Doorworteling zeedijkgrasland Oosterscheldedijk op Tholen, Zeeland

Onderzoek naar de verschillen tussen de beheertypen schapenbegrazing en klepelmaaien

C. Christiaanse

Alterra Wageningen UR
Hogeschool van Hall Larenstein

Alterra Wageningen UR
Wageningen, september 2011

Samenvatting

Dit is een leeropdracht van Hogeschool Van Hall Larenstein. De opdrachtgever, Alterra, maakt deel uit van een groep verschillende instellingen die golfoverslagproeven en metingen uitvoert. Het hier beschreven onderzoek is daar verkennend onderzoek speciaal ontworpen voor studenten. Er wordt gekeken naar een extreem en minder gewenst beheertype en geachte vegetatietypen. Namelijk een vegetatie met klepelmaaien en een intensief begraasde vegetatie met dichte moslaag. De onderzoekslocatie ligt op de Oosterscheldedijk ter hoogte van de Schelphoekseweg op het eiland Tholen in Zeeland. In dit onderzoek is er gekeken naar een drietal teststroken. Op deze plekken vinden ook golfoverslagproeven plaats. De onderzoeksvraag is: *"Wat zijn de verschillen in beworteling bij zeedijkgraslandvegetatie op de Oosterscheldedijk (ter hoogte van de Schelphoekseweg op Tholen) met de verschillende aanwezige extreme en minder extreme beheertypen klepelmaaien en intensieve schapenbegrazing?"* Tijdens het veldwerk zijn monsters verzameld voor de bepaling van de wortellengte en –diameter en de trekspanning. Ter plaatse is met de handmethode de doorworteling volgens het VTV (2007) bepaald. In dit onderzoek zijn de wortels niet gekleurd en is een de minimale scanresolutie van 200 dpi gebruikt. Voor de instellingsnormen en protocollen voor beeldanalyse van fijne wortelsystemen wordt er verwezen naar het rapport van Bouma et al. Uit de laboratoriummethode blijkt dat schapenbegrazing beter is voor de doorworteling dan klepelmaaien.Dit is met de handmethode van het VTV ook het geval. Tussen deze twee methoden, handmethode en laboratoriummethode, is geen verschil. Ze zijn dus even goed te gebruiken. Bij de trekspaningsbepaling is er een marginaal effect (P=0,094) gemeten betreft het beheertypen en gezien dat de geschiedenis van de uitkomst bij dit soort metingen (16,43 MN/m2) is er waarschijnlijk wel een effect op de trekspanning. Doordat de golfoverslagproeven plaats vonden met niet-waterkerende objecten erin zijn er geen uitspraken te gedaan over de kwaliteit van de beproefde graszoden. Mochten er weer proeven worden uitgevoerd op de bekleding zelf dan is het wel interessant om de uitslagen van de handmethode en/of laboratoriummethode en/of trekspanningbepaling hieraan te koppelen. Er zijn daarnaast een paar aanbevelingen dat ter harte genomen kunnen worden, namelijk:

- Hanteer eenduidig beleid en protocol en vermeld dit in de rapportage
- Hanteer de handmethode in plaats van de laboratoriummethode, deze is net zo goed maar erg tijdrovend
- Ga bij de laboratoriummethoden uit van de normen uit Bouma et al. Dit zorgt voor een nauwkeuriger gemeten data-set.

Voorwoord

Dit is een leeropdracht van Hogeschool Van Hall Larenstein. Voor deze afstudeerperiode krijgt de student een kleine drie maanden de tijd. Uiteindelijk bleek dit niet genoeg voor deze opdracht. Op het laatste moment, één dag voor de deadline van 9 juni 2011 werd een fout in de data-set gevonden waar het rapport op is gebouwd. Dit is zo snel mogelijk gecorrigeerd, maar één dag is niet genoeg om de inhoud van een rapport als het ware om te gooien en opnieuw te schrijven. Als gevolg hiervan is het rapport ook afgekeurd.

Er is naderhand besloten dit rapport de nodige aandacht te geven die het verdiend en de nieuwe deadline op 1 september 2011 te zetten. Door deze extra tijd is gebruik om door alle toetsen opnieuw uit te voeren en de out-put, samen met de originele data-sets op een cd te zetten. Daarnaast is het laatste twee hoofdstukken (Discussie en Conclusie en aanbevelingen) nog eens stevig onder de loep genomen.

Ik ben ook zeer dankbaar voor de hulp die velen hebben geboden om de proeven op de juiste manier te laten lopen en de output te interpreteren en te verwerken.

Wageningen, 31 augustus 2011
C. Christiaanse

Inhoudsopgave

1 Inleiding 9
1.1 Aanleiding 9
1.2 Beschrijving (klei)dijken 10
1.3 Introductie gebied 11
1.4 Probleembeschrijving 12
1.5 Onderzoeksvragen 13
1.6 Globale werkwijze 14
1.7 Opbouw rapport 14
2 Onderzoeksopzet 15
2.1 Gemeten variabelen 15
2.2 Zodekwaliteitbepaling volgens het VTV 15
2.3 Laboratoriummethode 16
2.4 Trekspanningbepaling 17
2.5 Golfoverslagresultaten 18
2.6 Proef-ontwerp en controlemaatregelen 18
2.7 Steekproeftrekking 18
2.7.1 Handmethode 19
2.7.2 Laboratoriummethode 19
2.7.3 Trekspanningbepaling 20
2.8 Statistische verwerking 21
3 Resultaten 23
3.1 Zodekwaliteitsbepaling volgens het VTV 23
3.1.1 Beheer 23
3.1.2 Vegetatie 23
3.1.3 Doorworteling handmethode 24
3.2 Laboratoriummethode 25
3.2.1 Beschrijving variabelen 25
3.2.2 Significantietoetsen 27
3.2.3 Controle op variatie in de data-set 27
3.3 Handmethode statistisch getoetst 28
3.3.1 Beschrijving variabelen 28
3.3.2 Significantietoetsen 28
3.4 Trekspanningbepaling 29

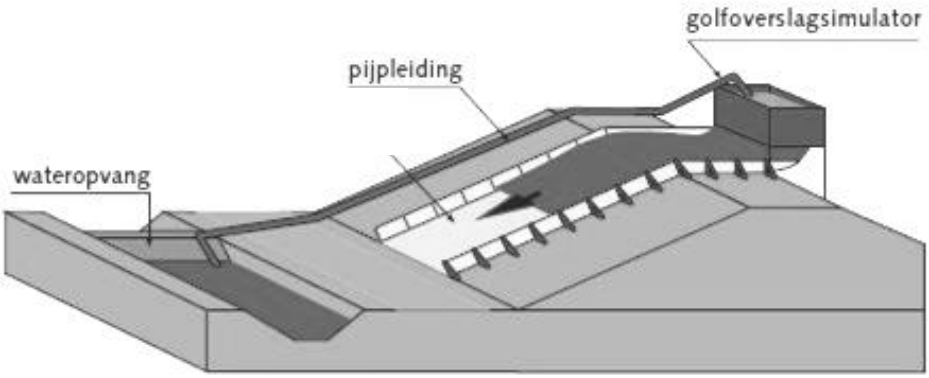
3.4.1 Beschrijving variabelen 29
3.4.2 Significantietoetsen 31
3.5 Resultaten golfoverslagproeven 32
4 Discussie 33
5 Conclusie en aanbevelingen 35
Literatuurlijst 39
Illustratielijst 41
Bijlagen 43
I. Vegetatie-opnames 45
II. Normaliseren van de variabelen laboratoriummethode 47
III. Toetsuitslag lengte en diameter laboratoriummethode 49
IV. Effecten van variatie op de variabelen laboratoriummethode 51
V. Toetsuitslag VTV-klasse 53
VI. Normaliseren variabelen trekspanning 55
VII. Toetsuitslag diameter en trekspanning 57
VIII. Protocol wortelsteken 59
IX. Protocol wortelspoelen 61
X. Protocol wortelkleuren 63
XI. Protocol scannen 65
XII. Impressie scanresultaat 67
XIII. Protocol trekspanningmeting 69

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Na de Watersnoodramp in 1953 zijn er verschillende maatregelen genomen om Nederland beter te beschermen tegen hoog water en stormen. Een onderdeel hiervan was het verzwaren en het verhogen van de bestaande dijken waardoor de hoeveelheid water dat over de dijken kon slaan, ook wel golfoverslag genoemd, aanzienlijk is afgenomen[1].

Door de globale klimaatveranderingen, door de mens of door de natuur zelf, liggen verdere zeespiegelstijging en mogelijk vaker voorkomende en zwaardere stormen in het verschiet. Dit levert bedreigingen op voor onder andere de bestaande dijken in Nederland. Rijkswaterstaat heeft als uitvoerende dienst van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) een onderzoeksprogramma ingericht, Sterkte & Belastingen Waterkeringen (SBW), waarin een tweetal oplossingen worden getoetst. Deze oplossingen zijn: het versterken van dijken door middel van de bekleding èn het aanscherpen van de rekenregel betreft het golfoverslagdebiet. In het onderzoek met het belastingtype golfoverslag wordt de golfoverslagstimulator gebruikt, zoals in figuur 1 exclusief het versterkte gras. De verzamelde gegevens worden gebruikt voor het aanpassen van rekenregels en modellen in het 'Voorschrift Toetsen op Veiligheid, Primaire Waterkeringen', afgekort als het VTV[2].



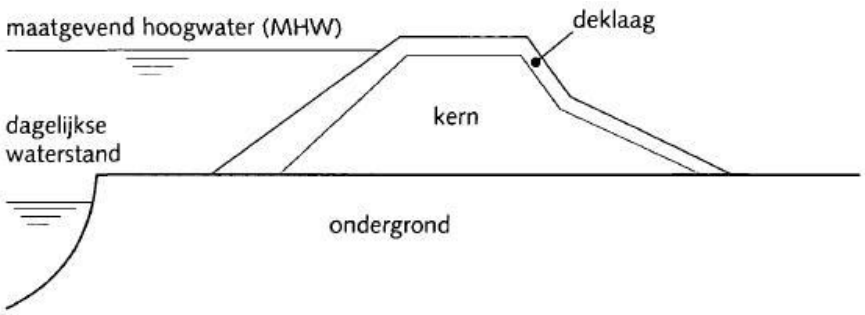
Figuur 1. Golfoverslagsimulator.
Bron: SBW. Golfoverslagproef in Delfzijl (2007)

Alterra maakt deel uit van het consortium dat deze golfoverslagproeven en metingen uitvoert. De belangrijkste taak van Alterra is om de effecten, die beheer en bodemtype van het dijkgrasland hebben op de doorwortelings- en vegetatiekenmerken, te onderzoeken. Deze factoren hangen uiteindelijk samen met de sterkte van de dijk. Maar veel andere factoren die invloed hebben op de erosiebestendigheid blijven onzeker. Om hier nader verkennend onderzoek naar te doen, zijn een aantal studentonderwerpen geformuleerd. Het hier beschreven onderzoek is er een voorbeeld van.

[1] Rijkswaterstaat 2007 p.3
[2] Rijkswaterstaat 2007 p.3

1.2 Beschrijving (klei)dijken

Dijken zijn vaak opgebouwd uit een kern van zand met daar bovenop een laag klei. De oude dijken zijn vaak nog geheel opgebouwd uit klei. In figuur 2 staat een schematische dwarsdoorsnede van een typische dijk.



Figuur 2.Functionele onderdelen waterkering.
Bron: TAW. Klei voor dijken (1996)

Van alle soorten dijkbekleding is grasbekleding de meest gebruikte vorm in Nederland[3]. De hoofdfunctie is waterkering, maar de mat heeft ook andere functies die daarmee te combineren vallen. Hierbij moet gedacht worden aan bijvoorbeeld natuur of recreatie[4]. Grasbekleding is vooral populair vanwege zijn hoge erosiebestendigheid. Het kan langdurige hoogwaterstanden overleven en de klappen weerstaan bij golfoverslag. Dit komt door de elastische eigenschappen van de structuur van wortels en klei in de toplaag (figuur 5). Dit blijkt vooral uit de stelling in het boek 'Extensief graslandbeheer op zeedijken' van Sprangers:

'De stelling is dat erosiebestendigheid en grasbekleding wordt bepaald door het type grond in combinatie met zode- en worteldichtheid en mogelijk ouderdom van de grasmat. Deze laatste twee factoren hangen samen met vegetatie en beheer.'[5]

Lang is aangenomen is dat de bodem een grote rol speelt bij de erosiebestendigheid van de mat. Maar een SBW-onderzoek wees uit dat de grondsoort minder belangrijk is, zolang deze maar enigszins samenhangend is (zie INFRAM, 2010 en andere 'factual reports' en evaluatierapporten Deltares 2009 en 2010 van de golfoverslagproeven).

[3] Sprangers 1996 p. 3
[4] TAW 1999 p. 5
[5] Sprangers 1996 p.10

1.3 Introductie gebied

Het in dit onderzoek bestudeerde proefvak ligt op de Oosterscheldedijk ter hoogte van de Schelphoekseweg op het eiland Tholen in Zeeland (figuur 3). De dijk is een kleidijk wat onder het beheer van Waterschap Scheldestromen valt.

Op deze plek vinden ook golfoverslagproeven plaats. In figuur 4 staan de teststroken A, B en C aangegeven. Op locatie A en B wordt een klepelmaaibeheer gevoerd. Klepelmaaien is een oude veelvoorkomende vorm van dijkgrasland beheer waarbij het maaisel blijft liggen. Op locatie C vindt schapenbegrazing plaats. Schapen grazen kort en constant. Vorig jaar zijn de schapen uit gebroken en hebben zij voor onbepaalde tijd op het klepelmaaigedeelte gegraasd. Dit heeft geen zichtbare invloed achtergelaten.

Op locatie A (strook 1) ligt een trap van beton. In het onderste gedeelte op het buitentalud (locatie B, strook 2) net boven de asfaltberm lag een inkassing. Deze plek is opnieuw ingezaaid met gras na de aanleg van de asfaltweg. De voormalige inkassing is echter opgevuld met verdicht aangebracht puin waardoor het gras zich moeizaam ontwikkeld. Op de locatie C (strook 3) staat een hekwerk om de schapen binnen te houden.

Figuur 3. Locatie Tholen.
Bron: www.zoekplaats.nl (2011)

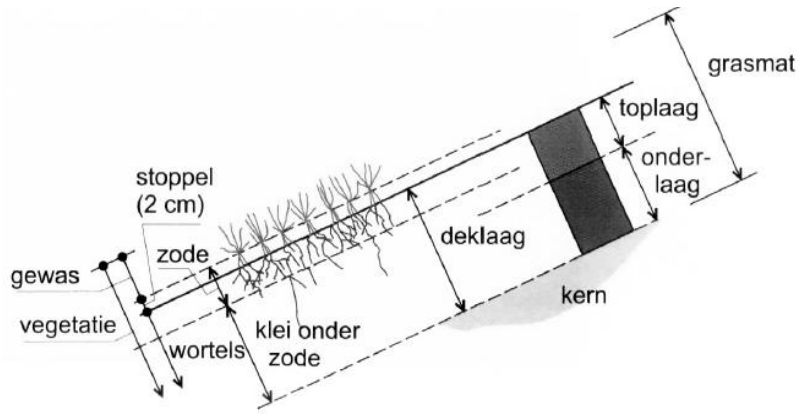
Figuur 4. De dijk met de drie teststroken.
Bron: memo Tholen (4-1-2011)

1.4 Probleembeschrijving

Dit onderzoek gaat in een vraag die recentelijk in het SBW-kader is gesteld. Deze luidt:

"Hoe vergaat het de doorworteling en sterkte van wortels in de dijkvlakken met meer extreme vegetatietypen?"

Voor dit onderzoek wordt er gekeken naar een extreem en minder gewenst beheertype klepelmaaien en intensieve schapenbegrazing volgens Sprangers & Arp. Ook bevinden op deze proefstroken minder hooggeachte vegetatietypen[6], namelijk ruig hooiland en een soortenarme/rijke kamgrasweide met een hoge mos-abundantie. Het is onbekend wat deze typen voor een effect hebben op de doorworteling.



Figuur 5. Opbouw en indeling grasmat.
Bron: TAW. Grasmat als dijkbekleding (1999)

Traditioneel werd gedacht dat het beheer dat uitgevoerd wordt grote gevolgen heeft voor de samenstelling van de vegetatie en de doorworteling in de toplaag (figuur 5). Uit het onderzoek van Evert Elling, een afstudeerstudent van Van Hall Larenstein 2010, is gebleken dat in principe het type beheer minimale invloed heeft op de mate van de doorworteling en de trekkracht. De wortelmonsters van zijn onderzoek zijn genomen op vier rivierdijken met elk een verschillend vegetatietype en een verschillende combinatie van juist geacht beheer volgens het VTV (hooien of weiden) en bodem (klei of zand).[7] Nu is de vraag of dit ook het geval is bij de eerder genoemde extreme beheertypen, want hebben zij dan wel een invloed op de doorworteling en daarmee de sterkte van een grasmat?

