

Future Dikes: soortenrijke grasbekleding

Thema 1: Relaties tussen bodem en vegetatie op rivierdijken

Inventarisatie van de bodemeigenschappen van rivierdijken
en hun relatie met de vegetatie.

Thomas Evers, BSc

Maurice Evers, MSc

08-01-2024

Future Dikes

Opdrachtgever	Waterschap Rivierenland
Contactpersoon	Mathijs Bos
Referaat	<i>Evers, T & M. Evers (2024) Rapportage thema 1 Relaties tussen bodem en vegetatie op rivierdijken</i> , HWBP Future Dikes: soortenrijke grasbekleding fase 1.
Trefwoorden	Future Dikes, HWBP, Dijken, bloemdijken, soortenrijke dijken, dijkbekleding, bodem, vegetatie, soortenrijke grasbekleding

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	08-01-2024
Project	HWBP innovatieproject Future Dikes: soortenrijke grasbekleding fase 1
Pagina's	28
Bijlagen	3
Status	Definitief

Document versie	Akkoord auteurs	Reviewed?	Akkoord opdrachtgever
1.0			

Inhoud

1. Introductie	4
1.1 Algemeen.....	5
1.2 Doel en onderzoeksvragen	5
2. Materialen en Methode.....	6
2.1 Locaties	7
2.2 Onderzoeksubject.....	7
2.3 Metingen en waarnemingen.....	7
2.4 Vegetatieanalyse.....	8
2.5 Dataverwerking.....	9
3. Resultaten en Discussie.....	10
3.1 Profielbeschrijvingen	11
3.1.1 Correlatieanalyse.....	11
3.1.2 PCA en clusteranalyse.....	13
3.1.3 Profielen met eigenschappen.....	16
3.2 Bodem en vegetatie	18
3.2.1 Relatie tussen bodem en kruidenaandeel	18
3.2.2 Relatie groenbedekking en vegetatie	19
3.3 Observaties overslagproeven	21
4. Conclusies en Aanbevelingen	24
4.1 Antwoord op de onderzoeksvragen:	25
4.2 Aanbevelingen.....	26
5. Referenties.....	27
6. Appendix	29
6.1 Overzicht meetlocaties	30
6.2 Foto's na overslagproeven.....	32
6.3 Data bodemanalyses.....	34

1. Introductie

1.1 Algemeen

In thema 1 van het project Future Dikes wordt er gekeken naar de relatie tussen bodem, vegetatie en erosiegevoeligheid van rivierdijken. Onafhankelijk onderzoek en adviesbureau Lumbricus is gevraagd om het deelonderzoek voor bodem uit te voeren. De bodem speelt een belangrijke rol als het gaat om zowel de vegetatie die aanwezig is, alsmede de erosiegevoeligheid van een dijk. In thema 0 staat een uitgebreide analyse van het theoretische effect van bodem op de erosiegevoeligheid. De bodem omvat een aantal belangrijke aspecten zoals de fysische samenstelling, de chemische eigenschappen en de resulterende biologische variabelen. Een van de hypothesen van Future Dikes is dat de samenstelling van de vegetatie een belangrijke rol speelt in de erosiegevoeligheid van de dijken. Hierbij wordt er vooral verwacht dat een soortenrijke mix van grassen en kruiden kan resulteren in minder erosiegevoeligheid van dijken door eventuele diepere en sterkere wortels ten opzichte van gras. Welke vegetatie aanwezig is en welke worteldiepte deze vegetatie heeft, is voor een groot deel afhankelijk van de bodemeigenschappen. Alvorens er wordt gekeken naar het effect van bodem en vegetatie op de erosiegevoeligheid, is het dus van belang dat eerst de relatie tussen bodem en vegetatie helder is. Om deze relatie te onderzoeken worden er in dit onderzoek op 49 verschillende locaties in Nederland dijkbodems geanalyseerd. De eigenschappen van de verschillende bodems worden in dit onderzoek onderling vergeleken en gerelateerd aan de vegetatie die is waargenomen op deze bodems. Tevens zal dit rapport een aantal observaties geven van overslagproeven met hierbij mogelijke verklaringen met behulp van bodemanalyses.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van dit deelonderzoek in thema 1 is om de bodemeigenschappen van rivierdijken in kaart te brengen wat betreft de biologische, chemische en fysische eigenschappen. Deze analyse moet een goed beeld geven van de eventuele spreiding in bodemeigenschappen alsmede een clusteranalyse om te kijken of er groepen bodems te onderscheiden zijn. De bodemeigenschappen die de meeste variantie kunnen verklaren worden vervolgens gerelateerd aan de vegetatie die aanwezig is op de respectievelijke bodems om te kijken of de bodem wordt beïnvloed door de vegetatie of vice versa. Naast de relatie tussen bodem en vegetatie zal er in dit rapport ook een overzicht worden gegeven van observaties na overslagproeven. Het doel hierbij is om de observaties te verklaren met de waargenomen bodemeigenschappen op deze locatie. In vervolgonderzoek kunnen de bodemeigenschappen worden gebruikt om ook te kijken naar de relatie tussen bodem en erosiegevoeligheid. Voor dit deelonderzoek zijn de volgende onderzoeksvragen te onderscheiden:

- 1) Wat is de relatie tussen biologische, chemische en fysische bodemvariabelen op rivierdijken?
- 2) Welke verschillende bodems zijn er te onderscheiden op basis van bodemeigenschappen?
- 3) Wat is de relatie tussen bodem en vegetatie?
- 4) Welke rol speelt de bodem bij de observaties na overslagproeven op rivierdijken?

