomen kan er eventueel een tijdelijke oeverbescherming worden aangebracht. In het tweede jaar kunnen golfhoogtes tot 0,15 meter worden gedempt. Deze golfhoogtes kunnen de planten ook bij een hoge intensiteit (veel golven) weerstaan. Na het tweede jaar kunnen ze, in niet dagelijkse omstandigheden, golfhoogtes van 0,25 meter goed weerstaan. Incidenteel (niet meer dan 5000 golven per jaar en niet in een aaneengesloten periode)



figuur 13.4: mattenbies

mag de golfhoogte 0,40 meter zijn. Het mattenbies mag ook na het tweede jaar niet worden blootgesteld aan golven die hoger zijn dan 0,15 meter.

Het riet levert het hele jaar door een beschermende werking tegen golven, maar in de winter is de golfdemping lager dan in de zomer. In de winter verhouten de halmen van het riet en behouden een deel van de golfdempende werking. Mattenbies sterft in de winter af en functioneert voornamelijk van juli tot oktober. De verhoutte stengels van het riet blijven 's winters staan, maar andere delen sterven af. De duurzaamheid van de levende planten is zeer groot als ze goed worden beheerd. Er is regelmatig onderhoud nodig om het verlanden van riet- en mattenbies vegetaties te voorkomen en een stevige vegetatie te behouden. Het riet en mattenbies hebben ook een waterzuiverend vermogen voor onder meer stikstof en fosfaat. Dit is afhankelijk van het waterniveau, de aanwezigheid van fluctuaties in het waterniveau en het beheer (het maaien en afvoeren) [10, 44].



figuur 13.6: schematische weergave van de golfdemping door een riet of biezenkraag [1]

Voor de golfdempende werking van het riet en mattenbies is de volgende formule afgeleid:

$$H_t/H_i = 1 - p\{1 - \exp(-cB_{\text{eff}})\} \quad (5)$$

waarin:

H_t = golfhoogte achter de vegetatie [m]

H_i = inkomende golfhoogte [m]

p = coëfficiënt voor seizoensvariatie

$p = 0,2$ voor jan – maart (riet)

$p = 0,8$ voor april – juni (riet)

$p = 1$ voor juli – sept (riet + mattenbies)

$p = 0,6$ voor okt – dec (riet + mattenbies (alleen okt))

$c = 0,001(N_{s,l})0,8$

$N_{s,l}$ = aantal levende stengels per m^2

B_{eff} = effectieve breedte van de riet- of biezenkraag

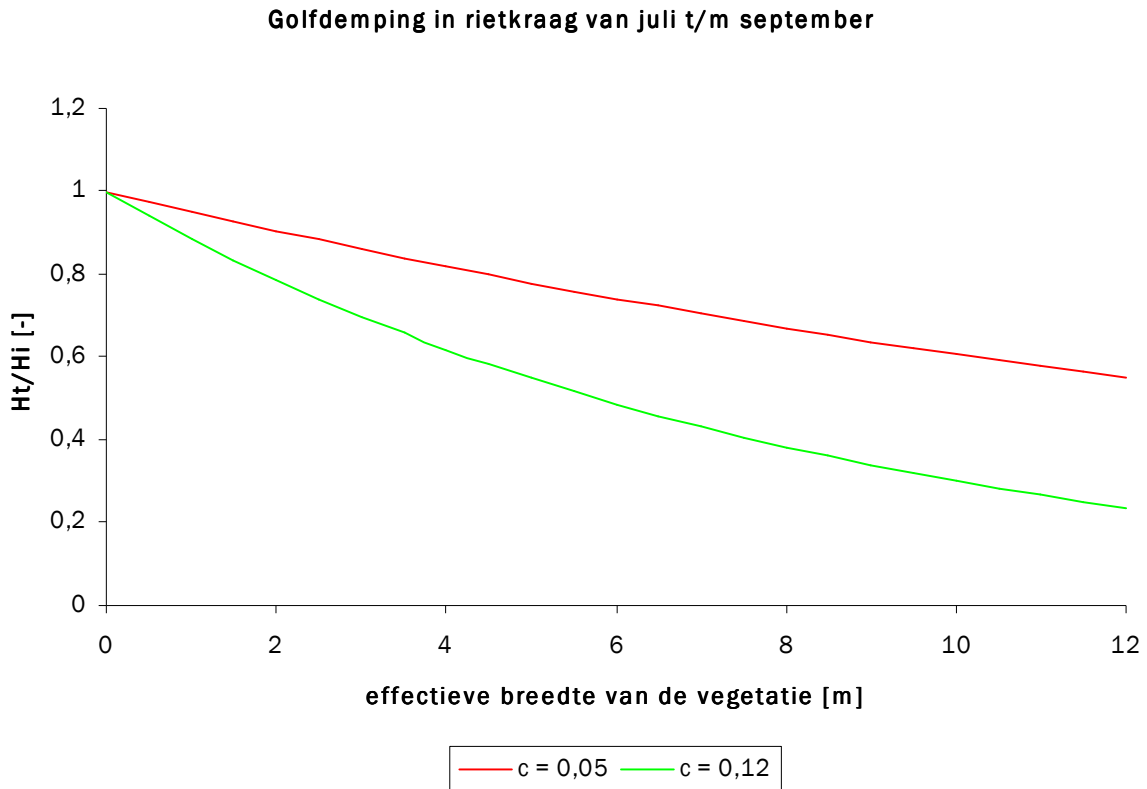
$B_{\text{eff}} = B (\cos \beta) - 1$

B = breedte rietkraag [m]

β = hoek van golfinval [$^\circ$]

Deze formule geldt voor waterdieptes tot één meter, een maximale effectieve breedte van 10 meter, dichtheid tot 400 stengels per m^2 en invallende golfhoogtes tot 0,40 meter.

De formule is in figuur 13.7 weergegeven.



figuur 13.7: grafiek van de golfdemping in een rietkraag van juli t/m september

Uit deze figuur blijkt, zoals te verwachten, dat bij een steeds bredere begroeiing de golfhoogte achter deze begroeiing steeds lager wordt. Ook bij een grotere dichtheid van de begroeiing wordt de golfhoogte lager.

13.5 Schaalmodel voor vetiver gras

Om de werking van de hagen van vetiver gras nader te kunnen onderzoeken zal er een modelonderzoek worden uitgevoerd. De metingen van dit onderzoek zullen in een ander afstudeeronderzoek worden uitgevoerd. In deze paragraaf zal een manier worden bedacht om vetiver gras te modelleren.

13.5.1 Schaaleffecten

Een model is een geschematiseerde representatie van een deel van de werkelijkheid (prototype) voor een bepaald doel. Modellen kennen vaak een begrenzing van ruimte en tijd en zijn een benadering van de werkelijkheid. Modellen hebben ook maar een beperkte geldigheid, ze hebben maar betrekking op een bepaald aspect. De toepassing van modellen brengt dus altijd onzekerheid met zich mee. Hiervoor is verificatie nodig, het toetsen van het model aan de realiteit [4].

Voor het experiment met vetiver gras zal er een fysisch model worden opgesteld, hierin worden ook de fysische processen gesimuleerd. De parameters moeten via bepaalde schaalregels worden verkleind. De waarden die dan in het laboratorium worden gemeten moeten via dezelfde schaalregels weer worden terugvertaald naar de werkelijkheid.

Door een schaalmodel wordt de werkelijkheid geproduceerd op een kleinere schaal, zodat de kenmerken in het schaalmodel gelijk zijn in het model en prototype.

Er zijn drie soorten gelijkvormigheid:

Geometrische gelijkvormigheid, hiervan is sprake als de verhouding van de geometrische parameters, zoals lengte, oppervlakte en volume gelijk is.

Kinematische gelijkvormigheid, hiervan is sprake als de in het model afgelegde afstand in een bepaalde tijdsduur omgeschaald dezelfde waarde oplevert voor verhouding tussen de afstand en tijd.

Dynamische gelijkvormigheid, hiervan is sprake als de overeenkomstige massa's onder invloed van overeenkomstige krachten een kinematische gelijkvormigheid hebben. Deze gelijkvormigheid is gebaseerd op de tweede wet van Newton: $F = ma$ [22].

Voor het model met vetiver gras op een dijklichaam is vooral de geometrische gelijkvormigheid van belang.

De belangrijkste formule die wordt gebruikt om de golfoploop te berekenen is:

$$z_{2\%}/H_{m0} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f \cdot \xi_0 \quad (3)$$

met daarin:

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}} \quad (4)$$

Doordat er een schaalmodel wordt toegepast moeten de parameters die in de formule zijn opgenomen ook worden geschaald. De definitie van een schaalfactor is:

$$n_x = \frac{\text{waarde van } x \text{ in de werkelijkheid}}{\text{waarde van } x \text{ in het model}} = \frac{x_p}{x_m} \quad (6)$$

Hieruit volgt dat $n_x > 1$. De waarde van n_x is de waarde van de schaal. Voor een schaal van 1:10 is de waarde van n_x 10.

Deze schaalfactor moet worden toegepast op alle niet dimensieloze parameters. De reductiecoëfficiënten in de formule zijn γ_b , γ_β , γ_f en hebben geen dimensie en hoeven daardoor niet te worden geschaald. Ook $\tan \alpha$ heeft geen dimensie. De volgende parameters uit de formules blijven over: $z_{2\%}$, H_s en L met alledrie de dimensie van lengte. Voor de bepaling of de drie parameters met dezelfde schaalfactor mogen worden vermenigvuldigd wordt de formule als volgt herschreven:

$$n_{z_{2\%}} = n_{H_s} \cdot n_\xi \quad (7)$$

waarin:

$$n_\xi = \frac{1}{\sqrt{\frac{n_{H_s}}{n_L}}} = n_{H_s}^{-1/2} \cdot n_L^{1/2} \quad (8)$$

hieruit volgt:

$$n_{z_{2\%}} = n_{H_s} \cdot n_{H_s}^{-1/2} \cdot n_L^{1/2} \quad (9)$$

$$n_{z_{2\%}} = n_{H_s}^{1/2} \cdot n_L^{1/2} \quad (10)$$

Dit betekent dat voor het experiment de schaalfactor van de golfoploop gelijk moet zijn aan de wortel van de schaalfactor van de golfhoogte maal de wortel van de schaalfactor van de golfhoogte. De schalen van de golfhoogte en lengte hoeven dus niet gelijk te zijn aan de schaal van de golfoploop, maar dat is bij dit experimenten wel het eenvoudigst.

13.5.2 Model voor vetiver gras

Om het experiment met de golfoploop te kunnen beginnen zal er van vetiver gras een schaalmodel gemaakt moeten worden. Een volgroeide plant vetiver gras is te groot om in een model te gebruiken. Een vetiver haag ziet er in werkelijkheid uitzien als een ondoordringbare muur van stevige stengels. Deze stengels bestaan uit een stevige stengel dicht bij de grond, die uitloopt in flexibele bladen. Deze stengels vormen, doordat ze dicht op elkaar groeien, een dichte haag.

Voor het schaalmodel zijn verschillende oplossingen te bedenken:

- losse stengels van vetiver
- houten stokjes of bamboe
- plastic model
- borstels
- bamboe of rietstengels
- bundel plastic stokjes

Alle deze mogelijke oplossingen voor het verscalen van vetiver gras hebben verschillende voor- en nadelen.

De beste oplossing om vetiver gras te verscalen is om gebruik te maken van borstels. In figuur 14.9 is een aanzicht gegeven van een borstel uit een bezem. Vetiver gras wordt op een dijk geplant als losse pollen met een tussenruimte. De stijfheid van de stokjes is aan de onderzijde groter dan die aan de bovenzijde. Dit is ook het geval bij vetiver gras. Bij het gebruik van borstels als model voor vetiver gras hangt de hoogte van de borstels af van de gekozen schaal.



figuur 13.8: borstels uit een bezem

13.6 Aanbevelingen

Uit paragraaf 14.4.2 blijkt dat een borstel het geschiktst is om vetiver gras te modelleren. Om te bepalen wat de invloed is op de golfoploop zal er een schaalmodel moeten worden gemaakt. In dit model zal eerst een omrekeningsfactor moeten worden bepaald. Deze kan bepaald worden door hetzelfde experiment met vetiver gras en met een borstel uit te voeren. Bij beide opstellingen moet de golfoploop worden bepaald en met het verschil kan er een verhoudingscoëfficiënt worden bepaald. Deze proef moet worden uitgevoerd met verschillende hoogtes vetiver gras en borstels. Bijvoorbeeld 5, 10 en 20 centimeter. Uit deze resultaten ontstaan er (in dit voorbeeld drie) verhoudingscoëfficiënten. Het gemiddelde van deze coëfficiënten kan worden gebruikt als omrekeningsfactor. Deze omrekeningsfactor kan later worden gebruikt om de resultaten van het experiment met de golfoploop terug te vertalen naar de werkelijkheid.

Wanneer de omrekeningsfactor bekend is kunnen er verschillende experimenten met de borstels worden uitgevoerd. De parameters die in deze experimenten gevarieerd kunnen worden zijn:

- De golfhoogtes;
- Het hellingspercentage;
- De breedte van de berm;
- Het aantal rijen vetiver gras;
- De hoogte van de waterstand;
- De afstand tussen de rijen vetiver gras.

De experimenten kunnen het beste worden uitgevoerd met regelmatig golven. De resultaten zijn dan eenvoudig te analyseren.