[6] Arp et al. 1999 p. 7-8
[7] Elling 2010 p.23

1.5 Onderzoeksvragen

Naar aanleiding van de probleembeschrijving is een onderzoeksvraag geformuleerd om inzicht te krijgen in de verschillen tussen graszoden en de factoren: extreem beheer, vegetatiesamenstelling en de mate van doorworteling.

De hoofdvraag luidt:
"Wat zijn de verschillen in beworteling bij zeedijkgraslandvegetatie op de Oosterscheldedijk (ter hoogte van de Schelphoekseweg op Tholen) bij de verschillende aanwezige extreme en minder extreme beheertypen klepelmaaien en intensieve schapenbegrazing?"

De deelvragen:

1. Hoe verschillen de wortellengte en het gemiddelde worteldiameter op dijkgraslanden bij het beheertype schapenbegrazing en het beheertype klepelmaaien?
2. In hoeverre is er een relatie tussen de mate van doorworteling zoals geschat m.b.v. de 'handmethode' volgens het VTV en gemeten met een wortelscanner?
3. Hoe verschilt de trekspanning tussen wortels op dijkgraslanden bij het beheertype schapenbegrazing en het beheertype klepelmaaien?
4. Is via de golfoverslagproeven de vastgestelde sterkte en erosiebestendigheid van de proeflocaties te relateren aan de beheertypen schapenbegrazing en klepelmaaien? Kan dit op een eenduidige en aannemelijke manier in verband worden gebracht met de onder 1 t/m 3 gemeten zaken (mate van doorworteling en worteltrekspanning)?

Daarnaast zal een klein onderzoek worden gedaan om antwoord te krijgen op de volgende vragen:

- Hoe worden de grote verschillen in gemiddelde of modale diameter van graswortels bij verschillende proeven verklaard (rapport Vechtdijk en het rapport van E. Elling)?
- Welke protocollen moet gevolgd worden bij de verschillende proeven?

1.6 Globale werkwijze

Om te beginnen is er een literatuurstudie uitgevoerd. Er is veel gepubliceerd over de erosiebestendigheid van grasmatten, maar door de golfoverslagproeven van tegenwoordig worden oude zekerheden opnieuw onderzocht. Bijvoorbeeld de rol van de bodemstructuur bij de erosiebestendigheid van dijkbekleding bij golfoverslag. Daarnaast is het van belang om informatie te vinden over soortgelijke onderzoeken en methoden. Er kan veel geleerd worden van de resultaten van andere onderzoekers en hun methodieken en werkprotocollen.

Om antwoord te krijgen op de hoofdvraag moet er onderzoek worden gedaan naar de zodenkwaliteit van de proeflocatie. Dit gebeurd op vier verschillende manieren:

1. Zodekwaliteitsbepaling volgens het VTV, een toetsing van:
    a. Het gevoerde beheer
    b. De vegetatiesamenstelling
    c. De doorwortelingbepaling met de handmethode
2. Doorwortelingbepaling volgens de laboratoriummethode
3. Trekspanningbepaling
4. Resultaten golfoverslagproeven

Het VTV is een afkorting van 'Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen'. Dit is door het ministerie van Verkeer & Waterstaat opgesteld en tegenwoordig de norm voor het toetsen van dijken. Uit het onderzoek van Arp et al. (1999) is gebleken dat de handmethode, waarbij het aantal wortels groter dan 1 cm per diepteklasse worden geteld, net zo goed werkt als de laboratoriummethode, waarbij de doorworteling wordt bepaald met behulp van de wortelscanner (figuur 7). Ook is het bepalen van de doorworteling met de handmethode minder arbeidsintensief en het kan ter plekke door iedereen (met kennis of een flora) worden uitgevoerd. De laboratoriummethode is echter nauwkeuriger en kan op twee manier worden uitgevoerd, met de wortelscanner en de microscoop. Deze methode wordt zo in het rapport van Arp & Sprangers 1999 genoemd. De scanner is minder arbeidsintensief dan met de microscoop (Bouma et al.). Ook is het scannen sneller, maar een nadeel is dat de uitkomst van de scanner erg gevoelig is voor het gebruikte protocol.

De trekspanning wordt gemeten met het trekapparaat. Dit apparaat is bedoeld om druk uit te oefen op objecten die tussen de klemmen word geplaatst, maar bij verandering aan de instellingen kan het apparaat bijvoorbeeld wortels uit elkaar kan trekken en de trekspanning berekenen.

Daarnaast zijn de protocollen voor het uitvoeren van deze proeven in de bijlagen beschreven en aangepast naar het commentaar van verschillende experts en eigen ervaring.

1.7 Opbouw rapport

In hoofdstuk twee staat de onderzoeksopzet beschreven. In hoofdstuk drie worden de resultaten van de tests uiteengezet. In hoofdstuk vier is er plek voor discussie over de werkwijze en de resultaten. In hoofdstuk vijf wordt de conclusie getrokken. Daarnaast zijn er in dit hoofdstuk de aanbevelingen opgenomen.

2 Onderzoeksopzet

In dit hoofdstuk staan de meetprocedures toegelicht. Er wordt in gegaan over *hoe* de gegevens voor dit onderzoek zijn verzameld en *wat* er wordt gebruikt voor het vergaren van deze gegevens. Het proefontwerp wordt beschreven met daarop gevolgd hoe de steekproef is opgebouwd. Daarna wordt de keuze voor de gebruikte statistische toetsen uitgelegd.

2.1 Gemeten variabelen

Hieronder staan de begrippen en variabelen die bij de onderzoeksvragen zijn genoemd en geoperationaliseerd in een tabel gezet. De onafhankelijke variabelen zijn *cursief* gedrukt.

Objecten	**Variabele(n)**	**Waarden/Eenheid**
Beheer	• *Klepelmaaien* • *Schapenbegrazing*	Aan/Afwezig
Vegetatietype	• *Ruig hooiland* • *Soortenarme/rijke kamgrasweide*	Aan/Afwezig
Talud	• *Binnentalud* • *Buitentalud*	Ja/Nee
Doorworteling	*Kleuring*	Ja/Nee
	Scanresolutie	• 200 dpi • 400 dpi
	Bewaartechniek	• geheel bevroren • geheel gekoeld • variatie invriesdata • variatie bewaartemperatuur
	Worteldiepte	Klasse 1 t/m 8
	Worteloverlappingen	aantal
	Wortellente	cm/cm3
	Worteldiameter	mm
	Trekspanning	MN/m2
	Relatieve vervorming	percentage

Tabel 1. Operationalisatie variabelen en begrippen

2.2 Zodekwaliteitbepaling volgens het VTV

In het VTV staat hoe de zodenkwaliteit wordt bepaald. Dit gebeurt op basis van drie factoren, namelijk het gevoerde beheer, de vegetatiesamenstelling en de doorworteling. Elke factor krijgt een eigen classificatie en als dit bij elkaar wordt op geteld is wordt het duidelijk wat de kwaliteit van de zode is.

De vegetatie-opnames voor het bepalen van de vegetatiesamenstelling zijn uitgevoerd door dhr. R. Huiskes van Alterra. Voor de determinatie is de Braun-Blanquet methode gebruikt. Dit is een classificatiemethode waarbij gekeken wordt naar de gehele floristische samenstelling van de proefplek. De gevonden plantensoorten zijn gekoppeld aan de indicatiewaarden van Ellenberg voor het bepalen van de verwachte doorworteling.

De doorworteling is bepaald aan de hand van de handmethode. Met een gutsboor worden steken van 20 cm diep genomen. Het steekmonster wordt verdeel d in 8 diepteklassen (tabel 2). Per diepteklasse worden alle wortels langer dan 1 cm geteld. Het aantal wortels wordt dan in een

categorie ingedeeld volgens het VTV (tabel 3). In bijlage VIII staat het protocol voor deze methode beschreven.

Klasse	Diepte (cm)
1	0 - 2,5
*2	2,5 - 5
3	5 - 7,5
*4	7,5 - 10
5	10 - 12,5
*6	12,5 - 15
7	15 - 17,5
*8	17,5 - 20

Tabel 2. Diepteklassen bij grondmonsters

Categorie	Worteldichtheid
0	Geen wortels aanwezig
1	1-3 wortels
2	4-10 wortels
3	11-20 wortels
4a	21-30 wortels
4b	31-40 wortels
5a	>40 wortels
5b	'wortelmatje'

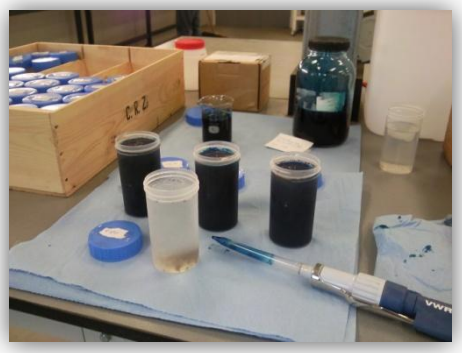
Tabel 3. VTV- categorieën voor worteldichtheid

2.3 Laboratoriummethode

Net als met de handmethode worden ter plekke steken genomen van 20 cm diep met de wortelboor en verdeeld in 8 diepteklassen. Deze boormonsters worden dan verpakt en zo snel mogelijk gekoeld in een koelbox.

Figuur 6. Machinaal spoelen
Foto: C. Christiaanse 2011

Voordat de wortels gescand kunnen worden moeten ze eerst gespoeld worden, zodat alleen de wortels overblijven voor onder de scanner. Er zijn teveel monsters om in korte tijd door één persoon handmatig te spoelen en te scannen. Daarom is er naast het handmatig spoelen ervoor gekozen om ook machinaal te spoelen. Dit gebeurd met de machine uit figuur 6. Deze spoelt zes grondmonsters ter gelijke tijd. Het grondmonster wordt in de grote kolom gedaan. Via de onderkant komt water en lucht naar binnen. De luchtbubbels zorgen ervoor dat het materiaal via de buisconstructie in de zeef terecht komt. Het zware materiaal, sediment en stenen, blijven achter in de kolom.



Figuur 7. Wortels kleuren
Foto: C. Christiaanse 2011

In totaal zijn er vier verschillende bewaartechnieken gebruikt (tabel 1). De bewaartechnieken zijn systematisch over de steekproeven verdeeld. Van elke strook is replica 1 in zijn geheel in de koelkast bewaard met een temperatuur van 4°C. Deze monsters kunnen hooguit twee weken worden bewaard[8]. Voor replica 2 varieert de bewaartemperatuur van -10°C en 4°C. Alle even diepteklassen van deze replica zijn in de koeling bewaard en de oneven in de vriezer. Replica 3 is in geheel bevroren en replica 4 varieert in invriesdata. De invriesdata van replica verschilt met

[8] Putten 2010 p. 4

twee weken, waarbij als eerst de oneven diepteklassen in de vriezer zijn bewaart en daarna de even erbij zijn gelegd.

In de loop van het experiment is het rapport gevonden van Bouma et al. (2000) met daarin een specifieke omschrijving over hoe een correctie wortelscan van een fijn wortelsysteem moet worden uitgevoerd (tabel 4). Als gevolg hiervan is een select aantal wortelmonsters gekleurd en ongekleurd gescand met een scanresolutie van 200 en 400 dpi (figuur 9). Later kan uitgezocht worden hoe groot het verschil is tussen deze data-sets. Verder staat in het rapport dat de overlappingen onder de scanner invloed hebben op het correct aflezen van de pixels door de software. Er is een correctiemethode, maar welke is onbekend en zodoende niet gehanteerd.

Scan-normen voor graswortels

Kleuringperiode	24 uur
Wortellengte per mm2 (maximaal)	<0,5 mm
Wortellengte per mm2 (optimaal)	0,1 – 0,3 mm
Scanresolutie	>400 dpi
Kleurschaal	Grijswaarden (grayscale)
WinRHIZO	Automatische settings

Tabel 4. Scan-normen voor fijne wortelsystemen
Bron: Bouma et al. 2000

De protocollen die zijn gebruikt voor bovenstaande handelingen staan in de bijlagen beschreven.

Figuur 8. Het trekapparaat (Zwick-Line type 112).
Foto: E. Elling 2010

Figuur 9. De wortelscanner (EPSON Pro).
Foto: C. Christiaanse 2011

2.4 Trekspanningbepaling

Voor het meten van de trekspanning zijn alleen de diepteklassen uit tabel 2 met een * ervoor gebruikt. De boormonsters voor de trekspanning zijn in de koelkast bewaard bij een temperatuur van 4°C. Een onbekend aantal van deze monsters is tegen de achterkant van de koeling gelegd waardoor ze voor onbepaalde tijd bevroren zijn geweest. Het is onbekend wat het effect hiervan is op de kwaliteit van de wortels.

Voor het meten van de trekspanning is het trekapparaat in figuur 8 gebruikt. Van elk boormonster zijn maximaal 10 wortels die representatief zijn voor het boormonster gemeten met de trekmachine. De trek spanning wordt uitgedrukt in meganewton per m2 (MN/m2). De worteldiameter wordt bepaald met een lichtmicroscoop (vergroting 50x).Daarnaast wordt ook de wortelkleur en het breekpunt van de wortel tussen de klemmen genoteerd.

De belangrijke meetgegevens in de Zwick-data voor het bepalen van de worteltrekspanning en de relatieve vervorming zijn:

- F-break (N) (force at break; kracht op het moment van breken)
- A (mm) (strain at break; rek op het moment van breken)
- Worteldiameter (mm)
- Afstand tussen de wortelklemmen (mm)

2.5 Golfoverslagresultaten

Op de proeflocatie heeft elke teststrook een niet-waterkerend object. Deze worden door INFRAM getest met behulp van de golfoverslagstimulator op hun invloed op de dijk bij golfoverslag. In tabel 4 staat wat voor soort object op welke strook aanwezig is. De resultaten uit de golfoverslagproeven zijn te koppelen aan de uitslag van de laboratoriummethode en de trekspanningbepaling, waarna een uitspraak kan worden gedaan over de doorwortelingskwaliteit van de proeflocatie op de dijk.

Locatie	Strook	Niet-waterkerend object
A	1	Betonnen trap
B	2	Voormalig inkassing
C	3	Houten afrastering

Tabel 5. Niet-waterkerende objecten per strook

2.6 Proef-ontwerp en controlemaatregelen

Er is in dit onderzoek sprake van een achteraf-experiment, want de meetwaarden van de onafhankelijke variabele (beheer- en vegetatietype) zijn vooraf niet beïnvloedbaar op de afhankelijke variabelen (lengte, diameter en trekspanning). De base-rate, standaardsituatie, zijn de resultaten uit het rapport van Sprangers en de ervaring van Alterra met zeedijkgraslanden. Ook vind er geen controle plaats, want er zijn geen monsters genomen voor een tweede meting. Dit bij elkaar maakt van de onderzoeksopzet een zwak design. Als aanvullende methode is de handmethode en de trekspanningbepaling toegevoegd.

Het aantal worteloverlappingen tijdens het scannen is een factor die zorgt voor foutieve interpretatie van pixels in de scanresultaten en hebben een correctie nodig(Bouma et al. 2000). Een truc om deze fout te minimaliseren is de wortels in stukken te knippen, zodat het aantal overlappingen laag blijft.

2.7 Steekproeftrekking

Op 10 maart 2011 is tijdens het veldwerk boormonsters verzameld voor de proeven in het laboratorium en voor de trekspanningbepaling. In elk van de drie proefstroken (5 m x 5 m) worden 12 steken genomen van 20 cm diep. Daarvan zijn er 4 steken bestemd voor het uitvoeren van de handmethode (gutsboor), 4 steken voor de meting van de trekspanning (wortelboor) en 4 steken voor de wortelscanner (wortelboor). De steken zijn aan

Figuur 10. Steek verdelen in de 8 diepteklassen
Foto: Y. Frissel 2011

weerszijden van de golfoverslagstroken genomen, twee boven en twee onder aan het talud. De boormonsters voor de VTV-bepaling, trekspanning en de laboratoriummethode worden vlak naast elkaar genomen. Wel moet er rekening worden gehouden met het feit dat de bodemstructuur over het algemeen sterk heterogeen is[9].