14

Conclusies en aanbevelingen

14.1 Conclusies

Om de kans op overstromingen langs de rivieren te verlagen zijn er verschillende maatregelen te bedenken. Eén hiervan is het verminderen van de golfploop op de dijken. Er wordt hierbij gedacht aan het toepassen van vetiver gras op de berm van de dijk. Vetiver gras kan hiervoor geschikt zijn doordat het lange en sterke stengels heeft en in uiteenlopende gebieden kan groeien. De wortels van vetiver gras kunnen twee tot drie meter lang worden, waarbij ze ook de grond kunnen stabiliseren.

In dit rapport zijn verschillende omstandigheden onderzocht waarmee het vetiver gras als golfploopremmer te maken kan krijgen. Onderzocht zijn de invloed van de waterstand op de lengte van de wortels. De invloed van een zoute omgeving op het gras en wat de gevolgen zijn van het afsterven van een haag of een deel van de vetiver haag. De conclusies die uit deze onderzoeken volgen zijn:

- De stengels van vetiver gras groeien gemiddeld één centimeter per dag en er wordt gemiddeld één nieuwe stengel per week gevormd bij een temperatuur van ongeveer twintig graden Celsius.
- De wortels van vetiver gras vormen een stevig netwerk en houden daarmee de grond bijeen. Een dijklichaam kan door de aanplant van vetiver gras worden verstevigd.
- Een vetiver plant doet er ongeveer zeven maanden over om geheel af te sterven door uitdroging. In deze periode moet een plant geen regenwater krijgen en ver genoeg verwijderd zijn van het grondwater. Wanneer een vetiver plant op een dijklichaam staat, is het grondwater meestal hoog genoeg. Het komt ook zelden voor dat er in een periode van zeven maanden geen regen valt. Bij het aanplanten van vetiver gras als golfploopremmer hoeft men geen angst te hebben dat een volwassen vetiver plant af zal sterven. Wanneer dat onverhoopt toch mocht gebeuren, blijven de wortels intact. De kans op verzwakking van de dijk is om die reden niet aanwezig.
- De waterstand heeft een grote invloed op de lengte van de wortels van vetiver gras. Een vetiver plant maakt wortels die ongeveer veertig centimeter dieper zijn dan de waterstand. Wanneer vetiver gras op een berm wordt geplaatst bij een hoge waterstand wordt het dijklichaam niet erg verstevigd. Er moet bij de aanplant van het gras rekening worden gehouden met de functie die het gras moet vervullen. Bij een diepe waterstand worden de wortels langer en kan het dijklichaam wel worden verstevigd. Bij een wisselende waterstand, die in rivieren vaak voorkomt, hoeft een hoge waterstand geen probleem te zijn, omdat er ook periodes zijn waarbij de waterstand laag is en de wortels verder gaan groeien.
- Het zoutgehalte heeft een grote invloed op de groei van vetiver gras. In een brakke omgeving (in dit rapport is er gekeken naar een zoutgehalte van 9 ‰) wordt de groei van de stengels van het gras geremd. De plant maakt ook minder nieuwe stengels. De opbrengst van dit gras bedraagt ongeveer zestig procent van het gras in een zoete omgeving. Een vetiver plant in een zoute omgeving (in dit rapport is gekeken naar een zoutconcentratie van 35 ‰) sterft de plant langzaam af. Vetiver gras is daarom niet geschikt om als golfploopremmer te gebruiken langs zoute gebieden. In brakke omgevingen, in gebieden waar bijvoorbeeld de uitstroom van rivieren voelbaar is kan

vetiver gras wel worden toegepast. In deze gebieden zal de vorming van dichte hagen wel wat langer duren.

- Om de vermindering van de golfoploop door vetiver gras op de berm te bepalen, zullen er schaalmodellen met vetiver gras worden uitgevoerd. Voor deze modellen moet vetiver gras geschematiseerd worden. Dit kan het beste gebeuren door gebruik te maken van borstels. Deze zijn stijf en vormen een pol, net als vetiver gras.

In dit rapport is ook gekeken of het *Cyperus rotundus* geschikt is als dijkbekleding. Deze plant staat bekend als een bodembedekker en wordt nu in sommige landen al toegepast als dijkbekleding. Om een oordeel te kunnen geven of *Cyperus rotundus* geschikt is als dijkbekleding is er gekeken naar de invloed van zout, de zodekwaliteit en de horizontale groeisnelheid. De conclusies die uit deze onderzoeken volgen zijn:

- Het zout heeft een duidelijke invloed op het *Cyperus rotundus*. De planten in een brakke en zoute omgeving sterven langzaam af. Het *Cyperus rotundus* is daardoor niet geschikt om als dijkbekleding toe te passen in gebieden waarbij de planten in aanraking komen met brak of zout water. Wanneer de planten ver genoeg van het zoute water zijn verwijderd kan het *Cyperus* wel als dijkbekleding worden toegepast.
- Door de zodekwaliteit van *Cyperus rotundus* te vergelijken met gras dat in Nederland wordt toegepast als dijkbekleding valt op dat *Cyperus rotundus* over de hele diepte ongeveer evenveel wortels maakt. In de bovenste laag van de grond is de doorworteling van het *Cyperus rotundus* minder dan die van het gras. In de diepere lagen is de kwaliteit van de doorworteling beter dan die van het gras. *Cyperus rotundus* kan als dijkbekleding worden gebruikt als men er rekening mee houdt dat bij flinke golfaanvallen de bovenste laag kan wegspoelen.
- De bedekkingsgraad van *Cyperus rotundus* neemt bij het uitgevoerde experiment langzaam toe. Het aantal nieuwe stengels ontstaat in de loop van de tijd verder van het midden van de oorspronkelijke planten. Na zeventien weken is er nog geen sprake van een goede bedekking. Wanneer *Cyperus rotundus* op een dijk wordt geplant moet er rekening mee worden gehouden dat er in het begin geen grote golfbelastingen mogen plaatsvinden. Tot de tijd dat de bodem goed bedekt is moeten er andere maatregelen worden genomen om het dijklichaam te beschermen.
- In het experiment van de horizontale groeisnelheid van *Cyperus rotundus* is een plant vetiver gras toegevoegd. De aanwezigheid van vetiver gras heeft geen invloed op de groei van het plantje dat het dichtst bij staat. *Cyperus rotundus* kan op dezelfde dijk worden aangeplant als vetiver gras.

14.2 Aanbevelingen

In deze paragraaf volgen enkele aanbevelingen:

- Wanneer men hagen van vetiver gras wil maken, moeten er geen planten worden gebruikt waarvan de stengels al verdroogd zijn. Naast deze stengels ontstaan geen nieuwe stengels meer en kan er moeilijker een dichte haag worden gevormd.
- Uit het experiment met de worteldichtheid van vetiver gras volgt een logaritmisch verband tussen het aantal wortels en de diepte van de grond. Of dit verband ook geldt voor jongere en oudere planten kan in het vervolg worden onderzocht.
- Vetiver gras kan op verschillende manieren afsterven. In dit rapport is het afsterven onderzocht als gevolg van uitdroging. De vetiver plant doet er in dat geval ongeveer zeven maanden over om geheel af te sterven. Of dit bij andere oorzaken sneller gaat kan in een vervolgonderzoek worden uitgezocht. Hierbij kan ook worden gekeken of in andere gevallen de wortels wel zullen vergaan.
- Een hoge waterstand heeft na een tijdje invloed op de groei van de stengels en de bladen. Deze groei neemt minder snel toe en er ontstaan minder nieuwe stengels dan bij de andere planten. Wat het gevolg is van een langere tijd dat een vetiver plant een waterstand heeft die net zo hoog is als het grondoppervlak kan worden onderzocht door het gedane experiment te herhalen en de plant langer te laten staan.
- In dit rapport zijn alleen planten onderzocht die in het zoute en brakke water staan. De invloed van zogenaamde zoutspray kan in een vervolgonderzoek worden onderzocht. Hierin kunnen de bladen van vetiver gras regelmatig worden besproeid met zout water.
- In dit rapport is een opzet gegeven voor het schaalmodel dat kan worden uitgevoerd met vetiver gras op een dijklichaam. Een haag vetiver gras kan het beste worden geschematiseerd door borstels uit een bezem. De omrekeningsfactor tussen deze borstels en vetiver gras kan door een experiment worden onderzocht. Wanneer deze factor bekend is, kan de invloed van vetiver gras op de hagen worden onderzocht, zie ook paragraaf 13.6.
- Naar het *Cyperus rotundus* zal meer onderzoek moeten worden gedaan. Met de drie experimenten die in dit rapport zijn uitgevoerd valt niet te bepalen of het *Cyperus rotundus* geschikt is als dijkbekleding. Het experiment in het zoete water en het experiment met de horizontale groeisnelheid spreken elkaar tegen. De plant in het zoete water maakt in de loop van de tijd steeds meer stengels, terwijl dat niet gebeurt in het experiment met de horizontale groeisnelheid. Dit kan veroorzaakt zijn doordat de bak waarin het *Cyperus rotundus* geplant is, niet diep genoeg is. Door dat experiment nog een keer uit te voeren kan dit worden gecontroleerd. Als vervolg op dat experiment kan nog een erosiesproeioproef worden uitgevoerd.
- Uit het experiment is gebleken dat *Cyperus rotundus* in een brakke omgeving (zoutconcentratie 9 ‰) langzaam afsterft. Of *Cyperus rotundus* wel geschikt is om toe te passen in een omgeving met een lagere zoutconcentratie zal door een ander experiment kunnen worden uitgezocht.
- Er is onderzoek gedaan naar de zodekwaliteit van *Cyperus rotundus* in vergelijking met het gras dat in Nederland wordt toegepast. Het onderzoek is uitgevoerd met een plant *Cyperus rotundus* in een potje. Dit potje had een diepte van ongeveer twaalf centimeter. De beworteling van *Cyperus rotundus* is anders dan dat van het gras. Daardoor zal er nog een onderzoek moeten worden uitgevoerd naar de beworteling van *Cyperus rotundus* dieper in de grond.

Literatuurlijst

- [1] d'Angremond, K en Roode, F.C. van, *Breakwaters and closure dams*, Delft, Delft University Press, 2001
- [2] Audesirk, T en Audesirk, G, *Biology, Life on earth*, New Jersey, Prentice-Hall, Inc, 1999
- [3] Baars, S. van, et.all., *Dictaat CT 3330 Handboek Constructieve Waterbouw*, Delft, TUDelft, 2002
- [4] Battjes, J.A., Booij, N. en Hooimeijer, M.A., *Dictaat CTow1090 Modelvorming*, Delft, TUDelft, 2000
- [5] Battjes, J.A., *Dictaat CT 4320 Korte Golven*, Delft, TUDelft, 2001
- [6] *Binas*, Groningen, Wolters-Noordhoff bv., 1992
- [7] *Biologie voor jou*, deel 1 MHV, Landelijke Pedagogische Centra, Den Bosch, Malmberg, 1994
- [8] *Biologie voor jou*, deel 4 VM, Landelijke Pedagogische Centra, Den Bosch, Malmberg, 1996
- [9] Coppin, N.J. en Richards, I.G., *Use of vegetation in Civil Engineering*, Butterworths/ CIRIA, 1990
- [10] *CUR-publicatie 168a Oeverbeschermingsmaterialen*, Gouda, Stichting CUR, 1994
- [11] *CUR-publicatie 201 Natuurvriendelijke oevers: belasting en sterkte*, Gouda, Stichting CUR, 1999.
- [12] MacClave, James T, *Statistiek, een inleiding voor het hoger onderwijs*, Pearson Education, 2003
- [13] Meer, J.W. van der, *Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken*, Delft, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 2002
- [14] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland, Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 – 2006 (VTV)*, Delft, 2004
- [15] Muijs, J.A., *Grasmat als dijkbekleding*, Delft, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1999
- [16] Schiereck, Gerrit J., *Introduction to Bed, bank and shore protection*, Delft, Delft University Press, 2001
- [17] Sprangers, Hans, *Extensief graslandbeheer op zeedijken*, Nijmegen, Koninklijke drukkerij G.J. Thieme bv, 1996
- [18] Venema, J.E. en Meer, J.W. van der, *Invloedsfactoren voor de ruwheid van toplagen bij golfoploop en overslag, bijlage bij het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij dijken*, Delft, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002
- [19] Verheij, H.J. e.a., *Technisch Rapport Erosiebestendigheid van Grasland als Dijkbekleding*, Delft, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1998

- [20] *Vetiver grass: A thin green line against erosion*, Washington DC, National Academy Press, 1993
- [21] Vogel, G en Angermann, H, *Sesam Atlas bij de biologie*, Baarn, Bosch & Keuning N.V., 1970.
- [22] Vries, M. de, *Scale models in hydraulic engineering*, Delft, 1982
- [23] Vetiver Newsletter 4
- [24] Vetiver Newsletter 6
- [25] Vetiver Newsletter 8