Steekproeftrekking	**Handmethode**	**Laboratoriummethode**	**Trekspanningbepaling**
Bedoelde populatie	Oosterscheldedijk met schapenbegrazing of klepelmaaien		
Operationele populatie	Proefvlak op de Oosterscheldedijk ter hoogte van de Schelphoekseweg		
Steekproef	3 teststroken (1 schapenbegrazing en 2 klepelmaaien)		
Steekproefomvang	4 steekmonsters/replica's		
Mogelijk respons (n)	96 boormonsters	Min 96 scanresultaten	Max 480 wortels
Daadwerkelijke respons (n)	96 boormonsters	95 scanresultaten	173 wortels

Tabel 6. Bijzonderheden steekproeftrekking

2.7.1 Handmethode

Alterra heeft als aanvulling op de VTV-classificatie voor worteldichtheid zijn de laatste twee categorieën uitgebreid met een specificatie. Deze zijn in de tabel terug te vinden met een 'b' achter het cijfer. In totaal zijn er 96 boormonsters op hun doorworteling gemeten volgens het VTV. Waarbij vier steken per proefvak in overeenstemming met de minimumeis van het VTV (n=4).

Aantal boormonsters																
Strook	**1**				**Totaal 1**	**2**				**Totaal 2**	**3**				**Totaal 3**	**Eindtotaal**
Replica	**1**	**2**	**3**	**4**		**1**	**2**	**3**	**4**		**1**	**2**	**3**	**4**		
1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	12
2	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	12
3	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	12
4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	12
5	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	12
6	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	12
7	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	12
8	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	4	12
Eindtotaal	**8**	**8**	**8**	**8**	**32**	**8**	**8**	**8**	**8**	**32**	**8**	**8**	**8**	**8**	**32**	**96**

Tabel 7. Aantal boormonsters voor de handmethode

2.7.2 Laboratoriummethode

In totaal zijn er 194 scanresultaten, waarvan er een aantal zijn samengevoegd waardoor het op 121 resultaten komt te staan. Deze boormonsters zijn voor het scannen door tweeën gedeeld, omdat de worteldichtheid te hoog was om een geslaagde scan te maken. Pas later bleek dat hier een norm voor te zijn, namelijk 0,1- 0,3 mm wortel per mm2 (Bouma et al. 2000). In de data-set is de overschrijding van deze norm gecontroleerd door het scanbakoppervlak (200x300 mm) te delen door de gescande wortellengte. In totaal zijn er 4 scanresultaten die buiten de 0,1 en 0,3 mm/mm2 norm liggen. Deze scanresultaten zijn met een hoge scanresolutie (400 dpi) gescand en daardoor automatisch niet voor dit onderzoek gebruikt.

[9] Arp et al. 1999 p.11

Uiteindelijk zijn er maar 95 scanresultaten die voor de tests worden gebruikt. Deze hebben allemaal dezelfde procedure doorlopen en zijn allemaal ongekleurd gescand met een lage scanresolutie.

Aantal scanresultaten			
Behandelvariatie	**Spoelmethode**		**Eindtotaal**
	Handmatig	**Machinaal**	
Ongekleurd	**36**	**61**	**97**
***Lage scanresolutie (200 DPI)**	**35**	**60**	**95**
geheel bevroren	-	*24*	*24*
geheel gekoeld	*23*	-	*23*
variatie invriesdata	-	*24*	*24*
variatie bewaartemperatuur	*12*	*12*	*24*
***Hoge scanresolutie (400 DPI)**	**1**	**1**	**2**
geheel bevroren	-	*1*	*1*
geheel gekoeld	*1*	-	*1*
Gekleurd	**-**	**24**	**24**
***Hoge scanresolutie (400 DPI)**	**-**	**24**	**24**
geheel bevroren	-	*16*	*16*
variatie bewaartemperatuur	-	*8*	*8*
Eindtotaal	**36**	**85**	**121**

Tabel 8. Aantal scanresultaten

Uit strook 2, replica 1 ontbreekt diepteklasse 3.

Aantal bruikbare scanresultaten												
	Diepteklasse								**Totaal**	**Beheertype**		
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**		**Klepel maaien**	**Schapen begrazing**	
ongekleurd	12	12	11	12	12	12	12	12	**95**	63	32	ongekleurd
200 dpi	12	12	11	12	12	12	12	12	**95**	63	32	200 dpi
Totaal	**16**	**12**	**11**	**12**	**12**	**12**	**12**	**12**	**95**	**63**	**32**	**Totaal**

Tabel 9. Aantal bruikbare scanresultaten van 200 dpi, ongekleurde en per bewaarmethode en beheertype

2.7.3 Trekspanningbepaling

Voor de het bepalen van de trekspanning zijn er in totaal 48 monsters genomen en 173 wortels gemeten (n=4).

Aantal gemeten wortels																	
Strook	**1**					**2**					**3**						
Replica	**1**	**2**	**3**	**4**	**Totaal 1**	**1**	**2**	**3**	**4**	**Totaal 2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**Totaal 3**	**(leeg)**	**Eindtotaal**
2	4	5	9	4	22	4	10	10	10	34	4	9	10	4	27		83
4	4	-	8	2	14	4	-	2	8	14	3	3	3	4	13		41
6	-	-	-	3	3	5	2	1	3	11	2	2	2	4	10		24
8	-	-	2	2	4	3	1	2	7	13	-	5	1	1	7		24
(leeg)																1	1
Eindtotaal	**8**	**5**	**19**	**11**	**43**	**16**	**13**	**15**	**28**	**72**	**9**	**19**	**16**	**13**	**57**	**1**	**173**

Tabel 10. Aantal gemeten wortels

2.8 Statistische verwerking

De ruwe data is terug te vinden op de CD die met dit verslag is aangeleverd. De gemiddelde wortellengte, -diameter en trekspanning wordt berekend per diepteklasse en per beheertype schapenbegrazing en klepelmaaien. Daarna wordt er naar een statistische samenhang gezocht.

Hieronder staan de nulhypothese en alternatieve hypothese per deelvraag genoemd. Voor de toetsing van deze hypotheses wordt er gebruik gemaakt van de meerweg variatieanalyse waarbij het significantieniveau 5% is. De invloeden van de verschillende onafhankelijke variabelen op de variabele worden op deze manier getoetst**.** Voor de deze toetsen zijn het beheertype en de diepteklasse ingevoerd als onafhankelijke variabelen. De afhankelijke variabelen worden eerst op scheefheid getoetst en eventueel genormaliseerd door middel van een log10-transformatie.

Daarnaast wordt de Levene's toets uitgevoerd om te bepalen of deze uitslag betrouwbaar is waarbij de overschrijdingskans kleiner is dan 10%. Mocht dit wel het geval zijn, dan wordt er overgestapt op de non-parametrische toets van Kruskal-Wallis. De afhankelijke variabale wordt dan ordinaal beoordeeld.

Deelvraag 1: *'Hoe verschillen de wortellengte en het gemiddelde worteldiameter op dijkgraslanden bij het beheertype schapenbegrazing en het beheertype klepelmaaien?'*

H0 : Er is geen verschil in de doorworteling (lengte en diameter) tussen het klepelmaaibeheer en schapenbegrazing.

H1 : Er is wel een verschil in de doorworteling (lengte en diameter) tussen schapenbegrazing en het klepelmaaibeheer.

Deelvraag 2: *'In hoeverre is er een relatie tussen de mate van doorworteling zoals geschat m.b.v. de 'handmethode' volgens het VTV en gemeten met een wortelscanner?'*

H0 : Er is geen verschil in de doorworteling (lengte en diameter) tussen de handmethode en de wortelscanner.

H1 : Er is wel een verschil in de doorworteling (lengte en diameter) tussen de handmethode en de uitslag van de wortelscanner.

Deelvraag 3: *'Hoe verschilt de trekspanning tussen wortels op dijkgraslanden bij het beheertype schapenbegrazing en het beheertype klepelmaaien?'*

H0 : Er is geen verschil in de trekspanning tussen het klepelmaaibeheer en schapenbegrazing.

H1 : Er is wel een verschil tussen de trekspanning bij het klepelmaaibeheer en schapenbegrazing.

Gebruikte computerprogramma's en apparatuur

Met behulp van het software-programma WinRHIZO v.2005b worden de scanbeelden geanalyseerd. Dit programma telt het aantal pixels in de scanresultaten en berekent zo de verschillende meetwaarden van de variabelen. In bijlage XII staat een voorbeeld van een scanresultaat. Naast de wortellengte en diameter worden vele andere variabelen gemeten met de wortelscanner.

Voor de trekspanningproef wordt de software testExpertMachine versie 7.01 gebruikt om de gegevens in tabellen en in een verloopgrafiek te zetten. De gegevens uit de tabellen worden naar Microsoft Excel geëxporteerd en in SPSS v. 18 verder bewerkt.

3 Resultaten

3.1 Zodekwaliteitsbepaling volgens het VTV

3.1.1 Beheer

Zoals uit de inleiding is gebleken wordt er een klepelmaaibeheer uitgevoerd op locatie A en B. Dit resulteert gemakkelijk in een graszode met veel open plekken en een soortenarme ruigtevegetatie[10] wat op deze locatie ook het geval is.

Op locatie C vindt er schapenbegrazing plaats. Als dit te intensief gebeurd, zoals op deze locatie, dan is de kans op een lage soortensamenstelling erg groot met een zeer kort gegraasde vegetatie. Ook de mosgroei wordt bevorderd door de toegenomen lichtinval en ruimte (figuur 11).

Figuur 11. Overzicht begraasde deel (strook 3). Foto: R. Huiskes (2011)

3.1.2 Vegetatie

Door het vroege voorjaar en de winterrust waarin veel soorten verkeren is de determinatie van de vegetatie erg lastig is. Vaak is er een gebrek aan optimale kenmerken en is het aantal waargenomen soorten laag.

Wat opvalt uit de vegetatie-opnames (bijlage I) is de hoge mosbedekking op locatie C (figuur 9). De op de locaties aanwezige vegetatie is in onderstaande tabel ingedeeld in de VTV-vegetatietypen[11]. Volgens de indicatiewaarden van Ellenberg zal de doorworteling groter dan 20 cm/cm3 zijn.

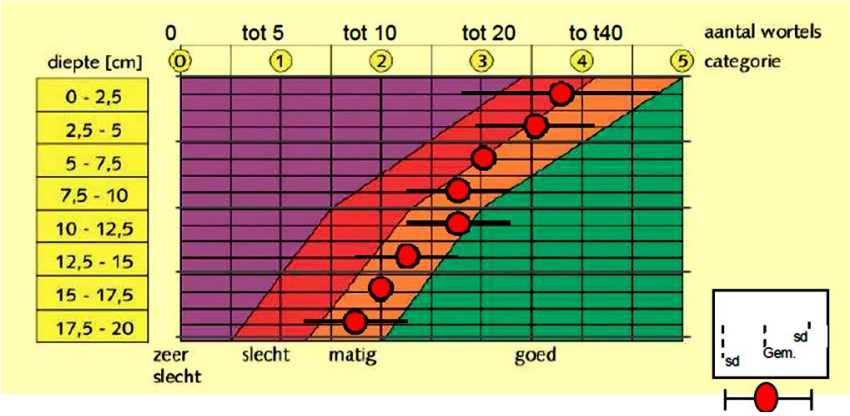
Locatie	Strook	Beheertype	VTV-code	VTV-vegetatietype
A	1	Klepelmaaien	H1	Soortenarm hooiland, bemest hooiland
B	2	Klepelmaaien	R/H1	Ruig hooiland / Soortenarm hooiland, bemest hooiland
C	3	Schapenbegrazing	W2/W3	Soortenarm / Soortenrijk kamgrasland

Tabel 11. De vegetatietypen per locatie. Bron: Tholen (Paulissen et al. 2011)

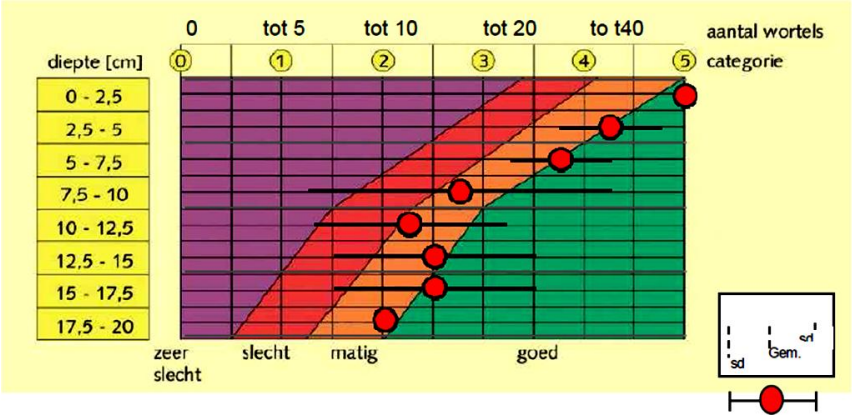
[10] Hazebroek & Sprangers 1999 p.8
[11] Paulissen et al. 2011 p. 2

3.1.3 Doorworteling handmethode

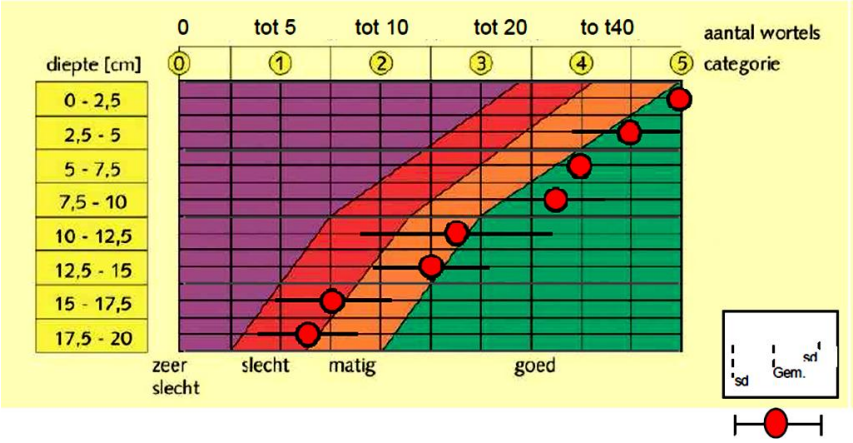
De uitkomst van de handmethode is afkomstig uit het verslag van Paulissen et al. 2011. In figuur 12 t/m 14 is voor elke strook het aantal wortels gemiddeld per proefstrook weergegeven (gemiddelde over 4 steken (n=4)). Dit aantal wordt in de figuur gekoppeld aan de kwaliteitscores volgens het VTV (figuur 12 t/m 14). De locaties met klepelmaaien scoren matig in de diagrammen en de locatie met schapenbegrazing matig tot net goed in de bovenste diepteklassen (0 – 10 cm). Maar gemiddeld over de hele diepte scoort deze nog steeds heel slecht.



Figuur 12. Tholen, binnentalud, proefstrook A (beoordelingsdiagram van het VTV)



Figuur 13. Tholen, binnentalud, proefstrook B (beoordelingsdiagram van het VTV)



Figuur 14. Tholen, binnentalud, proefstrook C (beoordelingsdiagram van het VTV)

3.2 Laboratoriummethode

3.2.1 Beschrijving variabelen

In de boxplot (figuur 16) is duidelijk te zien dat de eerste twee lagen van de bodem veel wortellengte bevat. Het gemiddelde van deze twee diepteklassen ligt ver boven die van de overige. Het staafdiagram uit figuur 17 laat het verloop van de lengte in elke diepteklassen per beheertype nog eens zien. Weer is te zien dat de bovenste dieptelagen het grootste aandeel in wortellengte bevatten. In figuur 15 en 17 is te zien aan de grootte van de boxplot en de hoogte van de staafdiagram, dat op de locatie met schapenbegrazing meer wortellengte is gemeten dan op de locatie met het klepelmaaibeheer en minder snelle afname in lengte in toenemende diepte.

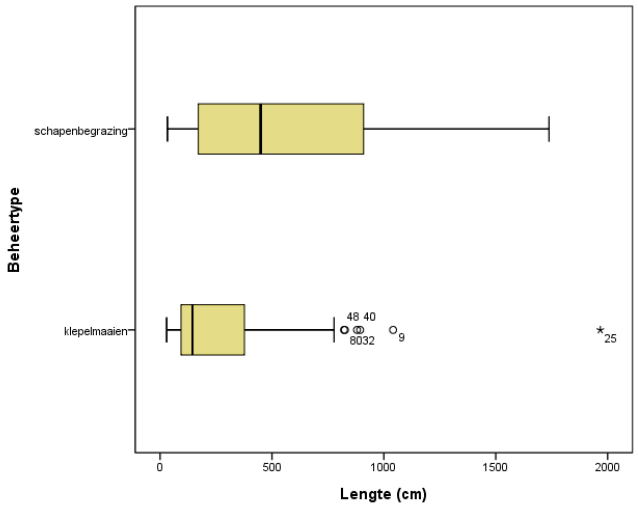
De gemiddelde worteldiameter over de twee beheertypen gezien is 1,18 mm (tabel 12). De gemeten diameter geeft per diepteklasse en per beheertype hele korte boxlots met veel uitbijters weer (figuur 19 en 20). In figuur 20 lijkt de eerste diepteklasse veel variatie in de gemiddelde dikte te zitten, terwijl in de rest van de lagen minimaal verschil te zien is. Uit tabel 12 blijkt dat deze variabele sterk positief scheef verdeeld is (Skewness van 4.210). Dit komt later in het rapport terug.

Daarnaast is het aantal worteloverlapping van belang. Dit kan namelijk de kwaliteit en de bruikbaarheid van de scanresultaten negatief beïnvloeden. Het is in de boxplot van figuur 21 duidelijk af te lezen dat de eerste twee diepteklassen meer worteloverlappingen bevatten. Dit valt waarschijnlijk samen met de hoeveelheid wortellengte die gemeten is in deze klassen, waardoor de kans op een groot aantal overlappingen hoger wordt. Bij de overige diepteklassen is de range overlappingen ongeveer gelijk.

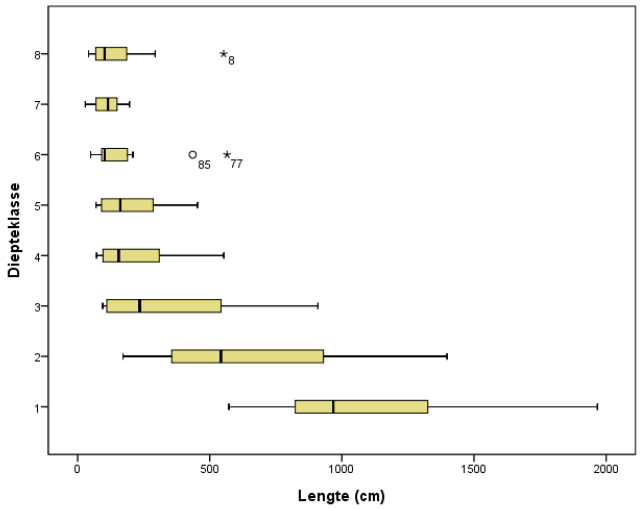
Descriptive Statistics (1)

	N	Range	Minimum	Maximum	Sum	Mean		Std. Deviation	Variance
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic
Lengte_cm	95	1937.858	29.183	1967.041	35466.920	373.336	41.563	405.101	164107.211
Gem_diameter_mm	95	2.783	.541	3.324	112.659	1.186	.033	.319	.102
Worteloverlappingen	95	598.000	.000	598.000	9394.000	98.884	14.593	142.231	20229.593
Valid N (listwise)	94								

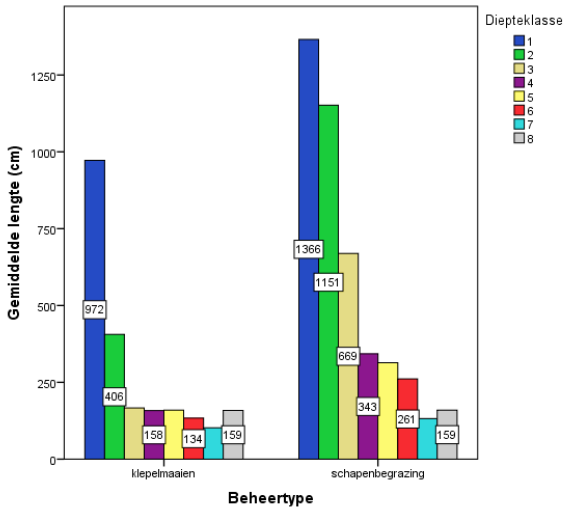
Tabel 12. Spreidings- en centrummaten wortellengte, -diameter en -overlappingen



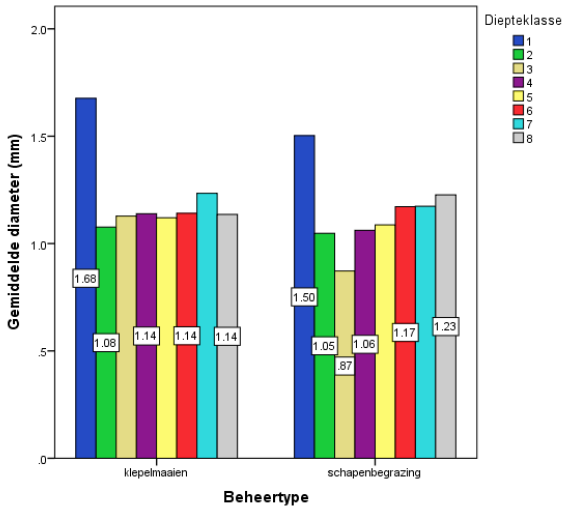
Figuur 15. Boxplot wortellengte (cm/cm3) per beheertype (schapenbegrazing n=32, klepelmaaien n=63)



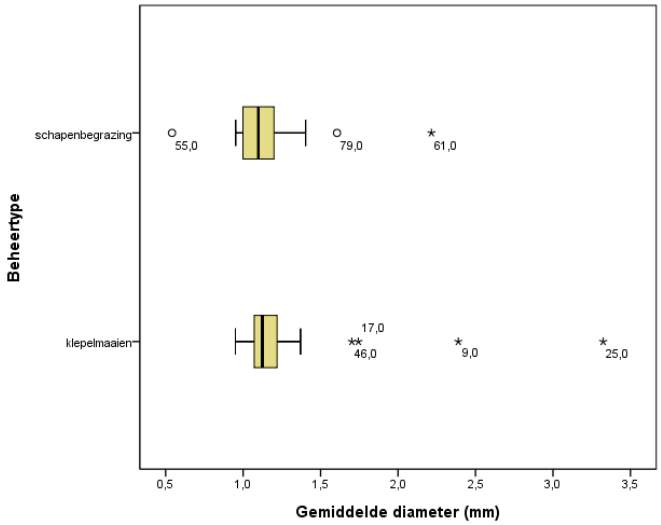
Figuur 16. Boxplot wortellengte (cm/cm3) per diepteklasse (n=12 exl. klasse 3 n=11)



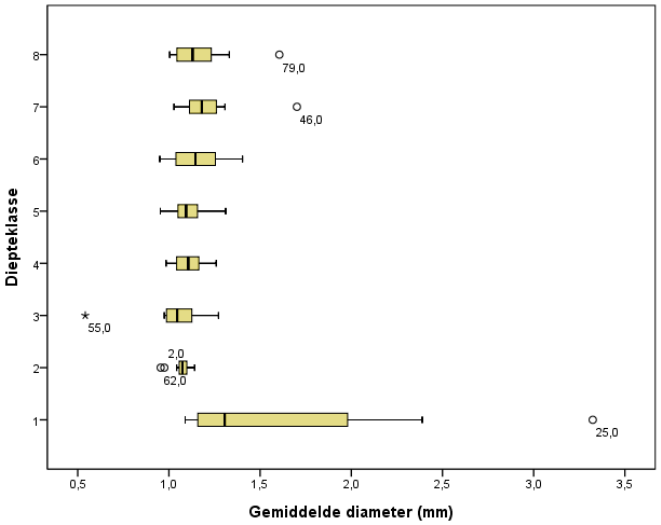
Figuur 17. Staafdiagram gemiddelde wortellengte (cm/cm3) per beheertype*diepteklasse



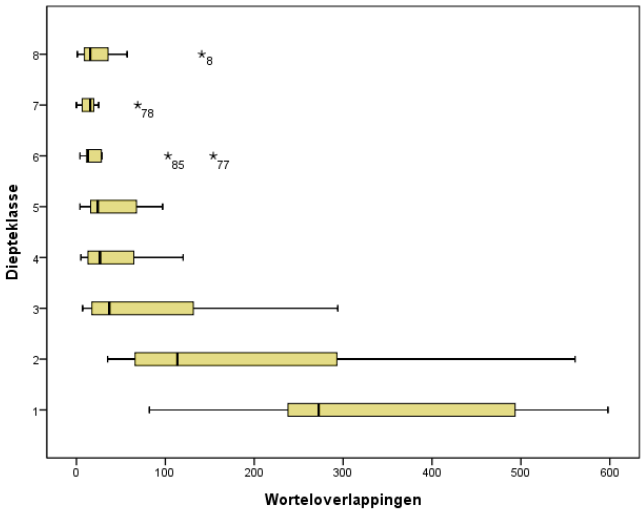
Figuur 18. Staafdiagram gemiddelde worteldiameter (mm) per beheertype*diepteklasse



Figuur 19. Boxplot gemiddelde worteldiameter (mm) per beheertype
(schapenbegrazing n=32, klepelmaaien n=63)



Figuur 20. Boxplot gemiddelde worteldiameter (mm) per diepteklasse
(n=12 exl. klasse 3 n=11)



Figuur 21. Boxplot worteloverlappingen per diepteklasse
(n=12 excl. klasse 3 n=11)

3.2.2 Significantietoetsen

In tabel 13 staan de scheefheidmaten van de variabelen. Alle drie zijn positief scheef verdeeld, waardoor een correctie in een logaritme noodzakelijk is. In bijlage II staan histogrammen van voor én na deze transformatie. Zoals te zien is in tabel 13 heeft de gepoogde normalisering van de worteldiameter niet geholpen. Als gevolg hiervan wordt deze variabele geanalyseerd met de Kruskal-Wallis toets in plaats van een meerweg variantieanalyse.

Descriptive Statistics (2)

	N	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
Lengte_cm	95	**1.816**	.247	3.197	.490
Gem_diameter_mm	95	**4.210**	.247	23.712	.490
Worteloverlappingen	95	**2.085**	.247	3.822	.490
Log10_Lengte	95	.277	.247	-.875	.490
Log10_Gem_diameter	95	**1.918**	.247	10.649	.490
Log10_Wortel overlappingen	94	.099	.249	-.610	.493
Valid N (listwise)	94				

Tabel 13. Scheefheidmaten wortellengte, -diameter en -overlappingen

Per afhankelijke variabele zijn hypothesen geformuleerd. Deze staan hieronder onderstreept met dikgedrukt of de onafhankelijke variabele is of combinatie van de onafhankelijke variabelen (d.w.z. de interactieterm) kon worden getoetst

<u>Hypothesen wortellengte</u>
H0: Er is geen verschil in lengte tussen de beheertype/diepteklasse/**combinatie**.
H1: Er is wel een verschil in lengte tussen de **beheertype**/**diepteklasse**/combinatie.

De Levene's toets geeft aan dat de variantieanalyse uitgevoerd mag worden. Uit de meerweg analyse komt naar voren dat het effect op de diepteklasse en de beheertypen afzonderlijk op de wortellengte zeer significant is(beiden P=0,00). De combinatie van het beheertype en de diepte op de wortellengte is niet significant (P=0,21).

<u>Hypothesen worteldiameter</u>
H0: Er is geen verschil in diameter tussen de **beheertype**/diepteklasse.
H1: Er is wel een verschil in diameter tussen de beheertype/**diepteklasse**.

Het beheertype heeft in dit geval geen significant effect (P=0,176). De diepteklasse heeft een zeer significant effect op de worteldiameter met een tweezijdige overschrijdingskans van slechts 0,002.

3.2.3 Controle op variatie in de data-set

In bijlage IV staan de toets-uitslagen van de meerweg variantieanalyse. De onafhankelijke variabelen zijn de bewaartemperatuur van de monsters, de spoelmethode met als co-variatie de diepteklasse. Alle handmatig gespoelde boormonsters zijn bewaard met een temperatuur van 4C (n=35) en de machinaal gespoelde monsters bij -10C (n=60). Er kon geen significant effect op de wortellengte (in log10) betreft spoelmethode of bewaartemperatuur worden aangetoond.

3.3 Handmethode statistisch getoetst

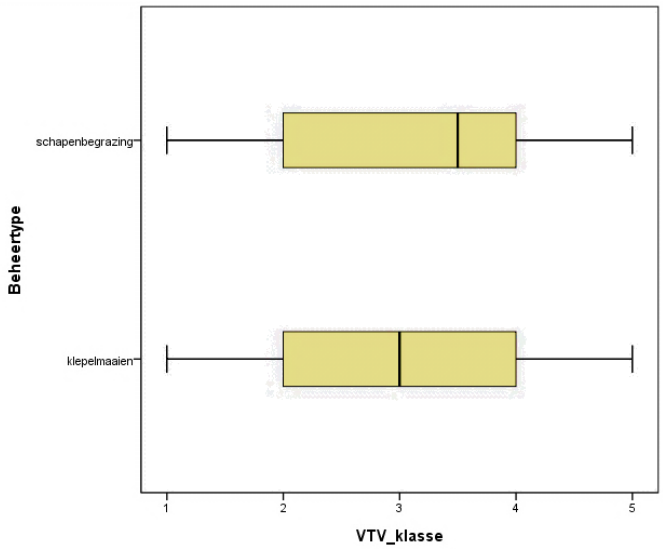
3.3.1 Beschrijving variabelen

In de boxplot (figuur 22) ligt de mediaan bij het klepelmaaien in klasse 3 en de mediaan bij schapenbegrazing tussen klasse 3 en 4. Er is dus een hogere doorworteling gemeten op de locatie met schapenbegrazing.

Descriptive Statistics (1)

	N	Range	Minimum	Maximum	Sum	Mean		Std. Deviation	Variance
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic
VTV_klasse	95	4	1	5	285	3.00	.122	1.194	1.426
Valid N (listwise)	95								

Tabel 14. Spreidings- en centrummaten VTV-klasse



Figuur 22. Boxplot VTV-klasse per beheertype (schapenbegrazing n=32. Klepelmaaien n=63)

3.3.2 Significantietoetsen

Zoals te zien is in tabel 15 is de VTV-klasse niet scheef verdeeld (Skewness = 0,115). Het is in principe veilig om een meerweg variantieanalyse uit te voeren. Maar de Levene's toets (bijlage V) geeft aan dat de varianties niet geschikt zijn voor het uitvoeren van een meerweg variantieanalyse (P = 0,003). Er is overgestapt op de Kruskal-Wallis toets waarbij de diepteklasse significant is (P = 0,000) en het beheertype niet (P = 0,357).

Descriptive Statistics (2)

	N	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
VTV_klasse	95	**.115**	.247	-.944	.490
Valid N (listwise)	95				

Tabel 15. Scheefheidmaten VTV-klasse

<u>Hypothesen VTV-klasse</u>

H0: Er is geen verschil in VTV-klasse tussen de **beheertypen**/diepteklasse.

H1: Er is wel een verschil in VTVT-klasse tussen de beheertypen/**diepteklasse**.

3.4 Trekspanningbepaling

3.4.1 Beschrijving variabelen

De gemiddelde diameter, zoals deze is gemeten met de microscoop, is 0,32 mm (tabel 16). Uit de diameterboxplotten (figuur 23 en 24) is het lastig een duidelijk verschil aan te wijzen tussen de verschillende beheertypen en diepteklassen. Het gemiddelde tussen de beheertypen en de diepteklassen ligt dicht bij elkaar en er zijn veel uitbijters. Uit het diagram van figuur 25 is op te maken dat zich in de bovenste beschouwde diepteklasse dikkere wortels bevinden dan in de onderste lagen. Verder is er op het oog geen duidelijk waarneembaar verschil in diameter tussen de beheertypen. Maar de diameter in het stuk met schapenbegrazing (figuur 25) loopt vloeiend naar beneden vergeleken bij het klepelmaaien in histogram.

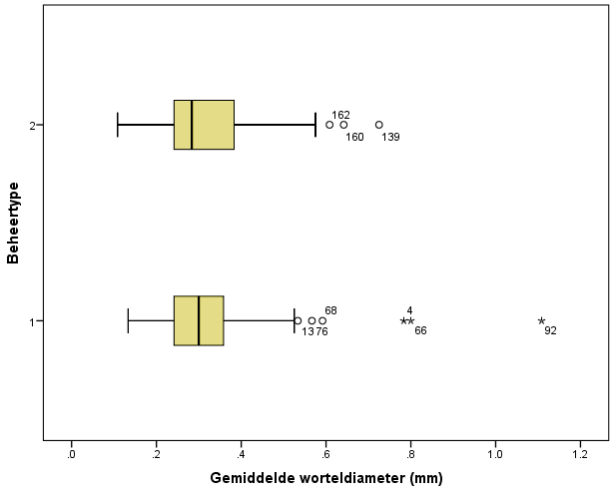
Voor deze test is een gemiddelde trekspanning gemeten van 16,43 Mn/m2 met een standaardafwijking van 14,41. Het lijkt erop dat in figuur 27 de graswortels in het klepelmaaibeheer een hogere trekspanning hebben door de brede range dan het proefvak met schapenbegrazing (figuur 28), maar de mediaan van beiden ligt dicht bij elkaar en de standaardafwijking is steeds heel groot. Wat ook opvalt, is dat bij klepelmaaien de trekspanning lijkt toe te nemen naar mate de wortels dieper liggen (figuur 28).