Websites

- [26] http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_FW015
- [27] <http://extension.usu.edu/publica/agpubs/salini.htm>
- [28] <http://nl.wikipedia.org/wiki>
- [29] <http://threeissues.sdsu.edu/coquillofig33.gif>
- [30] <http://www.actuelewaterdata.nl>
- [31] <http://www.cdfa.ca.gov/phpps/ipc/weedinfo/cyperus/htm>
- [32] http://www.chaipat.or.th/vetiver/vetiver_e.html
- [33] <http://www.digischool.nl/bi/pbb/alfabet.php?letter=W>
- [34] <http://www.digischool.nl/bioplek/animations/cel/celstrekking.swf>
- [35] [http://www.efa.nl/opleidingen/wntv.biologie/cdw/biologie/cdw/almanak/5prcurs/fysiol/pla
ntfysiol/wortel.htm](http://www.efa.nl/opleidingen/wntv.biologie/cdw/biologie/cdw/almanak/5prcurs/fysiol/pla
ntfysiol/wortel.htm)
- [36] <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/data/PF000340.HTM>
- [37] http://www.louisbolk.nl/downloads/lv52/lv52_h7.pdf
- [38] <http://www.nrm.qld.gov.au/factsheets/pdf/land/LM34w.pdf>
- [39] <http://www.louisbolk.nl/downloads/vlugschriften/78.pdf>
- [40] http://www.ppws.vt.edu/scott/weed_id/cypro.htm
- [41] http://www.ppws.vt.edu/scott/weed_id/purplenutsedge10-28b.jpg
- [42] <http://www.regional.org.au/au/asa/1996/contributed/550truong.thm>
- [43] <http://www.sabella.be/modules.php?name=News&file=print&sid=5>
- [44] [http://www.traverse.nl/sharepointsite.com/Traverse/LPNO/Shared%20Documents/Riet%2
Oen%20mattenbies.doc](http://www.traverse.nl/sharepointsite.com/Traverse/LPNO/Shared%20Documents/Riet%2
Oen%20mattenbies.doc)
- [45] <http://www.vcbio.sci.kun.nl/virtuallessons/leaf/photosynthesis/>
- [46] <http://www.vetiver.com>
- [47] http://www.vetiver.com/AUS_environ.htm
- [48] http://www.vetiver.com/AUS_Hedges15.htm
- [49] http://www.vetiver.com/AUS_stabilization.htm
- [50] http://www.vetiver.com/AUS_Queensland%20WS7.htm,
- [51] http://www.vetiver.com/AUS_weediness.pdf
- [52] http://www.vetiver.com/ICV3-Proceedings/THAI_highway_stab.pdf
- [53] http://www.vetiver.com/ICV3-Proceedings/VNN_wave_current.pdf
- [54] http://www.vetiver.com/ICV3-Proceedings/MAD_rail_stab.pdf
- [55] http://www.vetiver.com/ICV3-Proceedings/AUS_Landfill.pdf
- [56] http://www.vetiver.com/MAL_PK.Yoon%20Look%20see/PART1/DATA/P_C.htm
- [57] http://www.vetiver.com/TVN_vgt.htm,
- [58] http://www.vetiver.com/TVN_greenEng.pdf
- [59] http://www.vetiver.com/TVN_distribution
- [60] http://www.vetiver.com/TVN_technicalspecs.htm

Bijlagen

Bijlage 1: Afsterven vetiver gras

Bijlage 2: De invloed van het water op vetiver gras

**Bijlage 3: Omrekeningstabel dichtheid – saliniteit en
omrekeningstabel geleidbaarheid - saliniteit**

Bijlage 4: De invloed van zout op vetiver gras

Bijlage 5: De invloed van zout op *Cyperus rotundus*

Bijlage 6: Afsterven van *Cyperus rotundus* in zout

Bijlage 7: Horizontale groeisnelheid van *Cyperus rotundus*

Bijlage 8: Statistiek

Bijlage 9: Biologie

Bijlage 10: Golfkenmerken

Bijlage 1: Afsterven vetiver gras

In deze bijlage wordt een fotoreportage gegeven van het afsterven van vetiver gras. Het experiment met deze plant is uitgebreid beschreven in hoofdstuk 8.



week 0



week 1



week 2



week 3



week 4



week 5



week 6



week 7



week 8



week 9



week 10



week 11



week 12



week 13



week 14



week 15



week 16



week 17



week 18



week 19



week 20



week 21



week 22



week 23



week 24



week 25



week 26



week 27



week 28



week 29



week 30



week 31



week 32

Bijlage 2: De invloed van het water op vetiver gras

In deze bijlage wordt een foto overzicht gegeven van de invloed van een verschillende waterstand op vetiver gras. Ook de meetresultaten van de aparte stengels van het gras worden in deze bijlage gegeven. Het eerste overzicht is van de plant met een lage waterstand. Het waterniveau was ongeveer 3,5 centimeter boven de onderkant van de bak. Het tweede overzicht is van de plant met een hoge waterstand. In deze bak stond het water tot bijna aan het oppervlak. In het derde overzicht is de plant met de gemiddelde waterstand weergegeven. Het water stond tot ongeveer halverwege de bak.

In het overzicht is te zien dat de plant met de hoge waterstand het iets minder goed doet dan de andere twee planten. De pol is aan het einde van het experiment minder dik. De hele beschrijving van dit experiment is terug te vinden in hoofdstuk 9.

Vetiver gras met een lage waterstand

dag 0



dag 11



dag 15



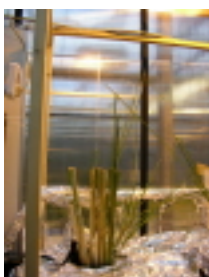
dag 18



dag 22



dag 25



dag 28



dag 31



dag 36



dag 39



dag 43



dag 46



dag 49



dag 52



dag 56



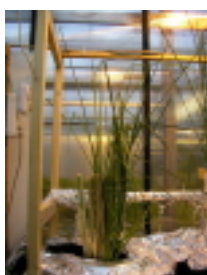
dag 59



dag 63



dag 66



dag 70



dag 73



dag 77



dag 80



dag 84



dag 87



dag 91



dag 94



dag 98



dag 101



dag 105



dag 108



dag 112



dag 115



dag 120



dag 122



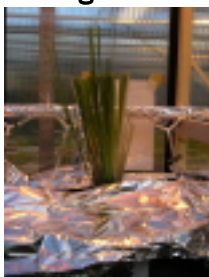
dag 127



dag 130

Vetiver gras met een hoge waterstand

dag 0



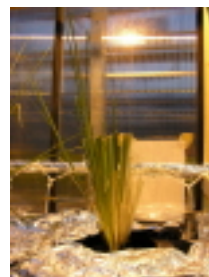
dag 11



dag 15



dag 18



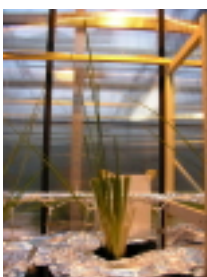
dag 22



dag 25



dag 28



dag 31



dag 36



dag 39



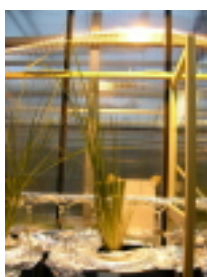
dag 43



dag 46



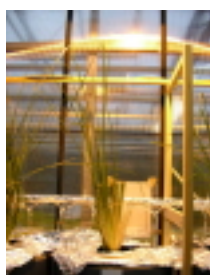
dag 49



dag 52



dag 56



dag 59



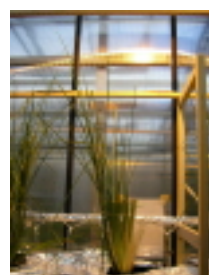
dag 63



dag 66



dag 70



dag 73



dag 77



dag 80



dag 84



dag 87



dag 91



dag 94



dag 98



dag 101



dag 105



dag 108



dag 112



dag 115



dag 120



dag 122



dag 127



dag 130

Vetiver gras met een gemiddelde waterstand

dag 0



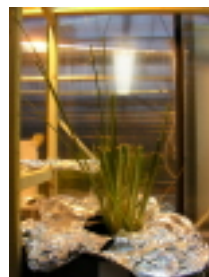
dag 11



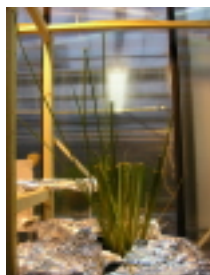
dag 15



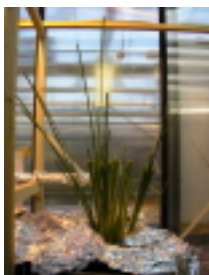
dag 18



dag 22



dag 25



dag 28



dag 31



dag 36



dag 39



dag 43



dag 46



dag 49



dag 52



dag 56



dag 59



dag 63



dag 66



dag 70



dag 73



dag 77



dag 80



dag 84



dag 87



dag 91



dag 94



dag 98



dag 101



dag 105



dag 108



dag 112



dag 115



dag 120



dag 122



dag 127



dag 130

Bijlage 3: Omrekeningstabel dichtheid – saliniteit en omrekeningstabel geleidbaarheid – saliniteit

In deze bijlage wordt de omrekeningstabel weergegeven tussen de dichtheid van het water en het zoutgehalte. Maar deze tabel is in hoofdstuk 10 vooral gebruikt om de saliniteit van het experiment om te rekenen in geleidbaarheid om deze te kunnen vergelijken.

			Omrekeningstabel dichtheid - saliniteit								
			Zoutgehalte in g/l								
Temperatuur	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
20°	1,02095	1,02171	1,02248	1,02324	1,02400	1,02476	1,02553	1,02629	1,02705	1,02782	1,02858
21°	1,02069	1,02145	1,02221	1,02297	1,02373	1,02450	1,02526	1,02602	1,02678	1,02754	1,02831
22°	1,02043	1,02118	1,02194	1,0227	1,02346	1,02422	1,02498	1,02574	1,02650	1,02726	1,02802
23°	1,02015	1,0209	1,02166	1,02242	1,02318	1,02394	1,02469	1,02545	1,02621	1,02697	1,02773
24°	1,01986	1,02062	1,02137	1,02213	1,02289	1,02364	1,02440	1,02516	1,02592	1,02667	1,02743
25°	1,01957	1,02032	1,02108	1,02183	1,02259	1,02334	1,02410	1,02486	1,02561	1,02637	1,02713
26°	1,01927	1,02002	1,02077	1,02153	1,02228	1,02304	1,02379	1,02455	1,02530	1,02606	1,02681
27°	1,01896	1,01971	1,02046	1,02121	1,02197	1,02272	1,02347	1,02423	1,02498	1,02574	1,02649
28°	1,01864	1,01939	1,02014	1,02089	1,02165	1,02240	1,02315	1,02390	1,02465	1,02541	1,02616
29°	1,01832	1,01907	1,01982	1,02057	1,02132	1,02207	1,02282	1,02357	1,02432	1,02507	1,02583
30°	1,01799	1,01873	1,01948	1,02023	1,02098	1,02173	1,02248	1,02323	1,02398	1,02473	1,02548
			Omrekeningstabel geleidbaarheid - saliniteit								
			Geleidbaarheid in mS/cm								
Saliniteit	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Geleidbaarheid	46,26	47,52	48,99	50,36	51,71	53,06	54,41	55,75	57,08	58,41	59,73

Bron: [43]

Bijlage 4: De invloed van zout op vetiver gras

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de invloed van het zout op vetiver gras. In deze bijlage worden ook de meetresultaten van de aparte stengels gegeven en een foto overzicht. Het eerste overzicht is die van vetiver gras in een zoete omgeving. Het tweede overzicht is vetiver in een brakke omgeving en het derde overzicht is die van vetiver gras in een zoute omgeving. Het verschil tussen deze drie planten is goed te zien. De plant in het zoete water doet het vergelijkbaar met de planten uit bijlage 2. De planten in het brakke en zoute water doen het minder en de plant in het zoute water sterft langzaam af. Een beschrijving van dit experiment is terug te vinden in hoofdstuk 10.

Vetiver gras met een zoutgehalte van 0 ‰

dag 0



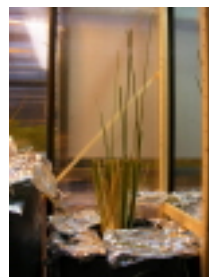
dag 11



dag 15



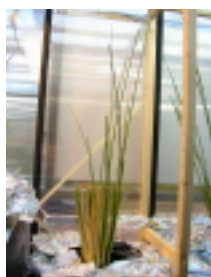
dag 18



dag 22



dag 25



dag 28



dag 31



dag 36



dag 39



dag 43



dag 46



dag 49



dag 52



dag 56



dag 59



dag 63



dag 66



dag 70



dag 73



dag 77



dag 80



dag 84



dag 87



dag 91



dag 94



dag 98



dag 101



dag 105



dag 108



dag 112



dag 115



dag 120



dag 122



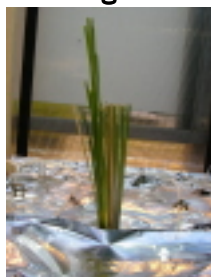
dag 127



dag 130

Vetiver gras met een zoutgehalte van 9 %

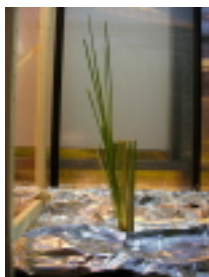
dag 0



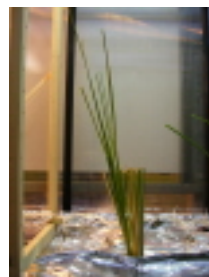
dag 11



dag 15



dag 18



dag 22



dag 25



dag 28



dag 31



dag 36



dag 39



dag 43



dag 46



dag 49



dag 52



dag 56



dag 59



dag 63



dag 66



dag 70



dag 73



dag 77



dag 80



dag 84



dag 87



dag 91



dag 94



dag 98



dag 101



dag 105



dag 108



dag 112



dag 115



dag 120



dag 122



dag 127



dag 130

Vetiver gras met een zoutgehalte van 35 ‰

dag 0



dag 11



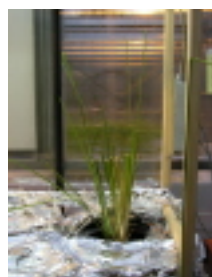
dag 15



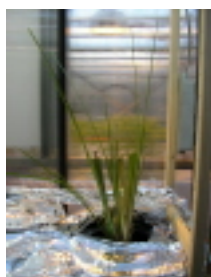
dag 18



dag 22



dag 25



dag 28



dag 31



dag 36



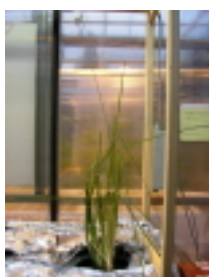
dag 39



dag 43



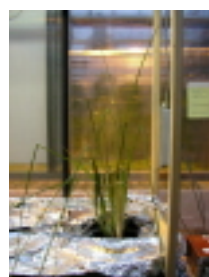
dag 46



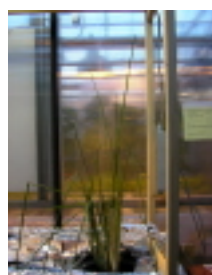
dag 49



dag 52



dag 56



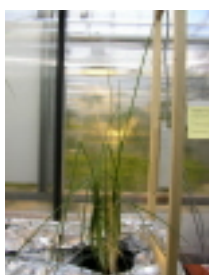
dag 59



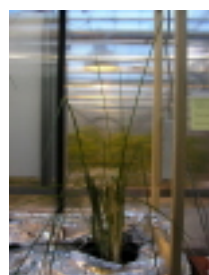
dag 63



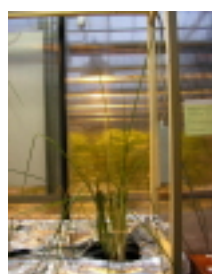
dag 66



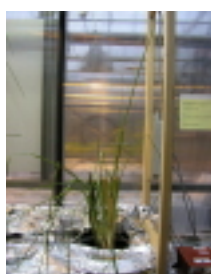
dag 70



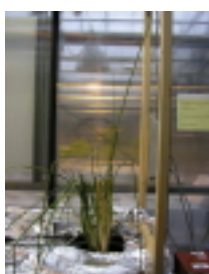
dag 73



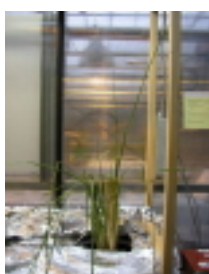
dag 77



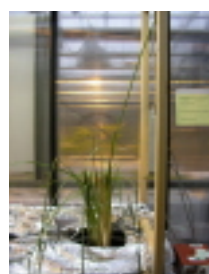
dag 80



dag 84



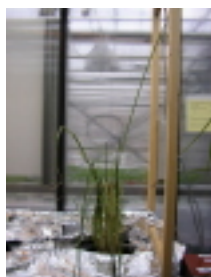
dag 87



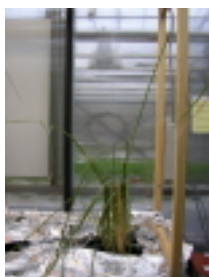
dag 91



dag 94



dag 98



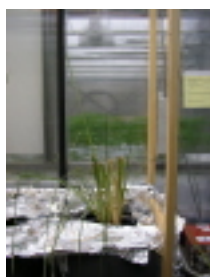
dag 101



dag 105



dag 108



dag 112



dag 115



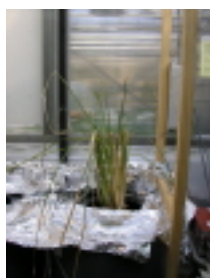
dag 120



dag 122



dag 127



dag 130



dag 178

Bijlage 5: De invloed van zout op *Cyperus rotundus*

In deze bijlage wordt een foto overzicht gegeven van de invloed van zout op *Cyperus rotundus*. De invloed van het zout is duidelijk terug te zien in de foto's. De planten in het brakke en zoute water sterven langzaam af, terwijl de plant in het zoete water het steeds beter gaat doen.

Cyperus rotundus met een zoutgehalte van 0 %

dag 0



dag 4



dag 7



dag 17



dag 20



dag 25



dag 28



dag 32



dag 35



dag 38



dag 41



dag 45



dag 48



dag 52



dag 55



dag 59



dag 62



dag 66



dag 69



dag 73



dag 76



dag 80



dag 83



dag 87



dag 90



dag 94



dag 97



dag 101



dag 104



dag 109



dag 111



dag 116



dag 119

Cyperus rotundus met een zoutgehalte van 9 %

dag 0



dag 4



dag 7



dag 17



dag 20



dag 25



dag 28



dag 32



dag 35



dag 38



dag 41



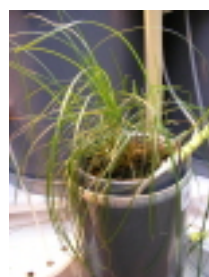
dag 45



dag 48



dag 52



dag 55



dag 59



dag 62



dag 66



dag 69



dag 73



dag 76



dag 80



dag 83



dag 87



dag 90



dag 94



dag 97



dag 101



dag 104



dag 109



dag 111



dag 116



dag 119

Cyperus rotundus met een zoutgehalte van 35 ‰

dag 0



dag 4



dag 7



dag 17



dag 20



dag 25



dag 28



dag 32



dag 35



dag 38



dag 41



dag 45



dag 48



dag 52



dag 55



dag 59



dag 66



dag 69



dag 73



dag 76



dag 80



dag 83



dag 87



dag 90



dag 94



dag 97



dag 101



dag 104



dag 109



dag 111



dag 116



dag 119

Bijlage 6: Afsterven van *Cyperus rotundus* in zout

In deze bijlage worden de percentages gegeven van het aantal gele stengel van een plant *Cyperus rotundus* met verschillende zoutgehaltes. In hoofdstuk 11 is de bijbehorende grafiek te zien en wordt het experiment beschreven waaruit deze resultaten volgen.

dagnr	Afsterven plant 0 ‰			Afsterven plant 9 ‰			Afsterven plant 35 ‰		
	Aantal stengels	Aantal gele	Percentage	Aantal stengels	Aantal gele	Percentage	Aantal stengels	Aantal gele	Percentage
4	17	2	11,8	19	1	5,3	11	2	18,2
7	17	2	11,8	19	1	5,3	11	4	36,4
11	17	2	11,8	19	1	5,3	11	4	36,4
14	17	2	11,8	19	1	5,3	11	4	36,4
17	21	2	9,5	19	1	5,3	11	4	36,4
20	23	2	8,7	21	1	4,8	12	4	33,3
25	26	2	7,7	23	1	4,3	13	4	30,8
28	29	2	6,9	24	2	8,3	14	4	28,6
32	31	2	6,5	25	3	12,0	14	4	28,6
35	31	3	9,7	26	3	11,5	14	4	28,6
38	32	3	9,4	27	3	11,1	14	4	28,6
41	32	3	9,4	27	3	11,1	14	4	28,6
45	33	3	9,1	27	3	11,1	14	4	28,6
48	33	3	9,1	28	4	14,3	14	4	28,6
52	33	3	9,1	29	4	13,8	14	4	28,6
55	33	3	9,1	31	4	12,9	14	4	28,6
59	33	3	9,1	32	4	12,5	14	4	28,6
62	34	3	8,8	32	5	15,6	14	4	28,6
66	35	3	8,6	32	5	15,6	14	5	35,7
69	35	3	8,6	32	5	15,6	14	5	35,7
73	35	3	8,6	32	6	18,8	14	5	35,7
76	36	3	8,3	32	6	18,8	14	5	35,7
80	36	4	11,1	32	6	18,8	14	5	35,7
83	39	4	10,3	34	6	17,6	14	5	35,7
87	41	4	9,8	34	6	17,6	14	5	35,7
90	43	4	9,3	34	6	17,6	14	6	42,9
94	46	4	8,7	34	6	17,6	14	7	50,0
97	46	4	8,7	34	6	17,6	14	8	57,1
101	48	4	8,3	34	6	17,6	14	8	57,1
104	50	4	8,0	34	6	17,6	14	8	57,1
109	56	4	7,1	34	7	20,6	14	8	57,1
111	56	4	7,1	34	9	26,5	14	9	64,3
116	62	4	6,5	35	13	37,1	14	10	71,4
119	67	4	6,0	35	13	37,1	14	10	71,4
122	75	4	5,3	36	14	38,9	14	11	78,6
125	82	4	4,9	37	14	37,8	14	12	85,7

Bijlage 7: Horizontale groeisnelheid van *Cyperus rotundus*

In deze bijlage wordt een foto overzicht gegeven van de groei van *Cyperus rotundus*. Twee *Cyperus rotundus* planten zijn in een bak gezet samen met een vetiver plant. Van deze *Cyperus rotundus* planten wordt de afstand van de nieuwe stengels gemeten ten opzichte van het midden van de oorspronkelijke plant. In hoofdstuk 12 wordt dit experiment beschreven.

Bovenaanzicht van *Cyperus rotundus*, waarin de plaats van de nieuwe stengels is weergegeven door de zwarte rondjes.



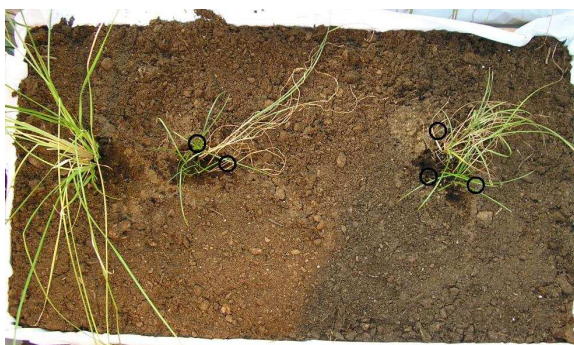
week 10



week 11



week 12



week 13



week 14



week 15



week 16



week 17



week 18



week 19



week 20



week 21



week 22



week 23



week 24



week 25



week 26



week 27

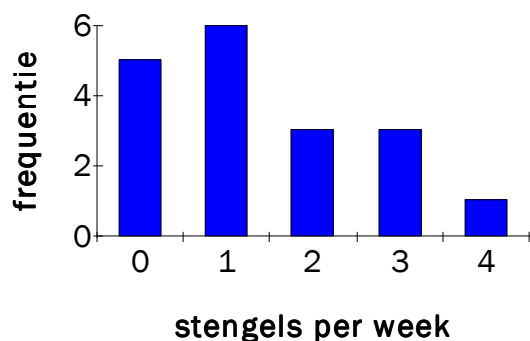
Bijlage 8: Statistiek

In deze bijlage wordt de statistiek die in dit rapport wordt gebruikt nader uitgelegd [12].

Statistische bepalingen

In deze bijlage wordt uitgelegd op welke manier het gemiddelde, de mediaan, de variantie en de standaarddeviatie worden berekend. Dit wordt gedaan aan de hand van een getallenvoorbeeld. In dit geval de meetresultaten van het aantal nieuwe stengels van vetiver gras met een lage waterstand.

De resultaten uit de metingen kunnen in onderstaand histogram worden geschematiseerd:



figuur B8.1: histogram van het aantal stengels die per week ontstaan zijn bij vetiver gras met een lage waterstand

De waarden zijn voor de lage waterstand: 5 x 0, 6 x 1, 3 x 2, 3 x 3 en 1 x 4 nieuwe stengels. Totaal zijn er achttien waarnemingen.

Het gemiddelde van een verzameling kwantitatieve gegevens is de som van de metingen gedeeld door het aantal metingen in de gegevensverzameling.

Het gemiddelde is: $\frac{(5 \cdot 0) + (6 \cdot 1) + (3 \cdot 2) + (3 \cdot 3) + (1 \cdot 4)}{18} = 1,39$ stengels per week

De mediaan is het middelste getal van een gegevensverzameling bij een rangschikking in opklimmende orde. Bij een oneven aantal meetwaarden is dit het middelste getal en bij een even aantal meetwaarden is dit het gemiddelde van de twee middelste getallen.

De mediaan is in dit geval: $\frac{1+1}{2} = 1$

Deze waarde is kleiner dan het gemiddelde, wat betekent dat de gegevensverzameling afwijkt van de Gausscurve en scheef naar rechts is. Wanneer de mediaan groter dan het gemiddelde is, is de curve scheef naar links.

Om een idee te krijgen van de spreiding van de meetwaarden worden de variantie en de standaarddeviatie berekend.

De variantie van een verzameling van n meetwaarden is gelijk aan de som van de gekwadrateerde afwijkingen van het gemiddelde, gedeeld door $(n - 1)$. In symbolen is dit:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

$$s^2 = \frac{(0-1,39)^2 \cdot 5 + (1-1,39)^2 \cdot 6 + (2-1,39)^2 \cdot 3 + (3-1,39)^2 \cdot 3 + (4-1,39)^2 \cdot 1}{17} = 1,55$$

De standaarddeviatie wordt gedefinieerd als de positieve wortel uit de variantie s^2 .

$$\sigma = \sqrt{s^2} = 1,24$$

Kleinste kwadraten methode

In hoofdstuk 8 wordt voor het afsterven van vetiver gras de meest passende lijn bepaald tussen de gemeten punten. Hoe dat precies is gebeurd wordt hieronder uitgelegd. Met de waarden uit hoofdstuk 8.