In figuur 29 staat de relatieve vervorming in percentage weergegeven. Er is geen waarneembaar verband tussen de trekspanning en de vervorming van de wortels. Maar 7,1% van de variatie in de trekspanning kan door de vervorming worden verklaard. Verder is er geen verband te vinden met de verschillende diepteklasse. Logisch zou zijn dat de trekspanning toe neemt naarmate de rek van de wortel toeneemt.

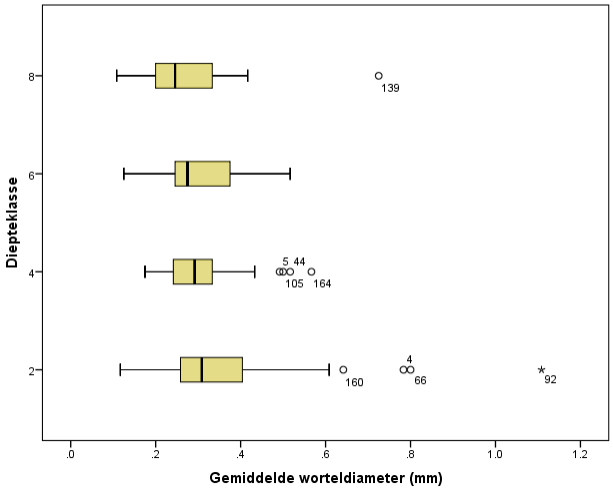
Descriptive Statistics (1)

	N	Range	Minimum	Maximum	Sum	Mean		Std. Deviation	Variance
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic
TrekspanningMNm2	172	65.07	.41	65.48	2826.24	16.4316	1.09872	14.40957	207.636
relatieve_vervorming	172	71.8667	1.8000	73.6667	5123.8667	29.789923	1.3091342	17.1691340	294.779
Diameter_gem	172	1.00	.11	1.11	55.56	.3230	.01045	.13709	.019
Valid N (listwise)	172								

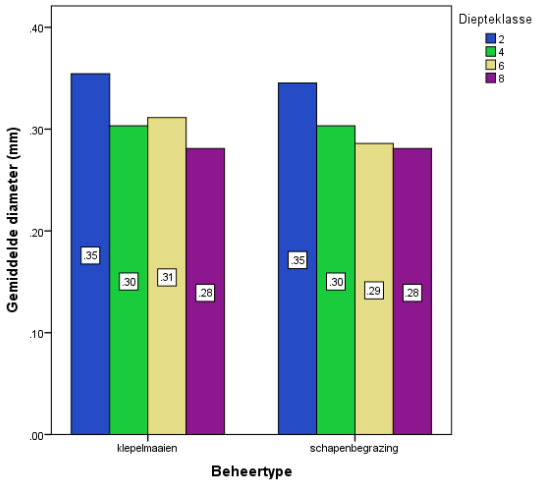
Tabel 16. Spreidings- en centrummaten worteltrekspanning, -diameter en relatieve vervorming



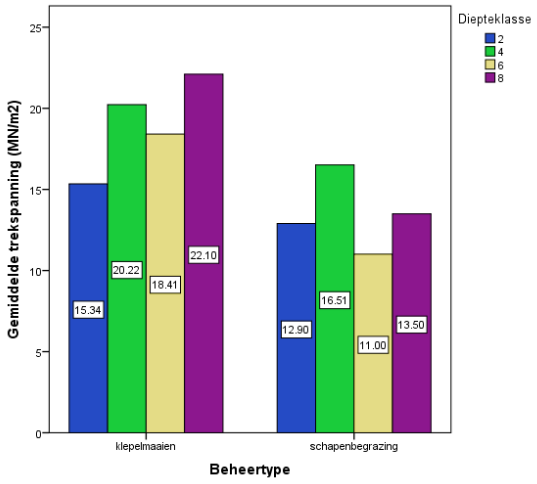
Figuur 23. Boxplot worteldiameter (mm) per beheertype (klepelmaaien (1) n=115, schapenbegrazing (2) n=57)



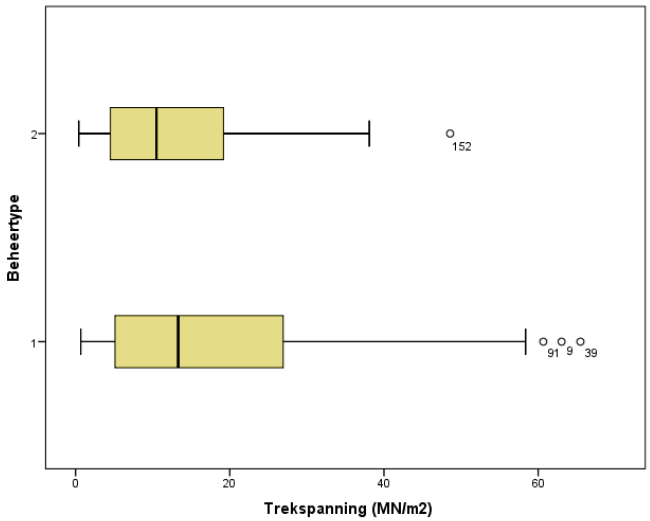
Figuur 24. Boxplot worteldiameter (mm) per diepteklasse (diepteklasse 2 n=83, 4 n=41, 6 en 8 n=24)



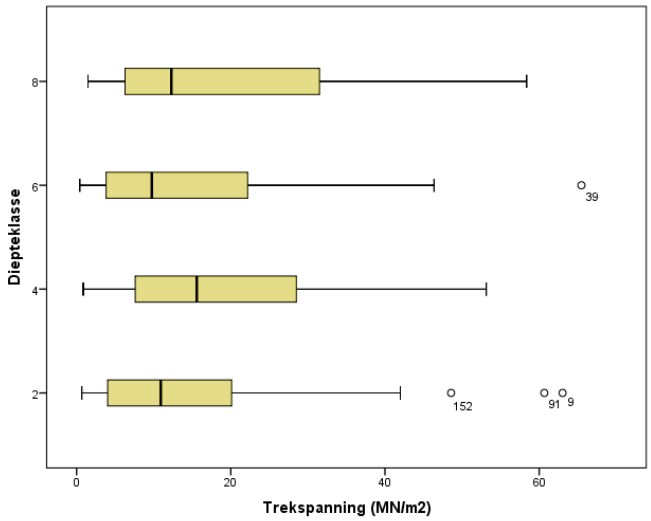
Figuur 25. Staafdiagram gemiddelde worteldiameter (mm) per beheertype*diepteklasse



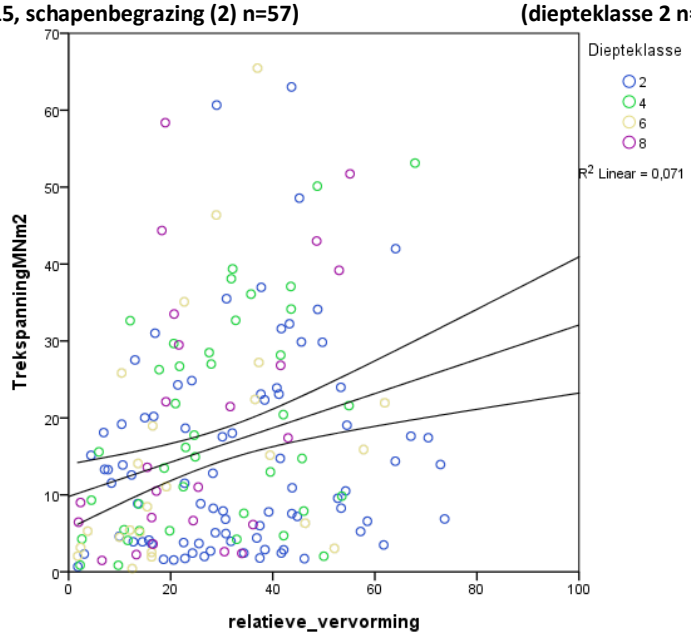
Figuur 26. Staafdiagram gemiddelde trekspanning (MN/m2) per beheertype*diepteklasse



Figuur 27. Boxplot trekspanning (MN/m2) per beheertype (klepelmaaien (1) n=115, schapenbegrazing (2) n=57)



Figuur 28. Boxplot trekspanning (MN/m2) per diepteklasse (diepteklasse 2 n=83, 4 n=41, 6 en 8 n=24)



Figuur 29. Relatieve vervorming (%) in trekspanning (MN/m2)

3.4.2 Significantietoetsen

Net als bij de laboratoriummethode zijn de afhankelijke variabelen getest op scheefheid (tabel 17). In bijlage VI staan de histogrammen van *voor* en *na* de log-transformatie. De diameter en de trekspanning zijn beiden positief verdeeld.

Descriptive Statistics (2)

	N	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
TrekspanningMNm2	172	1.221	.185	**1.122**	.368
relatieve_vervorming	172	.395	.185	-.553	.368
Diameter_gem	172	1.926	.185	**6.778**	.368
Trekspanning_lg10	172	-.477	.185	-.377	.368
Diameter_log10	172	.174	.185	.653	.368
Valid N (listwise)	172				

Tabel 17. Scheefheidmaten worteltrekspanning, -diameter en relatieve vervorming

<u>Hypothesen worteldiameter</u>
H0: Er is geen verschil in diameter tussen de **beheertype**/diepteklasse/**combinatie**.
H1: Er is wel een verschil in diameter tussen de beheertype/**diepteklasse**/combinatie.

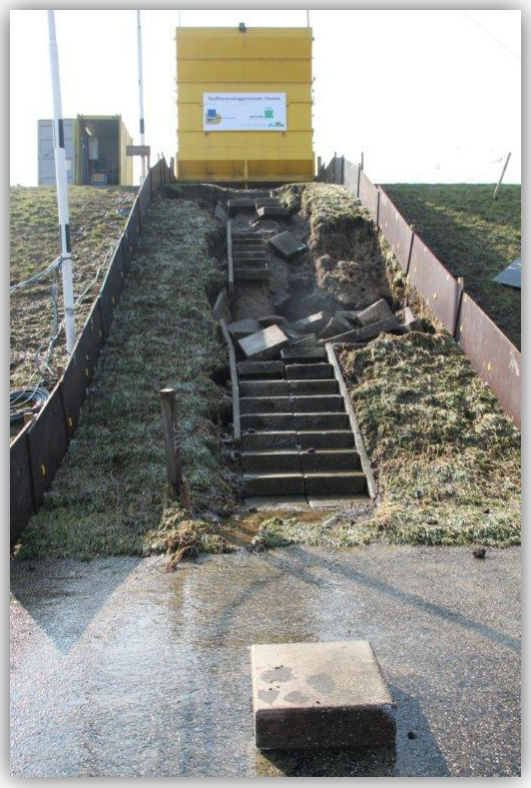
De Levene's overschrijdingskans is 45,6%. De uitkomst van de meerweg variantieanalyse mag worden aangenomen. Alleen de diepte is marginaal significant (P=0,075). De beheertypen (P = 0,332) en de combinatie (P = 0,904) zijn uit de analyse het verre van significant bevonden.

<u>Hypothesen trekspanning</u>
H0: Er is geen verschil in trekspanning tussen de beheertype/**diepteklasse**/**combinatie**.
H1: Er is wel een verschil in trekspanning tussen de **beheertype**/diepteklasse/combinatie.

De overschrijdingskans van de Levene's toets is 0,941. Bij de trekspanning is het beheertype marginaal significant (P=0,094). Bij de diepteklasse is P 0,430 en de combinatie van beheertype en diepteklasse 0,891.

3.5 Resultaten golfoverslagproeven

Voor een volledig verslag van de proeven op Tholen is het factual report van Infram zeker aan te raden. Hieronder volgt een korte samenvatting van de gebeurtenissen per locatie.



Figuur 30. Resultaat golfoverslagproef op de betonnen trap, locatie A (2011)

Locatie A

Bij 1 l/s per m ontstond de eerste schade. In het midden van het talud ontstond het eerste gat van 2 bij 4 m en een halve meter diep en na bijna 3 uur met 10 l/s per m is de proef gestaakt. Een tweede gat vormde zich bovenaan het talud en van de trap was nog maar weinig over. De dijk heeft zwaar geleden onder de proef en de trap is uiteindelijk door de betrokkenen van de dijk verwijderd. De schade is waarschijnlijk ontstaan doordat de beheerder het onkruid naast de trap bestreed met roundup, een agressief onkruidgif, waardoor er om de trap geen wortels en planten vestigden.

Locatie B

Aan het begin van de golfoverslagproef met 30 l/s per m lag de voorkant van de berm (ongeveer 8 cm dik) al vrij. De asfaltweg aan de inkassing is na twee relatief grote golven omhoog komen zetten, omdat het water onder de weg door ging. Wederom is er een gevaarlijke situatie ontstaan waardoor de proef is gestaakt. Op de foto in figuur 32 is nog de kier te zien waar het water onder door stroomde.

Locatie C

Hier is een deel van de grasmat van de dijk losgeraakt (figuur 31). Dit kwam niet door de afrastering zelf, maar waarschijnlijk door mollenactiviteiten in de bodem. De proef hebben ze door laten gaan door een beschermende mat over het gras te leggen om alsnog de bestendigheid van de afrastering te testen.

Figuur 31. Resultaat golfoverslagproef op de afrastering, locatie C (2011)

Figuur 32. Resultaat golfoverslagproef bij de inkassing, locatie B (2011)

4 Discussie

Naast dit onderzoek is een klein onderzoek gedaan om antwoord te krijgen op de onderstaande vragen. Deze zijn te koppelen aan de resultaten uit dit rapport waar eveneens vraagtekens bij gezet kunnen worden.

- Hoe worden de grote verschillen in gemiddelde of modale diameter van graswortels bij verschillende proeven verklaard (rapport Vechtdijk en Elling)?
- Welke protocollen moet gevolgd worden bij de verschillende proeven?

  - Verschillen in de data-set en normen
  - Verschil in VTV-uitslagen (handmethode tegenover de statistieke toets) en laboratoriummethode

Verschillen in diameter

In het rapport van E. Elling (een combinatie van maaien en hooien op zand en klei) staat het gemiddelde diameter op 1,03 mm. Tijdens dit onderzoek is een gemiddelde gemeten van 1,18 mm en met de microscoop tijdens de trekspanningproef een gemiddelde van 0,31 mm. De worteldiameter uit het rapport van de Vechtdijk van Alterra (maai en afvoer op zand) is met een factor 3 (0.36 mm) hoger dan de gebruikte waarde van het 'Cubic Turf Model' van Deltares. Zij hanteren een norm van 0,1 mm. (tabel 18).

	Deltares	Vechtdijk Alterra	Elling Larenstein	Beeldanalyse	Microscoop
Diameter (mm)	0,10	0,36	1,03	1,18	0,31

Tabel 18. Gemeten diameters (mm) per rapport en proef

De verschillen in de diameter (modaal en gemiddeld) bij de verschillende rapporten zijn te verklaren door de verschillen in methode, instellingen en de persoon die de proeven uitvoert. Daarom is het erg aan te raden altijd in de rapportage te vermelden welk protocol is gevolgd, want elke keuze van instellingen of handeling heeft gevolgen voor de testuitslagen (Bouma et al. 2000). Er kan worden aangenomen dat er een groot verschil is tussen de toetsuitslagen van studenten en de vakmensen.

In dit rapport is een groot verschil gemeten tussen de beeldanalyse (laboratoriummethode) en met de microscoop tijdens de trekspanningproeven. Dit kan komen doordat de wortels voor de beeldanalyse niet goed genoeg zijn gespoeld waardoor er een dikkere diameter is gemeten. Daarnaast kunnen haarwortels door de lage resolutie van 200 dpi niet worden gemeten. Hierdoor kan ook de diameter anders worden gemeten doordat de scanner de wortel met haarwortel en al meet en hier geen onderscheid in kan maken.

Wat ook opvalt, is het verschil in diameter in diepteklasse tussen de twee methoden. Bij de beeldanalyse is de diameter sterk aflopend naar mate de wortels dieper liggen. Met de microscoop is dit niet het geval. Hier neemt de worteldiameter in diepte enigszins af, maar dit nauwelijks merkbaar. Dit verschil kan komen doordat alleen wortels langer dan 1,5 cm worden gebruikt voor de trekspanningproef. Deze wortels worden gemeten met de microscoop. Op deze manier wordt bewust een selectie gemaakt van wortels in de gemeten dieptelagen. De dunnere en vaak ook kortere wortels zijn niet bruikbaar voor de proef en worden daarom ook niet gemeten.