De lijn langs de punten die bepaald zijn bij het afsterven van een plant vetiver gras kan worden bepaald met behulp van de kleinste kwadraten methode. De lijn is lineair en heeft de vorm van $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$ en wordt de kleinste kwadraten lijn genoemd. Deze lijn heeft de eigenschappen dat de som van de fouten nul is en de som van de kwadraten van de fouten zo klein mogelijk is. De formules voor de waarden van β_0 en β_1 zijn:

$$\text{helling: } \hat{\beta}_1 = \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}}$$

$$\text{Snijpunt met de y-as: } \hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$SS_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$$

$$SS_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2 = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}$$

n = steekproefomvang

De dakjes boven een letter geven aan dat het een schatting betreft. De streepjes boven een letter geven aan dat het getal een gemiddelde is.

In het geval van het afsterven van vetiver gras, zie hoofdstuk 8, zijn de gegevens als volgt:

	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$	y_i^2
	0	0	0	0	0
	7	25	49	175	625
	14	50	196	700	2500
	23	75	529	1725	5625
	31	95	961	2945	9025
totaal	75	245	1735	5545	17775

$$SS_{xy} = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n} = 5545 - \frac{75 \cdot 245}{5} = 1870$$

$$SS_{xx} = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} = 1735 - \frac{75^2}{5} = 610$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}} = \frac{1870}{610} = 3,07$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} = \frac{245}{5} - 3,07 \cdot \frac{75}{5} = 3,02$$

kleinste kwadraten lijn: $y = 3,02 + 3,07x$

Controle:

x	y	$\hat{y} = 3,02 + 3,07 x$	$(y - \hat{y})$	$(y - \hat{y})^2$
0	0	3,02	-3,02	9,10
7	25	24,48	0,52	0,28
14	50	45,93	4,07	16,53
23	75	73,52	1,48	2,18
31	95	98,05	-3,05	9,30
			Som fouten = 0	SSE = 37,38

De variantie is een maat voor de breedte van een verdeling. Het is een soort gemiddelde van de kwadraten van de afwijkingen van de metingen ten opzichte van het gemiddelde.

De variantie σ^2 wordt bepaald door:

$$\sigma^2 = \frac{SSE}{\text{aantal vrijheidsgraden voor fout}} = \frac{SSE}{n-2} = \frac{37,38}{3} = 12,46$$

De standaarddeviatie σ kan worden geschat door:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 3,53$$

Chi-kwadraat toets

Een Chi-kwadraat toets wordt gebruikt om te zien of waargenomen aantallen systematisch afwijken van de verwachte aantallen. Deze methode is toegepast in hoofdstuk 9 en 10. In deze hoofdstukken worden de gemeten waarden vergeleken met de waarden die in de literatuur worden genoemd.

De Chi-kwadraat waarde wordt op de volgende wijze berekend:

$$X^2 = \frac{[n_1 - E(n_1)]^2}{E(n_1)} + \frac{[n_2 - E(n_2)]^2}{E(n_2)} + \text{enz.}$$

Vooraf moet een hypothese worden gesteld, voor hetgeen dat onderzocht wordt.

Hieronder wordt een voorbeeld gegeven voor de bepaling van de Chi-kwadraat waarde van vetiver gras met een lage waterstand. De hypothese hiervoor is dat er één nieuwe stengel per week ontstaat.

weeknr	gemeten	Verwacht volgens literatuur	X ²
1	0	1	1
2	0	1	1
3	1	1	0
4	3	1	4
5	0	1	1
6	0	1	1
7	1	1	0
8	2	1	1
9	1	1	0
10	2	1	1
11	1	1	0
12	0	1	1
13	4	1	9
14	1	1	0
15	3	1	4
16	2	1	1
17	1	1	0
18	3	1	4
		som	29

Het aantal vrijheidsgraden is het aantal metingen min 1. In dit is het aantal vrijheidsgraden 17. Uit de tabel op de volgende pagina's kan aan de hand van een gekozen overschrijdingskans de hypothese worden aangenomen of worden verworpen. Voor dit experiment is een overschrijdingskans van 10 % gekozen. Wanneer de waarde van X² groter is dan de waarde die uit de tabel volgt moet de hypothese worden verworpen. In dit geval is de waarde uit de tabel: 24,7690. Deze waarde is kleiner dan de waarde van X², dus de hypothese moet worden verworpen.

Als de kans dat een gevonden afwijking door het toeval is ontstaan kleiner is dan 5%, zijn de resultaten van de steekproef significant. Wanneer de kans dat de afwijking door het toeval is ontstaan kleiner is dan 1 % zijn de resultaten van de steekproef zeer significant.

Kritieke waarden van X^2 [12]:

aantal vrijheidsgraden	chi ² 0,995	chi ² 0,990	chi ² 0,975	chi ² 0,950	chi ² 0,900
1	0,0000393	0,0001571	0,0009821	0,0039321	0,0157908
2	0,0100251	0,0201007	0,0506356	0,102587	0,21072
3	0,0717212	0,114832	0,215795	0,351846	0,584375
4	0,206990	0,297110	0,484419	0,710721	1,063623
5	0,411740	0,554300	0,831211	1,145476	1,61031
6	0,675727	0,872085	1,237347	1,63539	2,20413
7	0,989265	1,239043	1,68987	2,16735	2,83311
8	1,344419	1,646482	2,17973	2,73264	3,48954
9	1,734926	2,087912	2,70039	3,32511	4,16816
10	2,15585	2,55821	3,24697	3,94030	4,86518
11	2,60321	3,05347	3,81575	4,57481	5,57779
12	3,07382	3,57056	4,40379	5,22603	6,30380
13	3,56503	4,10691	5,00874	5,89186	7,04150
14	4,07468	4,66043	5,62872	6,57063	7,78953
15	4,60094	5,22935	6,26214	7,26094	8,54675
16	5,14224	5,81221	6,90766	7,96164	9,31223
17	5,69724	6,40776	7,56418	8,67176	10,0852
18	6,26481	7,01491	8,23075	9,39046	10,8649
19	6,84398	7,63273	8,90655	10,1170	11,6509
20	7,43386	8,26040	9,59083	10,8508	12,4426
21	8,03366	8,89720	10,28293	11,5913	13,2396
22	8,64272	9,54249	10,9823	12,3380	14,0415
23	9,26042	10,1957	11,6885	13,0905	14,8479
24	9,88623	10,8564	12,4011	13,8484	16,6587
25	10,5197	11,5240	13,1197	14,6114	16,4734
26	11,1603	12,1981	13,8439	15,3791	17,2919
27	11,8076	12,8786	14,5733	16,1513	18,1138
28	12,4613	13,5648	15,3079	16,9279	18,9392
29	13,1211	14,2565	16,0471	17,7083	19,7677
30	13,7867	14,9535	16,7908	18,4926	20,5992
40	20,7065	22,1643	24,4331	26,5093	29,0505
50	27,9907	29,7067	32,3574	34,7642	37,6886
60	35,5346	37,4848	40,4817	43,1879	46,4589
70	43,2752	45,4418	48,7576	51,7393	55,3290
80	51,1720	53,5400	57,1532	60,3915	64,2778
90	59,1963	61,7541	65,6466	69,1260	73,2912
100	67,3276	70,0648	74,2219	77,9295	82,3581

aantal vrijheidsgraden	chi ² 0,100	chi ² 0,050	chi ² 0,025	chi ² 0,010	chi ² 0,005
1	2,70554	3,84146	5,02389	6,6349	7,87944
2	4,60517	5,99147	7,37776	9,21034	10,5966
3	6,25139	7,81473	9,34840	11,3449	12,8381
4	7,77944	9,48773	11,1433	13,2767	14,8602
5	9,23635	11,0705	12,8325	15,0863	16,7496
6	10,6446	12,5916	14,4494	16,8119	18,5476
7	12,0170	14,0671	16,0128	18,4753	20,2777
8	13,3616	15,5073	17,5346	20,0902	21,9550
9	14,6837	16,9190	19,0228	21,6660	23,5893
10	15,9871	18,3070	20,4831	23,2093	25,1882
11	17,2750	19,6751	21,9200	24,7250	26,7569
12	18,5494	21,0261	23,3367	26,2170	28,2995
13	19,8119	22,3621	24,7356	27,6883	29,8194
14	21,0642	23,6848	26,1190	29,1413	31,3193
15	22,3072	24,9958	27,4884	30,5779	32,8013
16	23,5418	26,2962	28,8454	31,9999	34,2672
17	24,7690	27,5871	30,1910	33,4087	35,7185
18	25,9894	28,8693	31,5264	34,8053	37,1564
19	27,2036	30,1435	32,8523	36,1908	38,5822
20	28,4120	31,4104	34,1696	37,5662	39,9968
21	29,6151	32,6705	35,4789	38,9321	41,4010
22	30,8133	33,9244	36,7807	40,2894	42,7956
23	32,0069	35,1725	38,0757	41,6384	44,1813
24	33,1963	36,4151	39,3641	42,9798	45,5585
25	34,3816	37,6525	40,6465	44,3141	46,9278
26	35,5631	38,8852	41,9232	45,6417	48,2899
27	36,7412	40,1133	43,1944	46,9630	49,6449
28	37,9159	41,3372	44,4607	48,2782	50,9933
29	39,0875	42,5569	45,7222	49,5879	52,3356
30	40,2560	43,7729	46,9792	50,8922	53,6720
40	51,8050	55,7585	59,4317	63,6907	66,7659
50	63,1671	67,5048	71,4202	76,1539	79,4900
60	74,3970	79,0819	83,2976	88,3794	91,9517
70	85,5271	90,5312	95,0231	100,425	104,215
80	96,5782	101,879	106,629	112,329	116,321
90	107,565	113,145	118,136	124,116	128,299
100	118,498	124,342	129,561	135,807	140,169

Bijlage 9: Biologie

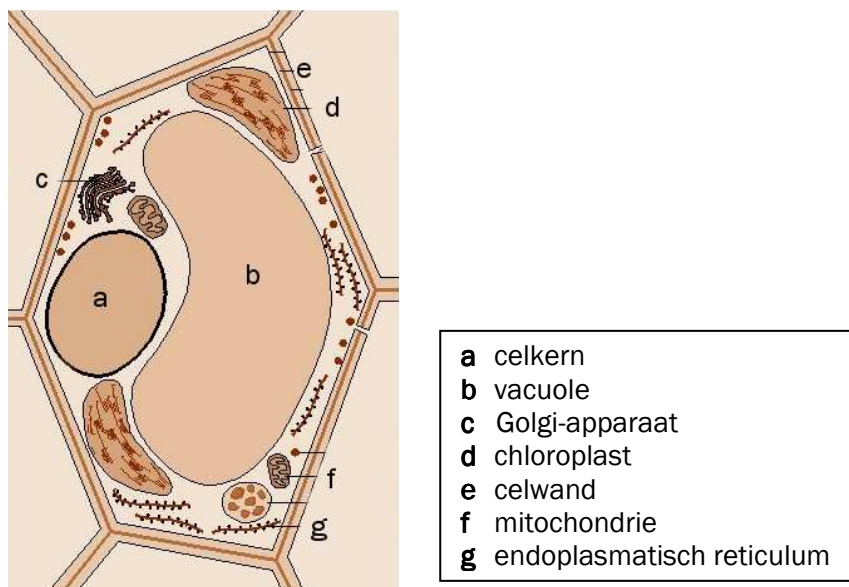
In deze bijlage worden de biologische begrippen die in het rapport worden genoemd nader uitgelegd.

De plantencel

Alle planten bestaan uit hetzelfde kleine onderdeel: de plantencel. Deze cel bevat cytoplasma en verschillende organellen. Dit zijn de onderdelen van een cel met een bepaalde functie en maken daardoor de verschillende celprocessen mogelijk. De plantencel is omgeven door een celwand, waardoor de cellen star zijn en vaak een hoekige vorm hebben. Deze celwand beschermt de inhoud van de cel tegen indringers [31].

In een plantencel zijn onder andere de volgende organellen te vinden, zie figuur B9.1 [38]: Chloroplasten (d), deze worden ook wel bladgroenkorrels genoemd. In deze chloroplasten bevinden zich enzymen die zorgen voor de fotosynthese (de energievoorziening van de plant (zie paragraaf 3.3)) [36].

- Celkern (a), hierin liggen de erfelijke eigenschappen (DNA) van een plant opgeslagen. Ook bepaald de kern de processen in de cel.
- Vacuole (b), dit is een met vocht gevuld blaasje dat bestaat uit water en opgeloste stoffen. Het kan ook mogelijke giftige stoffen insluiten, waardoor het de cel kan beschermen.
- Ribosomen, die zorgen voor de opbouw van eiwitten. Eiwitten vervullen verschillende functies en voor elk van deze functies bestaat er een apart eiwit. Deze eiwitten kunnen ook enzymen zijn die de fotosynthese mogelijk kunnen maken.
- Endoplasmatisch reticulum (g), dit is het transportsysteem binnen de cel. Het kan stoffen van de ribosomen, die op het endoplasmatisch reticulum liggen, opnemen en naar andere plaatsen binnen de cel transporteren.
- Golgi-apparaat (c), hierin worden de producten die afkomstig zijn van het endoplasmatisch reticulum omgebouwd en opgeslagen om vervolgens naar andere bestemmingen getransporteerd te worden.
- Mitochondriën (f), deze zorgen voor de energieaanmaak in een cel. Deze energie komt vrij bij het omzetten van suikers (glucose, gemaakt bij de fotosynthese) en vetzuren in water en koolstofdioxide (CO₂). In de mitochondriën bevinden zich enzymen die zorgen voor deze verbranding. De vrijgekomen energie wordt in de mitochondriën opgeslagen en voor de celprocessen gebruikt.