Protocollen

De protocollen die in dit rapport zijn gevolgd zijn gebaseerd op bestaande protocollen. De auteurs staan in de bijlagen bij de protocollen vermeld.

Verschillen in de data-set en normen
Er bestaat al een aantal normen, dat gevolgd kunnen worden staan al opgesteld door Bouma et al. Deze normen staan in tabel 4 genoemd. Dit is tijdens de proeven van de laboratoriummethode gevonden. Door een controle uit te voeren op de data-set, door middel van een oppervlakte berekening, is achterhaalt of de oppervlakte norm is overschreden. Dit was niet het geval (hoofdstuk 2.7.2).

Uit de statistische toets, genoemd in hoofdstuk 3.2.3, blijkt dat de bewaartemperatuur en de spoelmethode geen aantoonbaar effect heeft gehad op de boormonsters.

Het is nog wel noodzakelijk om uit te zoeken wat het effect was op de uitkomst van de data-set bij een lage scanresolutie door deze te vergelijken met de boormonsters die ook met een hoge scanresolutie zijn geanalyseerd. Dit geld ook voor de gekleurd en ongekleurd gescande boormonsters. Volgens Bouma et al. Is dit verschil groot, daarom is het belangrijk om uit te zoeken wat het effect is op de data-set voor dit rapport.

Verschil in VTV-uitslagen (handmethode tegenover de statistische toets) en laboratoriummethode
Uit de handmethode komt naar voren dat alle drie de locaties er slecht voor staan (tabel 19).

Locatie	Deeloordeel zodekwaliteit op basis van:			Eindoordeel zodekwaliteit
	Beheertype	Vegetatiesamenstelling	Doorworteling (handmethode)	
A	Slecht	Slecht	Matig- slecht	Slecht
B	Slecht	Slecht	Matig	Matig
C	Matig	Slecht	Slecht	Slecht

Tabel 19. Oordelen zodenkwaliteit onderzochte stroken. Bron: Tholen (Paulissen et al. 2011)

Maar uit de statische toets van Kruskal-Wallis uit hoofdstuk 3.3 blijkt dat het beheer geen significante invloed heeft op de doorworteling (P=0,357) maar de diepte heeft dat wel (P=0,000). Dit komt overeen met de uitslag uit de laboratoriummethode (tabel 20), maar daar is het beheer wel significant bevonden (P=0,000).

Als dit samen wordt gebruikt als oordeel dan is de uitslag, zoals gemeten met de handmethode, juist want er is geen tot nauwelijks verschil in de handmethode en de laboratoriummethode.

5 Conclusie en aanbevelingen

Hieronder wordt de hoofdvraag en de deelvragen die hieruit voortvloeien herhaald en beantwoordt.

De hoofdvraag luidt:
"Wat zijn de verschillen in beworteling bij zeedijkgraslandvegetatie op de Oosterscheldedijk (ter hoogte van de Schelphoekseweg op Tholen) bij de verschillende aanwezige extreme en minder extreme beheertypen klepelmaaien en intensieve schapenbegrazing?"

1. **Hoe verschillen de wortellengte en het gemiddelde worteldiameter op dijkgraslanden bij het beheertype schapenbegrazing en het beheertype klepelmaaien?**

In de boxplots over de diameter en de lengte uit het resultatenhoofdstuk lijkt er wel verschil te zitten tussen de twee beheertypen, maar dit is niet significant. Alleen op de lengte van de wortels, zoals gemeten met de wortelscanner, heeft het beheertype een significant effect. Bij de worteldiameter lijkt vooral de diepte een significante invloed te hebben (tabel 20). Verder is een aanzienlijk verschil gemeten tussen de worteldiameters met de verschillende methoden (tabel 18).

Significantie-uitslagen	Levene's toets	Beheer	Diepte	Combinatie
Wortellengte (scanner)	19,7%	**0,0%**	**0,0%**	21%
Worteldiameter (scanner)	-	17,6%	**0,2%**	-
Wortellengte (VTV handmethode)	0,3%	35,7%	**0,0%**	-
Worteldiameter (microscoop)	45,6%	33,2%	**7,5%**	90,4%
Trekspanning	94,1%	**9,4%**	43%	89,1%

Tabel 20. Gemeten overschrijdingskans (P) per onafhankelijke variabele en uitslag Levene's toets

<u>Herhaling hypothesen deelvraag 1</u>

H0 : Er is geen verschil in de doorworteling (lengte en diameter) tussen het klepelmaaibeheer en schapenbegrazing.

H1 : Er is wel een verschil in de doorworteling (lengte en diameter) tussen schapenbegrazing en het klepelmaaibeheer.

De nulhypothese wordt in dit geval verworpen, omdat er geen significant verschil is aangetoond bij de combinatie van de wortellengte en -diameter. Maar als de deelvraag ging over een significant verschil in doorworteling tussen de diepteklasse in plaats van beheertypen dan werd deze aangenomen, maar dit zegt niets over het verschil tussen de beheertypen. Daarvoor wordt er verwezen naar de begeleidende boxplots. Hieruit blijkt dat schapenbegrazing beter is voor de doorworteling dan klepelmaaien.

2. **In hoeverre is er een relatie tussen de mate van doorworteling zoals geschat m.b.v. de 'handmethode' volgens het VTV en gemeten met een wortelscanner?**

Na de variantietoetsen over beide methoden is gebleken dat alleen de diepte significant is voor de doorworteling.

<u>Herhaling hypothesen deelvraag 2</u>

H0 : Er is geen verschil in de doorworteling tussen de handmethode en de wortelscanner.

H1 : Er is verschil in de doorworteling tussen de handmethode en de uitslag van de wortelscanner.

Bij de doorworteling, gemeten volgens de laboratoriummethode, is alleen de diepteklasse aantoonbaar significant. Dit is met de handmethode van het VTV ook het geval. Dus nee, er is geen verschil tussen de twee methoden.

3. Hoe verschilt de trekspanning tussen wortels op dijkgraslanden bij het beheertype schapenbegrazing en het beheertype klepelmaaien?

Uit de variantietoets blijkt dat het beheertype marginaal significant is voor de trekspanning, maar omdat de proef is uitgevoerd op een laag aantal wortels (n=174) is dit niet voldoende om er een uitspraak op te bouwen. De totaal gemiddelde trekspanning is 16,43 MN/m2. Er is geen aantoonbaar significant verschil in trekspanning tussen de beheertypen. Een marginaal significantie van 9,4% is niet voldoende om een conclusie op te bouwen. Maar gezien de enorme standaardafwijkingen die bij dit soort metingen gepaard gaan is het wel in overweging te nemen. De trekspanning op de Vechtdijk is gemeten op 13,1 MN/m2 met een gelijke standaardafwijking. Ellings heeft een trekspanning variërend tussen de 15 en 25 MN/m2, waarin op een van de locaties met een kleibodem relatief hoge waarden gemeten zijn (Elling, 2010). De gemeten waarden in dit rapport zijn dus niet ongewoon.

<u>Herhaling hypothesen deelvraag 3</u>

H0 : Er is geen significant verschil in de trekspanning tussen het klepelmaaibeheer en schapenbegrazing.

H1 : Er is wel een significant verschil tussen de trekspanning tussen het klepelmaaibeheer en schapenbegrazing.

Er is een marginaal effect (P=0,094) gemeten betreft het beheertypen en gezien dat de geschiedenis van dit soort metingen is er waarschijnlijk wel een effect op de trekspanning.

4. Is via de golfoverslagproeven de vastgestelde sterkte en erosiebestendigheid van de proeflocaties afhankelijk van de beheertypen schapenbegrazing en klepelmaaien? Kan dit op een eenduidige en aannemelijke manier in verband worden gebracht met de onder 1 t/m 3 gemeten zaken (mate van doorworteling en worteltrekspanning)?

De golfoverslagproeven waren primair gericht op de erosiebestendigheid van de niet-waterkerende objecten die aanwezig zijn op de proefstroken. Dit zorgt ervoor dat de uitkomst van deze proeven geen weergave zijn van de erosiebestendigheid van het vegetatietype of de kwaliteit van het beheer. Daarom worden er naast deze proeven de doorworteling gemeten met de handmethode volgens het VTV. Als er weer golfoverslagproeven worden uitgevoerd op enkel de bekleding dan is dit vooral interessant om dit te koppelen aan de uitslagen van VTV-handmethode en eventueel de laboratoriummethode.

Aanbevelingen

- Hanteer eenduidig beleid en protocol en vermeld dit in de rapportage
- Hanteer de handmethode in plaats van de laboratoriummethode, deze is net zo goed maar erg tijdrovend
- Ga bij de laboratoriummethoden uit van de normen uit Bouma et al. Dit zorgt voor een nauwkeuriger gemeten data-set.
- Een oplossing vinden om het verschil in worteldiameter tussen de verschillende rapportages te verkleinen

Literatuurlijst

Boekpublicatie
Apr, W. J. & J. T. C. M. Sprangers, (1999) *Toetsingsparameters dijkgrasland. Indicatorsoorten dijkgraslandtype, worteldichtheidbepaling (handmethode).* DLO instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO)

Brinkman, J, (2001) *Cijfers spreken*. Wolters-Noordhoff BV, Groningen/Houten

Elling, E, (2010) *Doorworteling van dijkgraslanden, Invloed van beheer en bodemtype*. Alterra, Wageningen

Adrichem, M.H.C. van, M.P.C.P. Paulissen &J.Y. Frissel (2010) *Begroeiing en doorworteling van graslandzode op de Vechtdijk, gemeten voor en tijdens de golfoverslagproeven van maart 2010.* Alterra, Wageningen

Frissel, J.Y. & H.P.J. Huiskes, (2008) *Doorworteling zodeparameters van dijkgrasland op de Boonweg 2007/2008*. Alterra, Wageningen

Hazebroek, E. & J. T. C. M. Sprangers, (2002) *Richtlijnen voor dijkgraslandbeheer*. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen

Paulissen, M. et al. (2011) *Memo Tholen.* Alterra, Wageningen

Raemakers, I. & H. Sprangers, (1998) *Extensief graslandbeheer op zeedijken, Effecten op sterkte en samenstelling van de graszode na een periode van 7 jaar*. Wageningen: Van Gils Wageningen

Sprangers, H, (1996) *Extensief graslandbeheer op zeedijken, Effecten op vegetatie, wortelgroei en erosiebestendigheid*. Nijmegen: Koninklijke drukkerij G.J. Thieme

TAW, (1998) *Technisch rapport Erosiebestendigheid van grasland als dijkbekleding*. Technische Adviescommissie voor de Waterkering, Delft. Rijswijk: RS Drukkerij BV

V&W, (2007) *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen*. Ministerie van Verkeer & Waterstaat, Den Haag (URL: http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/5259/vtv2006.pdfn)

Tijdschriftpublicaties
Bouma, T.J. & Nielsen, K.L. & Koutstaal, B., 'Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter'. In: *Plant and Soil* (2000) nr.218, pag.185 - 196

Rijkswaterstaat, 'Golfoverslagproeven in Delfzijl'. In: *Informatieblad* (2007) nr.2, pag. 3

Webpublicaties
A Penn State University Laboratory, *Root Length Determination*. Mei 2011.
URL: http://roots.psu.edu/en/methods

Illustratielijst

Figuren

Figuur 1. Golfoverslagsimulator. 9
Figuur 2.Functionele onderdelen waterkering. 10
Figuur 3. Locatie Tholen. 11
Figuur 4. De dijk met de drie teststroken. 11
Figuur 5. Opbouw en indeling grasmat. 12
Figuur 6. Machinaal spoelen 16
Figuur 7. Wortels kleuren. 16
Figuur 8. Het trekapparaat (Zwick-Line type 112). 17
Figuur 9. De wortelscanner (EPSON Pro). 17
Figuur 10. Steek verdelen in de 8 diepteklassen 18
Figuur 11. Overzicht begraasde deel (strook 3). 23
Figuur 12. Tholen, binnentalud, proefstrook A (beoordelingsdiagram van het VTV) 24
Figuur 13. Tholen, binnentalud, proefstrook B (beoordelingsdiagram van het VTV) 24
Figuur 14. Tholen, binnentalud, proefstrook C (beoordelingsdiagram van het VTV) 24
Figuur 15. Boxplot wortellengte (cm/cm3) per beheertype 25
Figuur 16. Boxplot wortellengte (cm/cm3) per diepteklasse 25
Figuur 17. Staafdiagram gemiddelde wortellengte (cm/cm3) per beheertype*diepteklasse 26
Figuur 18. Staafdiagram gemiddelde worteldiameter (mm) per beheertype*diepteklasse 26
Figuur 19. Boxplot gemiddelde worteldiameter (mm) per beheertype 26
Figuur 20. Boxplot gemiddelde worteldiameter (mm) per diepteklasse 26
Figuur 21. Boxplot worteloverlappingen per diepteklasse 26
Figuur 22. Boxplot VTV-klasse per beheertype 28
Figuur 23. Boxplot worteldiameter (mm) per beheertype 29
Figuur 24. Boxplot worteldiameter (mm) per diepteklasse 29
Figuur 25. Staafdiagram gemiddelde worteldiameter (mm) per beheertype*diepteklasse 30
Figuur 26. Staafdiagram gemiddelde trekspanning (MN/m2) per beheertype*diepteklasse 30
Figuur 27. Boxplot trekspanning (MN/m2) per beheertype 30
Figuur 28. Boxplot trekspanning (MN/m2) per diepteklasse 30
Figuur 29. Relatieve vervorming (%) in trekspanning (MN/m2) 30
Figuur 30. Resultaat golfoverslagproef op 32
Figuur 31. Resultaat golfoverslagproef op de afrastering, locatie C (2011) 32
Figuur 32. Resultaat golfoverslagproef bij de inkassing, locatie B (2011) 32

Tabellen

Tabel 1. Operationalisatie variabelen en begrippen.....15
Tabel 2. Diepteklassen bij grondmonsters.....16
Tabel 3. VTV- categorieën voor worteldichtheid.....16
Tabel 4. Scan-normen voor fijne wortelsystemen.....17
Tabel 5. Niet-waterkerende objecten per strook.....18
Tabel 6. Bijzonderheden steekproeftrekking.....19
Tabel 7. Aantal boormonsters voor de handmethode.....19
Tabel 8. Aantal scanresultaten.....20
Tabel 9. Aantal bruikbare scanresultaten van 200 dpi, ongekleurde en per bewaarmethode en beheertype.....20
Tabel 10. Aantal gemeten wortels.....20
Tabel 11. De vegetatietypen per locatie. Bron: Tholen (Paulissen et al. 2011).....23
Tabel 12. Spreidings- en centrummaten wortellengte, -diameter en -overlappingen.....25
Tabel 13. Scheefheidmaten wortellengte, -diameter en -overlappingen.....27
Tabel 14. Spreidings- en centrummaten VTV-klasse.....28
Tabel 15. Scheefheidmaten VTV-klasse.....28
Tabel 16. Spreidings- en centrummaten worteltrekspanning, -diameter en relatieve vervorming.....29
Tabel 17. Scheefheidmaten worteltrekspanning, -diameter en relatieve vervorming.....31
Tabel 18. Gemeten diameters (mm) per rapport en proef.....33
Tabel 19. Oordelen zodenkwaliteit onderzochte stroken. Bron: Tholen (Paulissen et al. 2011).....34
Tabel 20. Gemeten overschrijdingskans (P) per onafhankelijke variabele en uitslag Levene's toets...35

Bijlagen

I. Vegetatie-opnames

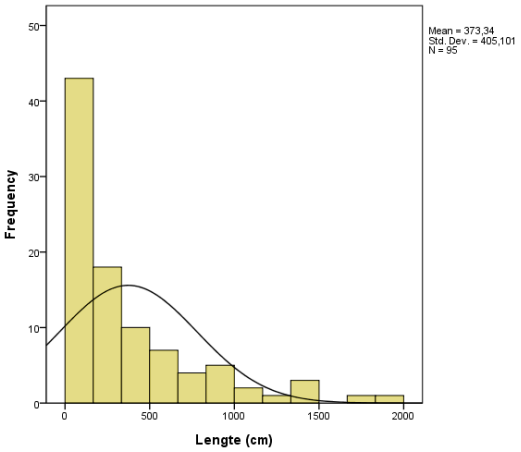
Naar het verslag van Tholen (Paulissen et al. 2011)