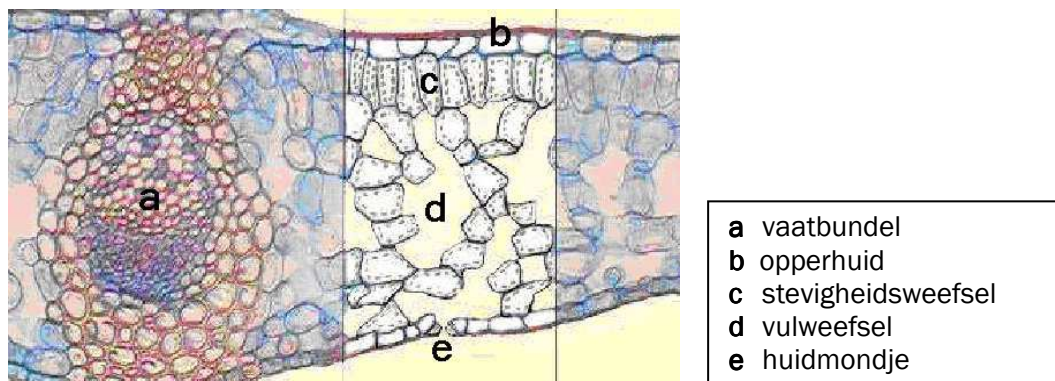


figuur B9.1: doorsnede van een plantencel [31]

Het transportweefsel is onder te verdelen in houtvaten en bastvaten. De houtvaten ontstaan uit boven elkaar gelegen houtcellen. Tegen de wanden van deze cellen worden verdikkingen van cellulose en houtstof afgezet. Dit worden doorlopende buizen doordat de dwarstussenschotten verdwijnen en soms ook de lengtetussenschotten. De celinhoud van deze cellen sterft af. De houtvaten vervoeren water met opgeloste mineralen van de wortels tot in alle delen van de plant.

Deze sapstroom is opwaarts gericht. Dit is een passief proces door de zuigkracht van de bladen en de capillaire werking van de houtvaten. Door de nauwe buisjes wordt het water naar boven gezogen. Hoe nauwer een buis is, hoe hoger het water kan komen. De bastvaten ontstaan uit boven elkaar gelegen bastcellen. De dwarsstussenschotten tussen de cellen verdwijnen niet, maar er komen openingen in. De kern verdwijnt meestal uit deze cellen, maar het cytoplasma blijft functioneren. Deze bastvaten vervoeren water met daarin opgeloste fotosyntheseproducten naar alle delen van de plant. De hout- en bastvaten liggen meestal in bundels bij elkaar die de vaatbundels worden genoemd.

De vaatbundels zorgen voor het transport van de stoffen en voor de stevigheid van de stengel. De hout- en bastvaten worden van elkaar gescheiden door het cambium (d). De houtvaten (f) liggen het dichtst bij het merg en aan de kant van de schors liggen de bastvaten (b). Het transport in deze vaten is langzamer dan die in de houtvaten.

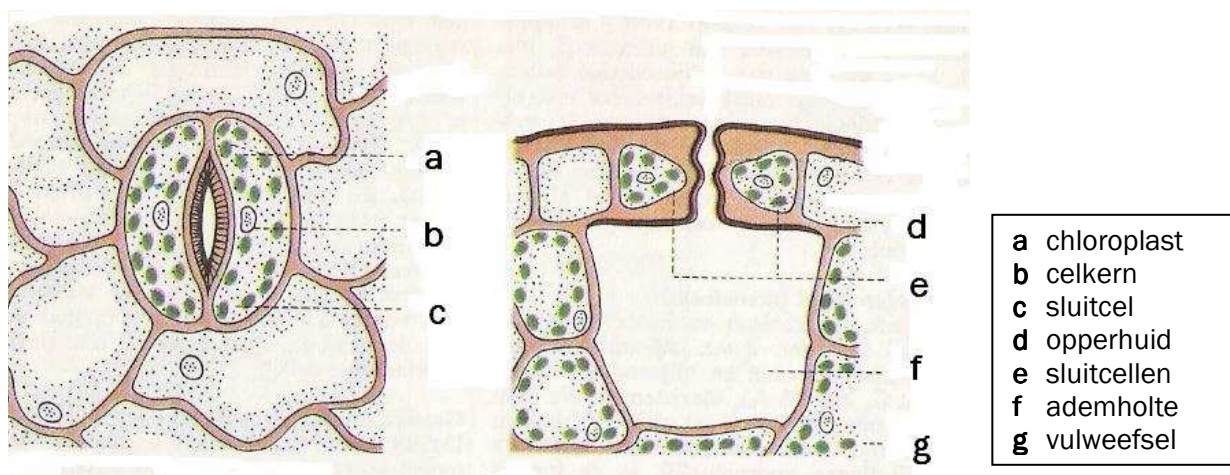


figuur B9.2: schematische doorsnede van een blad [7]

De plant wordt beschermd tegen beschadigingen en infecties door de opperhuid. Vaak zijn deze cellen bedekt met een waslaagje dat het waterverlies door verdamping beperkt.

De huidmondjes (e en figuur B9.3) maken de gasuitwisseling mogelijk en regelen de transpiratie van de plant. De huidmondjes liggen aan de onderzijde van het blad en zijn regelmatig over de opperhuid verspreidt [25].

In het vulweefsel en het stevigheidswefsel bevinden zich bladgroenkorrels die de fotosynthese mogelijk maken. Bij voldoende licht nemen de huidmondjes koolstofdioxide op en wordt de gemaakte zuurstof aan de buitenlucht afgegeven. Een deel van de geproduceerde zuurstof wordt ook gebruikt voor de celademhaling.



figuur B9.3: huidmondje van boven en een doorsnede [25]

Fotosynthese

Bijna alle planten hebben licht nog om te leven. Dit licht gebruiken ze om het proces van de fotosynthese in werking te zetten. Via een aantal tussenstappen worden water (H₂O) en koolstofdioxide (CO₂) omgezet in glucose (C₆H₁₂O₆) en zuurstof (O₂), zie figuur B9.4 [34, 35].



Figuur B9.4: reactievergelijking fotosynthese

De fotosynthese vindt plaats in de bladgroenkorrels (chloroplasten) in de cellen van de bladen. De bastvaten transporteren de glucose naar alle delen van de plant. De aanvoer van het water wordt verzorgd door de houtvaten. Het water komt vanuit de grond via de wortels naar de cellen. Een deel van dit water verdampt weer via de huidmondjes en de rest wordt gebruikt voor de fotosynthese. De glucose die ontstaat wordt door de plant gebruikt als bouwstof voor de cellen. De intensiteit van de fotosynthese hangt af van de temperatuur en de lichtsterkte. De optimale temperatuur is voor de meeste planten ongeveer 25 graden [32]. Wanneer het voor de plant te koud is vindt er geen fotosynthese plaats.

Planten kunnen wat betreft de fotosynthese in twee groepen worden verdeeld. De grootste groep vormen de C₃-planten. Het C₃ slaat op het eerste tussenproduct van de fotosynthese dat drie koolstofatomen bevat. Wanneer er voldoende water beschikbaar is, zijn de huidmondjes in de bladen open om het CO₂ binnen te laten. Het CO₂ wordt dan door het enzym "rubisco" gefixeerd. Als er minder water is zullen deze huidmondjes sluiten. De verdamping vermindert, maar er komt ook minder koolstofdioxide binnen en de zuurstof kan niet aan de lucht worden afgegeven. Het enzym kan zich dan ook met de zuurstof binden. Dit proces wordt fotorespiratie genoemd. Wanneer dat gebeurt ontstaan er processen waarbij de door de fotosynthese gemaakte producten weer afgebroken worden. Er wordt dan geen bruikbare energie meer geproduceerd. Hierdoor kan de opbrengst van de planten met meer dan 50% worden verminderd en jonge planten kunnen dan zelfs sterven. De andere groep zijn de C₄-planten, dit is ongeveer 1% van de (land)planten. Het tussenproduct van de fotosynthese bevat bij deze planten vier koolstofatomen. De C₄-planten hebben een manier gevonden om de fotorespiratie te voorkomen en de fotosynthese te kunnen uitvoeren tijdens droog weer. Bij planten met C₄ fotosynthese zitten de bladgroenkorrels ook in de cellen rond vaatbundels, zie figuur B9.5.



*figuur B9.5:
bladgroenkorrels rond de
vaatbundels bij C₄-planten*

Deze cellen liggen verder van de randen van het blad af en daardoor vindt er minder verdamping plaats. De C₄-planten hebben ook minder huidmondjes dan de planten met een C₃ fotosynthese. Deze planten bezitten ook een ander enzym. De reactie van koolstofdioxide met dit enzym wordt niet gehinderd door hoge zuurstofconcentraties. Deze planten zetten het koolstofdioxide om in glucose met het gebruik van minder water, hiervoor is wel meer energie nodig. De planten kunnen daardoor goed overleven in gebieden met weinig neerslag en veel zonlicht. Planten met deze fotosynthese zijn vooral te vinden onder de grassen die op de savannen groeien. Ook vetiver gras bezit deze C₄ fotosynthese en kan daardoor goed overleven in de droge gebieden. De C₄-planten kunnen ook in natte gebieden leven, maar hun fotosynthese is dan wat minder efficiënt.

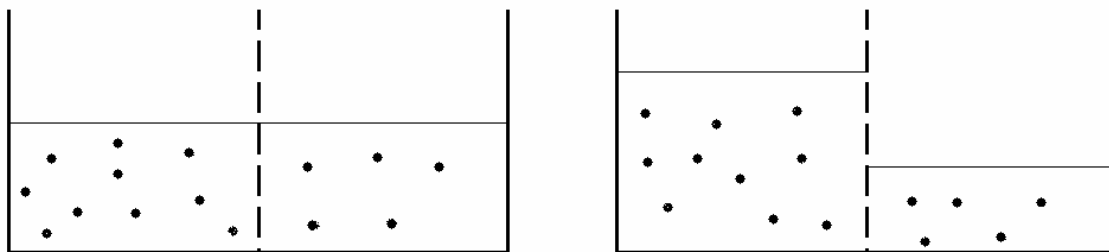
Er wordt overdag meer glucose gevormd dan dat er bij de verbranding in de cellen wordt gebruikt. Het overschot wordt gebruikt voor de opbouw en herstel van de plant en de vorming van reservestoffen. De glucose wordt onder andere omgezet in koolhydraten, eiwitten en vetten. Uit deze organische stoffen zijn de cellen en weefsels opgebouwd. Bij de vorming van de organische

stoffen worden ook de mineralen gebruikt die vanuit de grond door de wortels zijn opgenomen. Deze mineralen zijn ondermeer fosfor, nitraat, magnesium en calcium [2].

Tijdens de fotosynthese worden de bladgroenkorrels afgebroken en weer aangemaakt. Wanneer er te weinig water voor de plant beschikbaar is kunnen de bladgroenkorrels niet meer worden aangemaakt en worden de andere pigmenten die een blad bevat zichtbaar. Dit zijn ondermeer gele pigmenten, waardoor een verdroogde plant een gelig uiterlijk krijgt.

Osmose

Osmose is het proces waarbij aan een kant van een semi-permeabele wand, een wand die wel water doorlaat maar geen zouten (bijvoorbeeld een celwand), een hogere concentratie zouten is dan aan de andere kant. De natuur probeert de concentratie zouten aan beide zijden even groot te krijgen, daardoor zal er water van de ene kant naar de hoge concentratie zouten aan de andere kant worden gezogen. Dit is schematisch weergegeven in figuur B9.6. Bij osmose gaat het water altijd in de richting van de hoogste concentratie opgeloste stof, dus de laagste waterconcentratie.

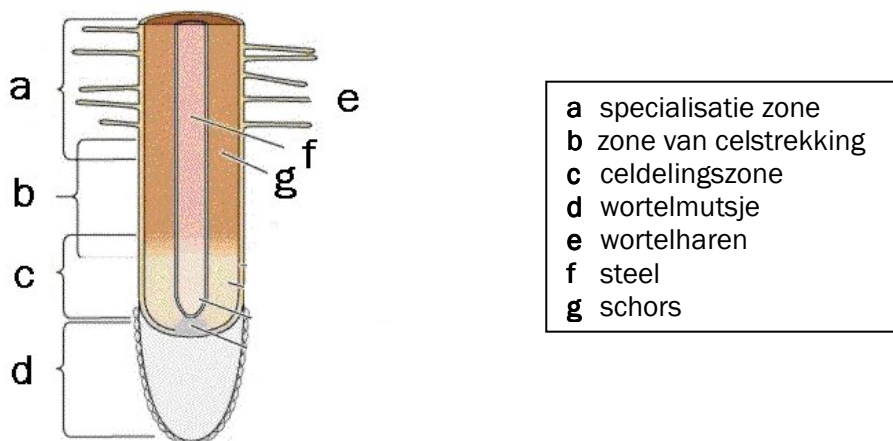


figuur B9.6: osmose: het water gaat naar de hoogste concentratie opgeloste deeltjes

Bij een lage temperatuur kan een plant minder zouten opnemen. Hierdoor kan er ook minder osmose plaatsvinden en komt er minder water in de plant terecht. Bij kou kunnen de planten vrijwel geen water opnemen, maar er kan nog wel water verdampen. De planten kunnen dan uitdrogen en afsterven.