Opname	**A**	**B**	**C**	
Aantal soorten	**18**	**13**	**21**	
Vaatplanten				**Ned. naam**
Agrostis stolonifera	4	2b	3	Fioringras
Bellis perennis	1	+	2m	Madeliefje
Cardamine hirsuta	+	+	.	Kleine veldkers
Dactylis glomerata	2m	3	1	Kropaar
Elytrigia repens	2m	.	1	Kweek
Festuca rubra	3	.	2b	Rood zwenkgras s.s.
Geranium dissectum	+	.	+	Slipbladige ooievaarsbek
Leontodon autumnalis	1	.	1	Vertakte leeuwentand
Lolium perenne	2a	2a	.	Engels raaigras
Plantago coronopus	2b	.	+	Hertshoornweegbree
Potentilla reptans	2m	+	.	Vijfvingerkruid
Sonchus oleraceus	1	.	.	Gewone melkdistel
Trifolium dubium	1	.	2m	Kleine klaver
Trifolium repens	2m	.	2a	Witte klaver
Vicia hirsuta	1	.	+	Ringelwikke
Cerastium fontanum	2m	.	1	Gewone en Glanzende hoornbloem
Phleum pratense	1	1	.	Timoteegras en Klein timoteegras
Taraxacum species	1	+	.	Paardenbloem (G)
Anthriscus sylvestris	.	1	.	Fluitenkruid
Ranunculus repens	.	2b	.	Kruipende boterbloem
Stellaria media	.	+	.	Vogelmuur
Allium vineale	.	.	+	Kraailook
Cirsium vulgare	.	.	r	Speerdistel
Cynosurus cristatus	.	.	2a	Kamgras
Glechoma hederacea	.	.	+	Hondsdraf
Plantago lanceolata	.	.	1	Smalle weegbree
Mossen				
Rhytidiadelphus squarrosus	.	.	2a	Gewoon haakmos
Pseudoscleropodium purum	+	.	2b	Groot laddermos
Brachythecium rutabulum	.	2m	3	Gewoon dikkopmos
Calliergonella cuspidata	.	2a	3	Gewoon puntmos

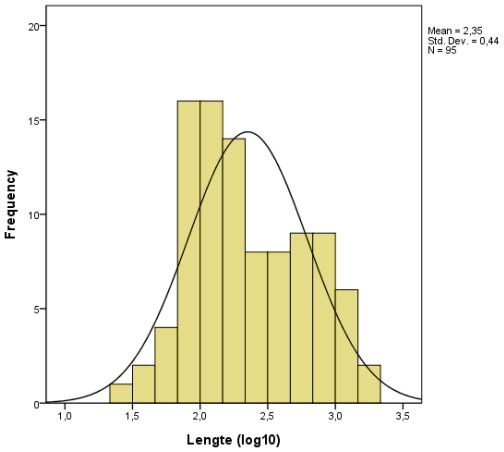
Bedekking volgens de klasse indeling van Braun-Blanquet (aangepast door Barkman *et al.*, 1964):

Code	bedekking	aantal individuen
r	≤5%	1-3 individuen
+	≤5%	Aanwezig, meerdere individuen
1	≤5%	Duidelijk aanwezig
2m	≤5%	Sterk aanwezig (100 exemplaren)
2a	5%<c ≤12.5%	n.v.t.
2b	12.5%< c ≤25%	n.v.t.
3	25%< c ≤50%	n.v.t.
4	50%< c ≤75%	n.v.t.
5	75%< c ≤100%	n.v.t.

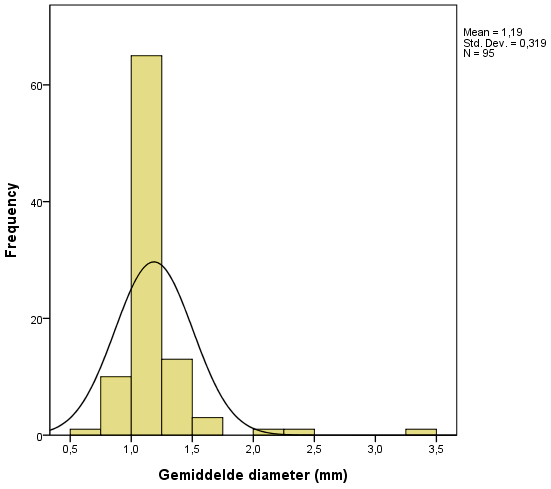
II. Normaliseren van de variabelen laboratoriummethode



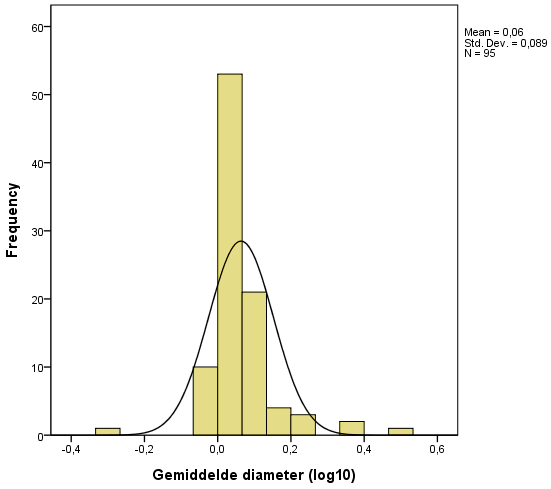
1. Histogram wortellengte (cm)



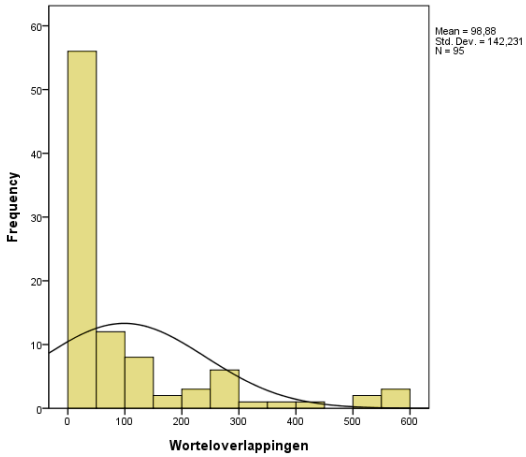
2. Histogram wortellengte (log10)



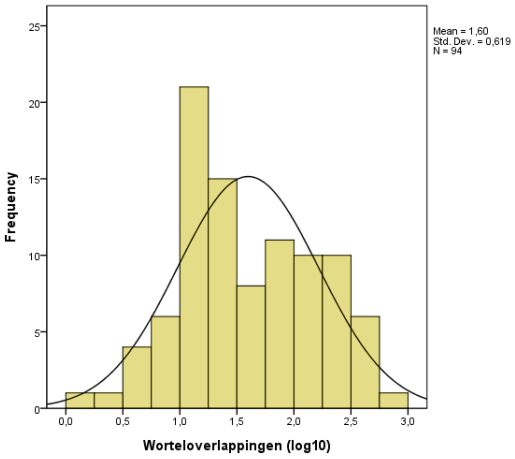
3. Histogram gemiddelde worteldiameter (mm)



4. Histogram gemiddelde worteldiameter (log10)



5. Histogram worteloverlappingen



6. Histogram worteloverlappingen (log10)

III. Toetsuitslag lengte en diameter laboratoriummethode

Descriptive Statistics

Beheertype	Diepteklasse	Mean	Std. Deviation	N
klepelmaaien	1	2,9609	,15341	8
	2	2,5707	,20358	8
	3	2,1664	,22357	7
	4	2,1250	,26184	8
	5	2,1624	,19887	8
	6	2,0184	,29513	8
	7	1,9609	,24071	8
	8	2,0240	,38438	8
	Total	2,2499	,40497	63
schapenbegrazing	1	3,1283	,08993	4
	2	3,0530	,09810	4
	3	2,8131	,12090	4
	4	2,4588	,30988	4
	5	2,4011	,38440	4
	6	2,3271	,31174	4
	7	2,0313	,36263	4
	8	2,1921	,10917	4
	Total	2,5506	,44308	32
Total	1	3,0167	,15484	12
	2	2,7314	,29223	12
	3	2,4016	,37528	11
	4	2,2363	,31119	12
	5	2,2420	,28156	12
	6	2,1213	,32409	12
	7	1,9844	,27192	12
	8	2,0800	,32269	12
	Total	2,3512	,43970	95

Beschrijvende statistiek wortellengte (log10)

Levene's Test of Equality of Error Variancesa

F	df1	df2	Sig.
1,344	15	79	**,197**

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Beheertype + Diepteklasse + Beheertype * Diepteklasse

Uitslag Levene's toets wortellengte (log10)

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13,062[a]	15	,871	13,459	,000
Intercept	488,445	1	488,445	7,549,503	,000
Beheertype	**1,935**	**1**	**1,935**	**29,901**	**,000**
Diepteklasse	**9,797**	**7**	**1,400**	**21,632**	**,000**
Beheertype * Diepteklasse	**,642**	**7**	**,092**	**1,417**	**,210**
Error	5,111	79	,065		
Total	543,336	95			
Corrected Total	18,173	94			

a. R Squared = .719 (Adjusted R Squared = .665)

Uitslag variantieanalyse wortellengte (log10)

Ranks

	Beheertype	N	Mean Rank
Log10_Gem_diameter_mm	klepelmaaien	63	50,73
	schapenbegrazing	32	42,63
	Total	95	

Orde Kruskal-Wallis toets worteldiameter (log10) en beheertype

Test Statistics[a,b]

	Log10_Gem_diameter_mm
Chi-square	1,834
df	1
Asymp. Sig.	**,176**

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Beheertype

Uitslag Kruskal-Wallis toets worteldiameter (log10) en beheertype

Ranks

	Diepteklasse	N	Mean Rank
Log10_Gem_diameter_mm	1	12	74,75
	2	12	31,25
	3	11	32,36
	4	12	43,67
	5	12	41,33
	6	12	49,33
	7	12	61,17
	8	12	48,83
	Total	95	

Orde Kruskal-Wallis toets worteldiameter (log10) en diepteklasse

Test Statistics[a,b]

	Log10_Gem_diameter_mm
Chi-square	23,042
df	7
Asymp. Sig.	**,002**

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Diepteklasse

Uitslag Kruskal-Wallis toets worteldiameter (log10) en diepteklasse

IV. Effecten van variatie op de variabelen laboratoriummethode

Descriptive Statistics

Dependent Variable:Length_log10

temp	Spoelmethode	Mean	Std. Deviation	N
4C	machinaal	2.3823	.36810	8
	handmatig	2.4031	.48974	16
	Total	2.3962	.44470	24
-10C	machinaal	2.3883	.43845	32
	handmatig	2.3931	.49784	15
	Total	2.3899	.45276	47
na twee weken ingevroren	machinaal	2.2470	.40619	20
	handmatig	2.1476	.43152	4
	Total	2.2304	.40251	24
Total	machinaal	2.3404	.41792	60
	handmatig	2.3696	.48049	35
	Total	2.3512	.43970	95

Beschrijvende statistiek variatie data-set

Levene's Test of Equality of Error Variances[a]

Dependent Variable:Length_log10

F	df1	df2	Sig.
1.348	5	89	**.252**

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Diepteklasse + temp + Spoelmethode + temp * Spoelmethode

Uitslag Levene's toets

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Length_log10

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.091[a]	6	1.515	14.680	.000
Intercept	143.656	1	143.656	1391.889	.000
Diepteklasse	8.586	1	8.586	83.194	**.000**
temp	.222	2	.111	1.076	**.345**
Spoelmethode	.046	1	.046	.446	**.506**
temp * Spoelmethode	.016	2	.008	.078	**.925**
Error	9.082	88	.103		
Total	543.336	95			
Corrected Total	18.173	94			

a. R Squared = .500 (Adjusted R Squared = .466)

Uitslag variantieanalyse variatie data-set

V. Toetsuitslag VTV-klasse

Descriptive Statistics

Beheertype	Diepteklasse	Mean	Std. Deviation	N
klepelmaaien	1	4,38	,916	8
	2	3,88	,641	8
	3	3,43	,535	7
	4	2,75	1,035	8
	5	2,50	,756	8
	6	2,38	,744	8
	7	2,25	,707	8
	8	1,88	,354	8
	Total	2,92	1,082	63
schapenbegrazing	1	5,00	,000	4
	2	4,50	,577	4
	3	4,00	,000	4
	4	3,75	,500	4
	5	2,75	,957	4
	6	2,50	,577	4
	7	1,50	,577	4
	8	1,25	,500	4
	Total	3,16	1,394	32
Total	1	4,58	,793	12
	2	4,08	,669	12
	3	3,64	,505	11
	4	3,08	,996	12
	5	2,58	,793	12
	6	2,42	,669	12
	7	2,00	,739	12
	8	1,67	,492	12
	Total	3,00	1,194	95

Beschrijvende statistiek VTV-klasse

Levene's Test of Equality of Error Variances[a]

F	df1	df2	Sig.
2,609	15	79	**,003**

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Beheertype + Diepteklasse + Beheertype * Diepteklasse

Uitslag Levene's toets VTV-klasse

Ranks

	Beheertype	N	Mean Rank
VTV_klasse	klepelmaaien	63	46.20
	schapenbegrazing	32	51.55
	Total	95	

Orde Kruskal-Wallis toets VTV-klasse

Test Statistics[a,b]

	VTV_klasse
Chi-Square	.847
df	1
Asymp. Sig.	**.357**

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Beheertype

Uitslag Kruskal-Wallis toets VTV-klasse

Ranks

	Diepteklasse	N	Mean Rank
VTV_klasse	1	12	81.42
	2	12	72.92
	3	11	64.14
	4	12	51.04
	5	12	39.04
	6	12	34.96
	7	12	24.50
	8	12	17.33
	Total	95	

Orde Kruskal-Wallis toets VTV-klasse

Test Statistics[a,b]

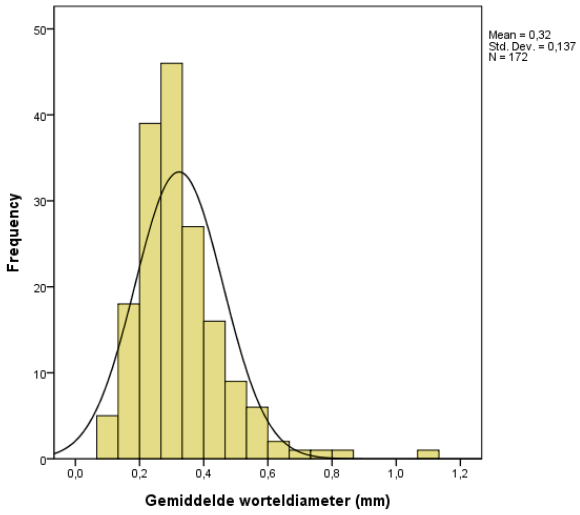
	VTV_klasse
Chi-Square	62.423
df	7
Asymp. Sig.	**.000**

a. Kruskal Wallis Test

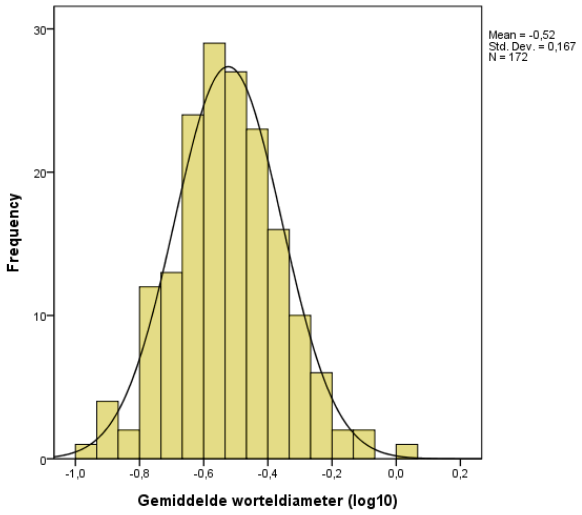
b. Grouping Variable: Diepteklasse

Uitslag Kruskal-Wallis toets VTV-klasse

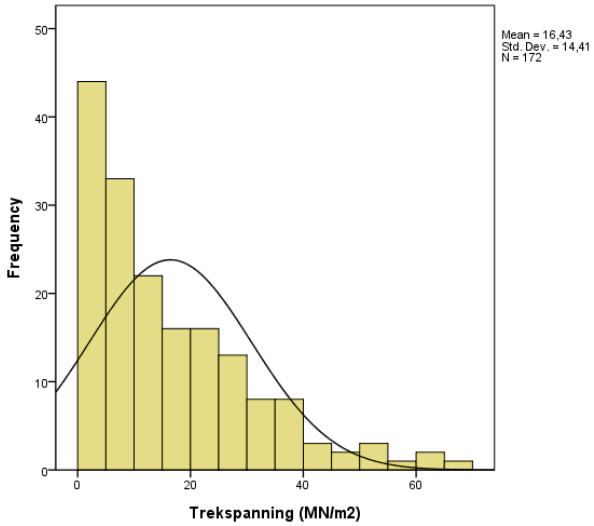
VI. Normaliseren variabelen trekspanning



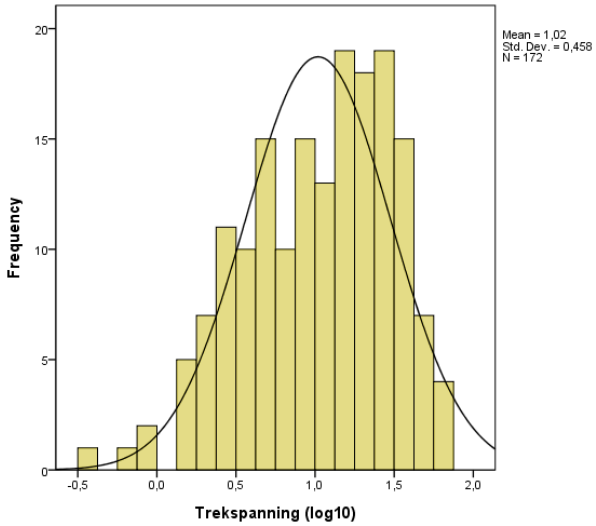
1. Histogram gemiddelde worteldiameter (mm)



2. Histogram gemiddelde worteldiameter (log10)



3. Histogram trekspanning (MN/m2)



4. Histogramtrekspanning (log10)

VII. Toetsuitslag diameter en trekspanning

Descriptive Statistics

Dependent Variable:Diameter_log10

Beheertype	Diepteklasse	Mean	Std. Deviation	N
klepelmaaien	2	-,4877	,17311	56
	4	-,5372	,13109	28
	6	-,5244	,12957	14
	8	-,5718	,13982	17
	Total	-,5167	,15544	115
schapenbegrazing	2	-,5009	,19645	27
	4	-,5377	,13098	13
	6	-,5781	,18421	10
	8	-,6235	,25377	7
	Total	-,5379	,18924	57
Total	2	-,4920	,17993	83
	4	-,5374	,12941	41
	6	-,5468	,15329	24
	8	-,5869	,17600	24
	Total	-,5237	,16714	172

Beschrijvende statistiek worteldiameter (log10)

Levene's Test of Equality of Error Variances[a]

Dependent Variable:Diameter_log10

F	df1	df2	Sig.
,968	7	164	**,456**

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Beheertype + Diepteklasse + Beheertype * Diepteklasse

Uitslag Levene's toets worteldiameter (log10)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Diameter_log10

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,233[a]	7	,033	1,201	,305
Intercept	35,184	1	35,184	1269,768	,000
Beheertype	,026	1	,026	,946	**,332**
Diepteklasse	,195	3	,065	2,340	**,075**
Beheertype * Diepteklasse	,016	3	,005	,189	**,904**
Error	4,544	164	,028		
Total	51,951	172			
Corrected Total	4,777	171			

a. R Squared = .049 (Adjusted R Squared = .008)

Uitslag variantieanalyse worteldiameter (log10)

Descriptive Statistics

Dependent Variable:Trekspanning_lg10

Beheertype	Diepteklasse	Mean	Std. Deviation	N
klepelmaaien	2	,9926	,44442	56
	4	1,1564	,41793	28
	6	1,0247	,50237	14
	8	1,1367	,49630	17
	Total	1,0577	,45337	115
schapenbegrazing	2	,9363	,42801	27
	4	1,0321	,50118	13
	6	,8223	,55305	10
	8	,9523	,43710	7
	Total	,9401	,46149	57
Total	2	,9743	,43734	83
	4	1,1170	,44349	41
	6	,9404	,52223	24
	8	1,0829	,47804	24
	Total	1,0187	,45810	172

Beschrijvende statistiek trekspanning (log10)

Levene's Test of Equality of Error Variances[a]

Dependent Variable:Trekspanning_lg10

F	df1	df2	Sig.
,326	7	164	**,941**

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Beheertype + Diepteklasse + Beheertype * Diepteklasse

Uitslag Levene's toets trekspanning (log10)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:Trekspanning_lg10

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,408[a]	7	,201	,957	,464
Intercept	119,963	1	119,963	570,637	,000
Beheertype	,596	1	,596	2,833	**,094**
Diepteklasse	,583	3	,194	,925	**,430**
Beheertype * Diepteklasse	,131	3	,044	,208	**,891**
Error	34,477	164	,210		
Total	214,387	172			
Corrected Total	35,886	171			

a. R Squared = .039 (Adjusted R Squared = -.002)

Uitslag variantieanalyse trekspanning (log10)

VIII. Protocol wortelsteken

Het protocol van Evert Elling heeft hier leidraad gegeven. Verder is er uitgegaan van de adviezen ter plekke van J. Frissel, R. Huiskes en M. Paulissen.

Benodigdheden

- Gutsboor (3 cm) of wortelboor (4 cm)
- Mes
- Liniaal (>30cm)
- Afsluitbare potjes
- Etiketten
- Pen en papier
- Koelbox

Werkwijze

1. Steek de boor loodrecht in de grond
2. Neem een boring van 20 cm, dit mag indien nodig in meerdere keren
3. Neem het resultaat voorzichtig uit de boor en deel deze in de 8 diepteklasse van 2,5 cm lang. Stop de diepteklasse, indien nodig voor de proef, in een potje met een etiket met een unieke code
4. Vul het boorgat met overgebleven aarde
5. Bewaar het monster tijdens het veldwerk in een koelbox, daarna in de koeling (max. 2 weken) of voor langere tijd in de vriezer
6. Noteer de bijzonderheden

IX. Protocol wortelspoelen

Voor het spoelen van de steekmonsters zijn twee verschillende methoden gebruikt: handmatig en machinaal spoelen. Beiden hebben zo hun eigen protocol. Voor het handmatig spoelen is het protocol van Evert Elling gebruikt als leidraad. Bij het machinaal spoelen is uitgegaan van de adviezen van Peter Putten en Gerard Brouwers.

Handmatig spoelen

Benodigdheden

- X-aantal bakjes
- Drie zeven (maasgrootte 1mm, 0,5mm en 250 Um)
- Emmer
- Kraan met sproeikop
- Binoculair
- Bureaulamp
- Pincet
- Torkpapier
- X-aantal afsluitbare potje met etiketten met daarop de eerder gegeven code
- Pen en papier

Werkwijze

1. Laat kleiige monsters ongeveer 30 minuten weken in de bakjes
2. Leg het (geweekte) monster in de stapel zeven (grootste maasgrootte boven, kleinste maasgrootte onder) boven de emmer en spoel de aarde voorzichtig los van de wortels met de sproeikop. Het gebeurd boven een emmer om zo min mogelijk materiaal in de het afvoersysteem te krijgen om verstopping te voorkomen
3. Pluis daarna de zeven uit op wortels en doe deze in het bestemde bakje
4. Spoel de fijnste zeven om in een part bakje om de fijne haarwortels te scheiden van het organisch materiaal
5. Stop het resultaat in het potje gevuld met water
6. Herhaal de handeling tot alle monsters zijn gespoeld
7. Noteer de bijzonderheden

Machinaal spoelen

Kleimonsters moeten in ieder geval in bevroren toestand worden gespoeld. Uitleg werd gegeven door Herman Meurs. Volgens Peter van de Putten zijn alle wortels in de grove zeef van belang.

Benodigdheden

- Spoelmachine
- Twee zeven (maasgrootte 1mm en 0,5mm)
- Pincet
- X-aantal afsluitbare potje met etiketten met daarop de eerder gegeven code
- Pen en papier

Werkwijze

1. Gooi het bevroren grondmonster in de half gevulde buis van de spoelmachine en wacht tot het water helder uit de “kraan” komt lopen
2. Zet onder elke “kraan” een stapel zeven
3. Pluis de wortels uit de zeven en stop ze in het gelabelde afsluitbaar potjes gevuld met water
4. Herhaal de handeling tot alle monsters zijn gespoeld
5. Noteer de bijzonderheden

X. Protocol wortelkleuren

Hierbij is hulp gekregen van Peter van der Putten. Het is vooral bij graswortels belangrijk om deze vooraf te kleuren, zodat het software programma de scanresultaten beter leest. Let op: er gaat veel tijd zitten in het uitspoelen van de gekleurde wortels en de kleurstof vlekt enorm.

Benodigdheden

- Geschikte kleurstof
- Pipet
- Water
- Handschoenen
- Zeefje
- Jerrycan
- Pen en papier

Werkwijze

1. Doe de handschoenen aan
2. Los de kleurstof op in het water in de potjes met wortels (1% kleurstof op 100-200ml)
3. Laat de monsters 24 uur weken in de kleurstofoplossing
4. Was de wortels, zodat het water waar de wortels in opgeslagen worden helder blijft. Giet de mengeling kleurstof en water in de jerrycan.
5. Noteer de bijzonderheden

XI. Protocol scannen

Hierbij is hulp gekregen van Peter van der Putten, Pauline Kerbiriou en het concept-protocol 'WinRHIZO' (Putten P. van der, 2010) en later het protocol van Bouma, T.J. et al., 2000. Let op: mors geen water op de scanner.

Benodigdheden

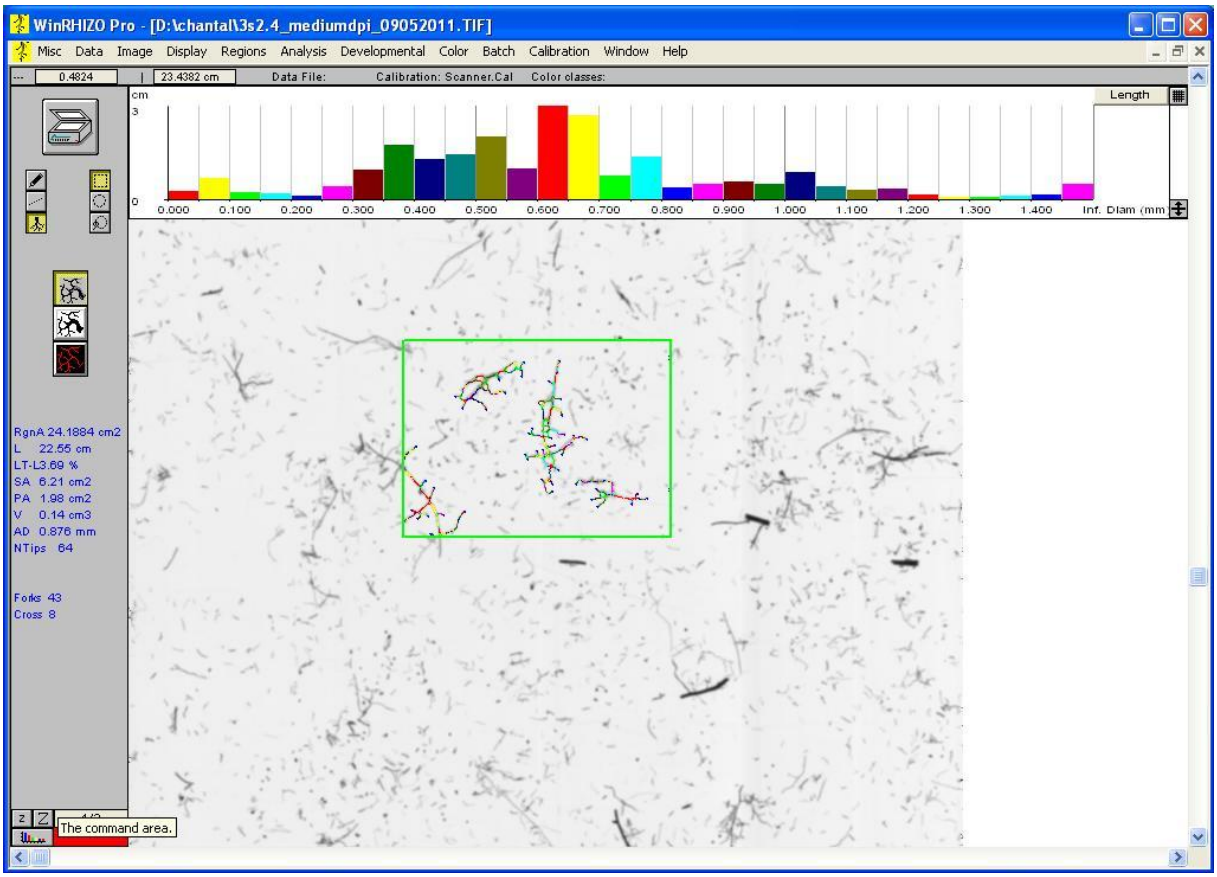
- Scanner type EPSON TWAIN Pro 2.10(32-32)
- Software WinRHIZO Pro (Versie 2005B)
- Doorzichtige scanbak (20x30 cm)
- plastic pincet of plastic pipetpunten
- Emmer schoon water
- Lege emmer
- Pen en papier

Werkwijze

1. Zet de droge scanbak onder de scanner. Leeg voorzichtig het potje gekleurde wortels met het schone water in de scanbak
2. Houd rekening met het max. worteloppervlak onder de scanner
3. Knip lange wortels in stukken om overlapping te voorkomen
4. Verschuif de wortels waar nodig met de plastic pipet punten om overlapping te voorkomen
5. Giet er eventueel extra water bij om de wortels volledig onder water te zetten
6. Sluit de deksel van de scanner
7. Scan de scanbak onder de scanner
8. Check in de afbeelding of alle wortels zijn gescand (bijlage VII staat een voorbeeld afbeelding van een scanresultaat)
9. Giet de scanbak leeg in de lege emmer en herhaal de procedure
10. Noteer de bijzonderheden

XII. Impressie scanresultaat

In onderstaande figuur staat een impressie van hoe het scanresultaat eruit ziet. Het software-programma leest de pixels in het vakje en leest dit af. In dit geval zijn niet alle wortels 'leesbaar'. In het groene vak zijn niet alle wortels herkend. Niet elke wortels i geselecteerd en onderverdeeld in een klasse.



Fractie van scanresultaat 3S2.4 met 200dpi.
Bron: C. Christiaanse 2011

XIII. Protocol trekspanningmeting

Bij het uitvoeren van deze proef is hulp gekregen van Joup Frissel en Arjen van de Peppel. Daarnaast is het protocol van Evert Elling (2010) gevolgd en 'Protocol wortelsterkte-metingen' van J. Frissel, M. van Adrichem & M. Paulissen (2009) als leidraad genomen.

Benodigdheden

- de 'Single colum testing machine' van Zwick-Line type 112
- software testExpertMachine versie 7.01
- Lichtmicroscoop met de volgende maatverdeling in oculair: 10xoculair, 4xobjectief en 1,25xmicroscoop (50x in totaal)
- Objectglaasje
- Doorzichtig 1mm-papier
- Schaal
- Petrischaaltjes
- Vochtige papier/tissue/filterpapiertjes
- Pincet
- Pen en papier

Werkwijze

1. Stel de microscoopsterkte in op 40 eenheden per mm met behulp van het 1mm-papier
2. Open op de desktop het programma testXpertMachine -> open een eigen file -> selecteer het benodigde testprogramma, in dit geval series_Alterra4.zpv (dit is al eerder gebruikt door Alterra voor het meten van de trekspanning bij graswortels en heeft de juiste instellingen)
3. Zoek uit het grondmonster max. 10 wortels die representatief zijn voor het monster met een lengte >1,5cm. Doe dit in de schaal om het vervuilen van de werkplek minimaal te houden
4. Leg de wortels in het petrischaaltje met een vochtig papiertje tegen het uitdrogen. Houd de resten apart om te bewaren tot ze niet meer nodig zijn
5. Leg de wortel op het glaasje onder de microscoop. Leg hier <u>geen</u> dekglaasje bovenop, dit om beschadiging aan de wortel te voorkomen
6. Meet op drie verschillende plekken de diameter van de wortel en noteer dit. Noteer ook de kleur van de wortel, het aantal vertakkingen, het grondmonsternummer en andere bijzonderheden
7. Druk de knop "LE" in voor het plaatsen van de klemmen in de startpositie. Druk op "Force 0" voor het op nul zetten van de trekkracht die uitgeoefend gaat worden
8. Plaats de wortel met een pincet tussen de twee klemmen. Druk op daarna op start
9. Noteer de locatie van het breekpunt van de wortel en maak er eventueel een foto van
10. Herhaal het meten van de trekkracht nog een keer als de wortel tussen de klemmen uitglipt
11. Noteer de bijzonderheden