Wortels

Aan het puntje van de wortel bevindt zich het wortelmutsje (d), dat het uiteinde van de wortel beschermt tegen beschadigingen. Het wortelmutsje heeft dikke celwanden en is omgeven door een vochtig laagje. De cellen van het wortelmutsje worden continu vervangen. Boven het wortelmutsje bevindt zich de celdelingszone (c), waar de delende cellen zitten. Deze cellen zijn klein en hebben een relatief grote kern.



figuur B9.7: uiteinde van een wortel [35]

Nadat de cellen zich gedeeld hebben strekken ze zich door het opnemen van water. Na de celstrekking specialiseren de cellen zich bijvoorbeeld in houtvaten, bastvaten, vulweefsel of wortelharen. De wanden van de wortelcellen zijn goed waterdoorlatend, zodat de opname van het water eenvoudig is [33, 34].

De wortelharen (e) zijn uitstulpingen van de opperhuidcellen en kunnen acht millimeter lang worden [21]. Deze haren zorgen voor een vergroting van de beschikbare oppervlakte voor de opname van water en de daarin opgeloste voedingsstoffen [35]. De wortelharen zijn goed vervormbaar en kunnen dus nauw aansluiten aan de gronddeeltjes.

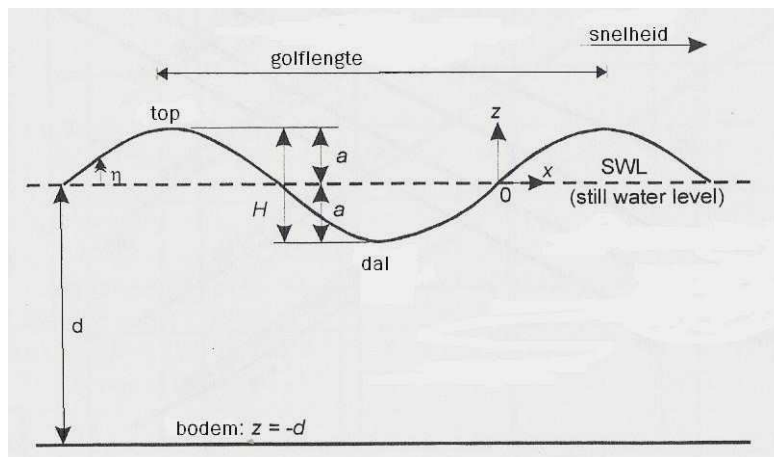
De opname van de zouten uit het grondwater is een actief proces. Een proces is actief wanneer er zuurstof voor nodig is en afhankelijk van de temperatuur is. De opname van water daarentegen is een passief proces, dit kost geen energie. Deze opname gebeurt door osmose, zie bijlage 9. Wanneer er voor de plant te weinig water beschikbaar is zullen de wortels proberen het nattere gedeelte van de bodem te doorwortelen als de bodemstructuur dit toelaat. Deze investering van het wortelstelsel kost energie en dus ook water [37].

Bijlage 10: Golfkenmerken

In deze bijlage worden de begrippen toegelicht die worden gebruikt om golfbewegingen te beschrijven. Ook wordt het ontstaan van golven beschreven die voor een belasting op dijklichamen zorgen.

Golfkenmerken

De begrippen die met een golf te maken hebben zijn in figuur B10.1 weergegeven. De voortplantingsrichting van een golf wordt weergegeven door de richting van de snelheid en de x-as wordt ook in die richting gekozen. Een schematische weergave van de vorm van de golf is de sinus-vorm. De uitwijking van de waterstand vanuit het gemiddelde is η , dit is een functie van de plaats en de tijd.



waarin:
 H = golfhoogte
 a = amplitude
 d = waterdiepte

figuur B10.1: begrippen die met een golf te maken hebben

De afstand die een golf aflegt in een periode (T) is gelijk aan de golflengte (L). Dit wordt de voortplantingssnelheid of golfsnelheid genoemd. Gedefinieerd als:

$$c = \frac{L}{T},$$

ook kan deze snelheid worden berekend met

$$c = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kd)},$$

waarin $k = 2\pi/T$

en de golflengte vervolgens met:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kd)$$

Een golf heeft een bepaalde energie in zich die gesplitst kan worden in potentiële en kinetische energie. Per eenheid van oppervlak is deze energie:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2$$

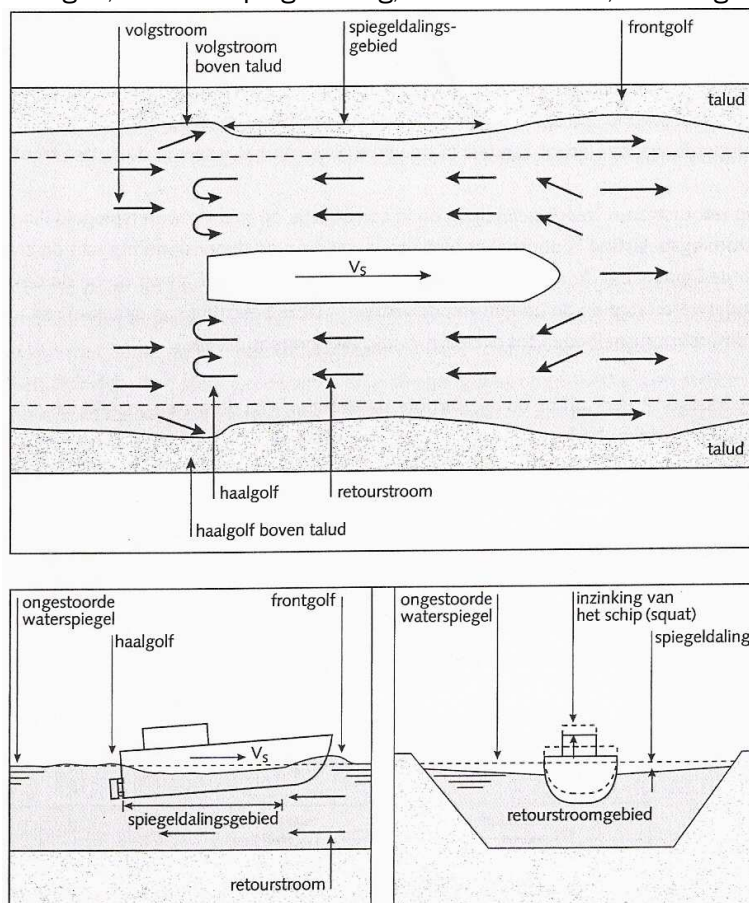
Ontstaan van golven

Golven kunnen ontstaan doordat het wateroppervlak wordt blootgesteld aan de wind of door de beweging van het wateroppervlak door bijvoorbeeld voorbij varende vaartuigen. In de volgende paragrafen wordt het ontstaan van deze golven nader toegelicht.

Scheepsgolven

Voor het ontwerpen van een constructie, zoals bijvoorbeeld een dijk, in of langs een waterweg moeten de belastingen bekend zijn die op de constructie werken. Voor een constructie langs een rivier worden deze belastingen voornamelijk veroorzaakt door stromingen en scheepvaart.

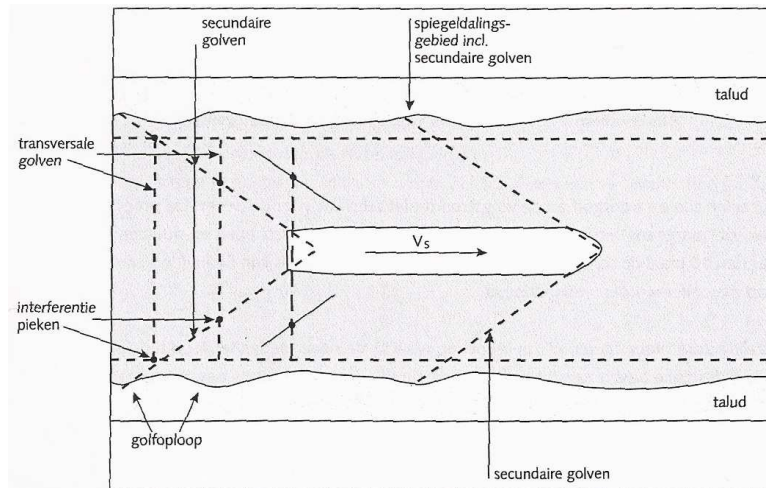
De bewegingen van het water die door een varend schip worden opgewekt worden verdeeld in drie onderdelen: de primaire golf, de secundaire golven en de schroefstraal. De primaire golf is de golf die ontstaat doordat het water van voor naar achter het schip moet worden verplaatst. Hierbij treedt een retourstroom en een waterspiegeldaling op. De onderdelen van de primaire golf zijn de frontgolf, de waterspiegeldaling, de retourstroom, de haalgolf en de volgstream. Zie figuur B10.2.



figuur B10.2: karakteristieke waterbeweging door varende schepen; primaire golven

De frontgolf en de volgstream zijn niet relevant voor de oever. De waterspiegeldaling zorgt voor een zuiging op de oever, waarbij een deel van de oever voor een deel droog kan staan. Dit kan leiden tot erosie of aantasting van de vegetatie op de oever. In scheepvaartkanalen met gangbare afmetingen zijn de waterspiegeldalingen meestal 0,3 tot 0,5 meter. In extreme gevallen kan dit zelfs toenemen tot 1 meter. Deze dalende waterstand is meestal niet maatgevend. Ook de retourstroom die gelijktijdig optreedt is niet maatgevend. Wel kan deze belasting invloed hebben op het onderwatertalud en de bodem van het water. De haalgolf treedt op waar de waterspiegeldaling eindigt. Dit gaat vaak gepaard met een golf die continu breekt. Deze golf verplaatst zich evenwijdig aan de oever en is dus maar voor een heel klein deel van belang voor de golfloop.

De secundaire golven bestaan uit transversale en divergerende golven, zie figuur B10.3. De combinatie van deze golven kunnen leiden tot zogenaamde interferentiepieken. Deze golven hebben effect op de oever rond de stilwaterlijn en zorgen voor de golfoploop en -overslag en zijn daardoor van belang voor de hoogte van de oeververdediging. De maximale waarde van de interferentiepiek bedraagt ongeveer 0,4 meter en heeft een golfperiode tussen de 2 en 3 seconden.



figuur B10.3: secundaire golven

De schroefstraal zorgt voor een stroming achter het schip als gevolg van de voortstuwing of de manoeuvreerbaarheid van de schepen. De stroming is sterk geconcentreerd en heeft een hoge snelheid en een sterke turbulentie.

Voor de golfoploop op een dijk zijn vooral de interferentiepieken van belang. Deze interferentiepieken hebben de volgende kenmerkende grootheden: de golfhoogte (H_i [m]), golflengte (L_{wi} [m]) en de golfperiode (T_i [s]). Bij een vaarsnelheid die kleiner is dan $0,8(gh)^{0,5}$ kunnen deze grootheden worden berekend met:

$$H_i = 1,2 \cdot \alpha_1 \cdot h \cdot \left(\frac{s}{h}\right)^{-0,33} \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{gh}}\right)^{4,0}$$

$$L_{wi} = 4,2 \cdot \frac{V_s^2}{g}$$

$$T_i = 5,1 \cdot \frac{V_s}{g}$$

waarin:

h = waterdiepte [m]

s = afstand van zijkant schip tot oever [m]

V_s = vaarsnelheid schip [m/s]

g = zwaartekrachtsversnelling [9,81 m/s²]

α = constante voor de verschillende scheepstypes:

$\alpha_1 = 0,35$ ongeladen conventioneel motorschip

$\alpha_1 = 0,50$ ongeladen duweenhed

$\alpha_1 = 1,0$ dienstverlenende vaartuigen, sleepboten en geladen conventionele motorschepen.

Tabel B10.0.1: golfhoogte, golflengte en golfperiode bij een bepaalde vaarsnelheid, waterdiepte en afstand tot de oever bij een $\alpha = 1$

		Vaarsnelheid schip [m/s]															
		2				3				4				5			
Waterdiepte [m]		1	2	4	6	1	2	4	6	1	2	4	6	1	2	4	6
Zijkant schip tot oever [m]																	
1	Hi	0,20	0,13	0,08	0,06	1,01	0,63	0,40	0,30	3,19	2,01	1,26	0,96	7,79	4,90	3,08	2,35
	Lwi	1,71	1,71	1,71	1,71	3,85	3,85	3,85	3,85	6,85	6,85	6,85	6,85	10,7	10,7	10,7	10,7
	Ti	1,04	1,04	1,04	1,04	1,56	1,56	1,56	1,56	2,08	2,08	2,08	2,08	2,60	2,60	2,60	2,60
2	Hi	0,16	0,10	0,06	0,05	0,80	0,51	0,32	0,24	2,54	1,60	1,00	0,76	6,20	3,90	2,45	1,87
	Lwi	1,71	1,71	1,71	1,71	3,85	3,85	3,85	3,85	6,85	6,85	6,85	6,85	10,7	10,7	10,7	10,7
	Ti	1,04	1,04	1,04	1,04	1,56	1,56	1,56	1,56	2,08	2,08	2,08	2,08	2,60	2,60	2,60	2,60
3	Hi	0,14	0,09	0,05	0,04	0,70	0,44	0,28	0,21	2,22	1,40	0,88	0,67	5,42	3,41	2,14	1,63
	Lwi	1,71	1,71	1,71	1,71	3,85	3,85	3,85	3,85	6,85	6,85	6,85	6,85	10,7	10,7	10,7	10,7
	Ti	1,04	1,04	1,04	1,04	1,56	1,56	1,56	1,56	2,08	2,08	2,08	2,08	2,60	2,60	2,60	2,60
4	Hi	0,13	0,08	0,05	0,04	0,64	0,40	0,25	0,19	2,02	1,27	0,80	0,61	4,93	3,10	1,95	1,48
	Lwi	1,71	1,71	1,71	1,71	3,85	3,85	3,85	3,85	6,85	6,85	6,85	6,85	10,7	10,7	10,7	10,7
	Ti	1,04	1,04	1,04	1,04	1,56	1,56	1,56	1,56	2,08	2,08	2,08	2,08	2,60	2,60	2,60	2,60
5	Hi	0,12	0,07	0,05	0,04	0,59	0,37	0,23	0,18	1,88	1,18	0,74	0,57	4,58	2,88	1,81	1,38
	Lwi	1,71	1,71	1,71	1,71	3,85	3,85	3,85	3,85	6,85	6,85	6,85	6,85	10,7	10,7	10,7	10,7
	Ti	1,04	1,04	1,04	1,04	1,56	1,56	1,56	1,56	2,08	2,08	2,08	2,08	2,60	2,60	2,60	2,60
6	Hi	0,11	0,07	0,04	0,03	0,56	0,35	0,22	0,17	1,77	1,11	0,70	0,53	4,31	2,71	1,70	1,30
	Lwi	1,71	1,71	1,71	1,71	3,85	3,85	3,85	3,85	6,85	6,85	6,85	6,85	10,7	10,7	10,7	10,7
	Ti	1,04	1,04	1,04	1,04	1,56	1,56	1,56	1,56	2,08	2,08	2,08	2,08	2,60	2,60	2,60	2,60
7	Hi	0,10	0,07	0,04	0,03	0,53	0,33	0,21	0,16	1,68	1,06	0,66	0,51	4,10	2,58	1,62	1,23
	Lwi	1,71	1,71	1,71	1,71	3,85	3,85	3,85	3,85	6,85	6,85	6,85	6,85	10,7	10,7	10,7	10,7
	Ti	1,04	1,04	1,04	1,04	1,56	1,56	1,56	1,56	2,08	2,08	2,08	2,08	2,60	2,60	2,60	2,60
8	Hi	0,10	0,06	0,04	0,03	0,51	0,32	0,20	0,15	1,61	1,01	0,63	0,48	3,92	2,47	1,55	1,18
	Lwi	1,71	1,71	1,71	1,71	3,85	3,85	3,85	3,85	6,85	6,85	6,85	6,85	10,7	10,7	10,7	10,7
	Ti	1,04	1,04	1,04	1,04	1,56	1,56	1,56	1,56	2,08	2,08	2,08	2,08	2,60	2,60	2,60	2,60

De golfhoogtes die door varende schepen worden bereikt, zijn afhankelijk van de vaarsnelheid, de waterdiepte en de afstand tot de oever. Een schip met een snelheid van 3 m/s (~ 10 km/uur) in een rivier met een diepte van vier meter en een afstand van vier meter tot de oever heeft een golfhoogte tot gevolg van 0,25 meter. De golfhoogtes zijn sterk afhankelijk van de snelheid van de schepen. Bij een snelheid van 4 m/s (~ 14 km/uur) is in dezelfde situatie de golfhoogte 0,80 meter. Dit is meer dan drie keer zo groot, terwijl de snelheid 1,3 keer zo groot is.

Windgolven

Golven die voor een belasting op een constructie zorgen, kunnen ook worden opgewekt door de wind. Hiervoor zijn de volgende grootheden van belang: de windsnelheid (U), de windduur, strijklengte (F) en waterdiepte (d). Met de hulp van empirische formules kunnen de significante golfhoogte (H_s) en de bijbehorende golfperiode (T_p) worden geschat. Deze significante golfhoogte is gelijk aan het gemiddelde van het derde deel van de hoogste golven. De windsnelheid die gebruikt wordt is meestal de gemiddelde windsnelheid in een periode van een uur.

De formules¹ die gebruikt worden voor de schatting zijn:

$$\tilde{H} = 0,283 \tanh(0,53 \tilde{d}^{0,75}) \tanh\left(\frac{0,125 \tilde{F}^{0,42}}{\tanh(0,53 \tilde{d}^{0,75})}\right)$$

$$\tilde{T} = 7,54 \tanh(0,833 \tilde{d}^{0,375}) \tanh\left(\frac{0,077 \tilde{F}^{0,25}}{\tanh(0,833 \tilde{d}^{0,375})}\right)$$

$$\tilde{H} = \frac{g H_s}{U^2}$$

¹ Volgens Bretschneider.

$$\tilde{T} = \frac{gT_p}{U}$$

$$\tilde{F} = \frac{gF}{U^2}$$

$$\tilde{d} = \frac{gd}{U^2}$$

waarin:

g = zwaartekrachtsversnelling [9,81 m/s²]

H_s = significante golfhoogte [m]

U = windsnelheid op 10 meter hoogte [m/s]

T_p = golfperiode [s]

F = strijklengte [m]

d = waterdiepte [m]

Tabel B10.0.2: golfhoogte en golfperiode bij een bepaalde windsnelheid, waterdiepte en strijklengte

		Windsnelheid op 10 m hoogte														
		5 m/s (Bft 3-4)			10 m/s (Bft 5-6)			15 m/s (Bft 7)			20 m/s (Bft 8-9)					25 m/s (Bft 10)
Waterdiepte [m]		1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4
Strijklengte [m]																
250	Hs	0,06	0,06	0,06	0,13	0,13	0,14	0,19	0,21	0,21	0,25	0,29	0,30	0,31	0,36	0,39
	Tp	0,9	0,9	0,9	1,2	1,3	1,3	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0
500	Hs	0,08	0,08	0,08	0,16	0,17	0,18	0,24	0,27	0,29	0,30	0,36	0,39	0,36	0,45	0,50
	Tp	1,0	1,0	1,1	1,4	1,5	1,5	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3
1000	Hs	0,10	0,11	0,11	0,19	0,22	0,24	0,27	0,34	0,37	0,34	0,45	0,51	0,40	0,54	0,64
	Tp	1,2	1,2	1,2	1,6	1,7	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,6	2,7
2000	Hs	0,12	0,14	0,14	0,23	0,28	0,31	0,30	0,41	0,48	0,36	0,52	0,64	0,41	0,62	0,80
	Tp	1,3	1,4	1,4	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,4	2,6	2,8	2,6	2,9	3,1
5000	Hs	0,15	0,19	0,20	0,25	0,36	0,43	0,32	0,49	0,63	0,38	0,60	0,82	0,42	0,69	0,99
	Tp	1,5	1,6	1,7	2,0	2,3	2,4	2,4	2,7	2,9	2,7	3,0	3,3	2,9	3,3	3,7

De golfhoogtes die worden veroorzaakt door de wind, worden bepaald door de windsnelheid, de waterdiepte en een bepaalde strijklengte. Bij een stevige wind van 10 m/s, een waterdiepte van vier meter en een rivier met een strijklengte van een kilometer zijn er golfhoogtes te verwachten van 0,24 meter.

De golfhoogte is vooral afhankelijk van de snelheid van de langsvarende schepen. In de meeste gevallen zullen de golfhoogtes tussen de 0,5 meter en 1 meter zijn.

Golfploop

De golfploop wordt bepaald door de volgende formule²:

$$z_{2\%}/H_{m0} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f \cdot \xi_0$$

en voor grotere waarden van $\gamma_b \xi_0 > 1,8$ geldt de volgende formule:

$$z_{2\%}/H_{m0} = \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot (4,3 - 1,6/\sqrt{\xi_0})$$

² voor probabilistische berekeningen zijn deze formules:

$$z_{2\%}/H_{m0} = 1,65 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0, \quad z_{2\%}/H_{m0} = \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot (4,0 - 1,5/\sqrt{\xi_0})$$

met een variatiecoëfficiënt $V = \sigma/\mu = 0,07$.

waarin:

$Z_{2\%}$ = de hoogte die twee procent van de golven zal overschrijden [m]

H_{m0} = de significante golfhoogte bij de teen van de dijk [m]

γ_b = invloedsfactor voor de berm [-]

γ_β = invloedsfactor voor scheve golfinval [-]

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid op het talud [-]

ξ_0 = de brekerparameter [-]

De significante golfhoogte wordt bepaald door het spectrum van de golven. De brekerparameter is een dimensieloze parameter die als volgt bepaald kan worden:

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}$$

waarin:

s_0 = de golfsteilheid, de significante golfhoogte gedeeld door de golflengte op diep water [-]

α = de helling van het talud [°]

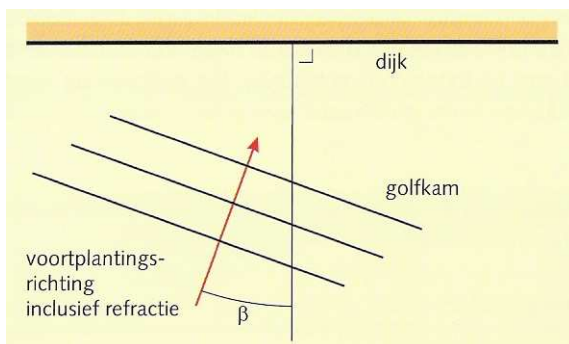
De invloedsfactoren (γ_b , γ_β , γ_f) zijn door middel van onderzoek bepaald. In de formule is er een combinatie van de invloedsfactoren mogelijk die een zo hoog mogelijke reductie tot gevolg heeft. Niet alle combinaties met de verschillende invloedsfactoren zijn onderzocht, het is daardoor ook wenselijk dat wanneer de totale invloedsfactor ($\gamma_b \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f$) lager is dan 0,4 er nader onderzoek nodig is.

Hoek van golfinval

De hoek van de golfinval (β) is de hoek die de voortplantingsrichting van de golven maakt met een lijn loodrecht op de dijk, zie figuur B10.6. Een loodrechte inval van de golven wordt dus gegeven door $\beta = 0$. De invloedsfactor die wordt gebruikt in de formule (γ_β), is bepaald door middel van onderzoek door Van der Meer en De Waal. De invloedsfactor is uitgezet tegen de hoek van golfaanval. Voor de golfoploop gelden er verschillende invloedsfactoren doordat er bij een scheve golfaanval minder energie de constructie bereikt. De formules voor de invloedsfactor zien er als volgt uit:

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0022|\beta| \quad (0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ)$$

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0022 \cdot 80 \quad (|\beta| > 80^\circ)$$



figuur B10.6: definitie hoek van golfinval

Invloed van de bermen

De invloedsfactor van de berm (γ_b) bestaat uit een factor voor de bermbreedte (r_B) en een factor voor de ligging van de berm ten opzichte van het waterniveau (r_{dh}). De invloedsfactor wordt bepaald door:

$$\gamma_b = 1 - r_B(1 - r_{dh}) \quad \text{waarbij } 0,6 \leq \gamma_b \leq 1,0$$

Bij een berm op de waterlijn is r_{dh} nul en zorgt ervoor dat de invloedsfactor kleiner is dan één. Wanneer de berm niet op de waterlijn ligt wordt de r_B met een getal dat kleiner is dan één vermenigvuldigd. De invloedsfactor wordt dan weer groter dan wanneer de berm op de waterlijn ligt.

De factor voor de bermbreedte is ook afhankelijk van de verandering van de taludhelling:

$$r_B = 1 - \frac{2 \cdot H_{m0} / L_{\text{berm}}}{2 \cdot H_{m0} / (L_{\text{berm}} - B)} = \frac{B}{L_{\text{berm}}}$$

De ligging van de berm ten opzichte van de waterlijn wordt bepaald door ³:

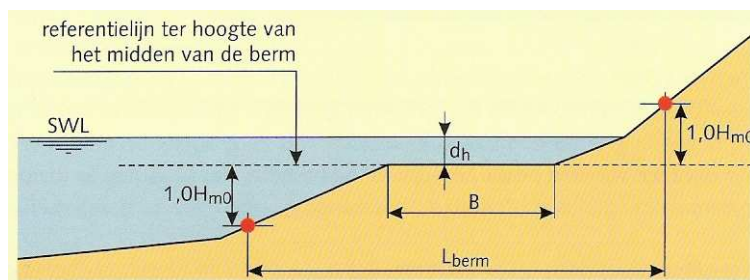
$$r_{dh} = 0,5 - 0,5 \cdot \cos\left(\pi \frac{d_h}{x}\right)$$

met:

$x = z_{2\%}$	als $z_{2\%} > -d_h > 0$	berm boven waterlijn
$x = 2 \cdot H_{m0}$	als $2 \cdot H_{m0} > d_h \geq 0$	berm onder waterlijn
$r_{dh} = 1$	als $-d_h \geq z_{2\%}$ of $d_h \geq 2 \cdot H_{m0}$	buiten invloedsgebied

Hoe groter de breedte van een berm, hoe kleiner de invloedscoëfficiënt. De reducerende werking van een berm is bij een bepaalde bermbreedte maximaal. De grootte van de reductiefactor ligt dan ongeveer bij 0,6. De bermen zijn het meest effectief wanneer deze op de waterlijn liggen. Uit de formules valt af te leiden dat er voor elke geometrie een optimale bermbreedte is. Voor een berm op de waterlijn, met overal een gelijke taludhelling en ruwheid is de optimale bermbreedte:

$$B = 0,4 \cdot L_{\text{berm}}$$



figuur B10.7: definitie berm

³ Hierbij is de cosinus in radialen.