2. Materialen en Methode

2.1 Locaties

In totaal zijn er 53 locaties geanalyseerd waarvan er 47 uiteindelijk zijn gebruikt in de analyse. De locaties waar geen veldonderzoek mogelijk was door lokale omstandigheden en de locaties waarvan data mist zijn niet meegenomen in de analyse. In appendix 5.1 is het overzicht weergegeven van de locaties met onder andere de coördinaten, dijkpalen en verschillende eigenschappen.

2.2 Onderzoeksubject

Op de respectievelijke locaties is een onderzoeksubject uitgezet waarbinnen alle waarnemingen /metingen alsook bemonstering plaatsvinden. Het betreft een objectgrootte van 5x5 m, representatief voor een groot gedeelte van de onderzoeklocatie. De bovenkant van het onderzoeksubject ligt op 3 m gemeten vanaf de kruin van de dijk en de linker bovenhoek van het object ligt op 10 m van de dichtstbijzijnde dijkspaal.

2.3 Metingen en waarnemingen

De in situ bodemanalyses van Lumbricus zijn uitgevoerd in september en oktober 2022. Teneinde een zo objectief mogelijk beeld te verkrijgen van verschillen in leeflaagdikte (toplaag) en bodemkarakteristieken zijn de waarnemingen zoveel mogelijk ondersteund met laboratoriumanalyses en metingen in het veld. Deze analyses betreffen het volgende:

Bodemprofiel en leeflaagdikte

Per locatie is er met behulp van een standaard Edelman grondboor van 1,20 m één boring verricht in het midden van het onderzoeksubject tot minimaal 50 cm-mv en maximaal 100 cm-mv, afhankelijk van veldomstandigheden. Daarmee is bepaald hoe dik de leeflaag (toplaag) is en of de onderliggende laag een verloop vertoont in textuur en structuur met evt. bijbehorende bodemvormende processen welke leiden tot een eventuele gelaagdheid. De leeflaag is gedefinieerd als zijnde de laag gemeten vanaf het grondoppervlak tot waar de diepste wortelontwikkeling nog zichtbaar is, i.e. de Ah(p) horizont. Van de bovenste 20 cm is er eveneens op één plaats binnen het onderzoeksubject een profiel met behulp van een profielsteker (breedte 12 cm, lengte 20 cm en dikte ca. 2 cm) gestoken. Hierin is specifiek gekeken naar verkitting/cementering (verbinding tussen bodemdelen en organisch materiaal) en viltvorming (ophoping organisch materiaal). Aan de hand van horizonten (te onderscheiden lagen) is er beschreven wat de structuur en textuur is en de aanwezigheid van bijzondere materialen (zoals ijzer -en mangaanophoping, organische stof inclusies, fauna-activiteit, etc.) is benoemd conform FAO/Stiboka-systematiek. Tevens is de benaming van het profiel conform Stiboka-bodemclassificatie aangegeven. Daarnaast is van de bovenste 6 – 10 cm ook het actuele vochtgehalte (% w/v) en het gehalte aan zouten opgelost in het bodemvocht (ECw in mS/cm). Hiervoor is gebruik gemaakt van de HH2 W.E.T. –sensor. Tijdens het veldwerk zijn er foto's genomen van profielen en bijzondere kenmerken.

Bodemkarakteristieken

Per locatie is binnen het onderzoeksobject een grondmonster genomen van de laag 0-10 cm/0-15 cm. Het monster is een mengmonster van 30-40 steken, homogeen verdeeld over het onderzoeksobject. De grondmonsters zijn aangeboden aan Eurofins Wageningen voor bodemfysische, bodemchemische en bodembioologische analyses. Bodemfysische analyses zijn uitgevoerd conform NEN 5753 analyses en omvatten:

- Lutumfractie (< 2µm)
- Silt/sloefracties (2-16 µm, 16-50 µm , 50-63 µm)
- Leemfractie (< 50 en < 63 µm)
- Zandfracties (63-125, 125-180, 180-250, 250-355, 355-500, 500-1000, 1000-2000 µm)
- M50-getal zandfractie
- Indien van toepassing carbonaatgehalte

Bodemchemische analyses zijn conform diverse NEN/ISO-standaarden en NIRS-methode uitgevoerd en omvatten de volgende gegevens:

- pH-CaCl₂
- organische stof
- N-totaal en N-leverend vermogen, CN-ratio
- S-totaal, S-leverend vermogen, CS-ratio
- Plant beschikbare elementen: S-PAE, P-PAE, K-PAE, Ca-PAE, Mg-PAE, Na-PAE
- Bodemvoorraden: P-AL, Pw, K-voorraad, Mg-voorraad, Ca-voorraad, Na-voorraad-
- CEC + bezettingsgraad

Bodembioologische analyses zijn uitgevoerd via NIRS-methode en omvatten:

- Microbiële biomassa
- Microbiële activiteit
- Schimmel biomassa
- Bacterie biomassa

Ten behoeve van de structuurbepaling is door Lumbricus in het veld ook een metalen ring gestoken met een Ø 53 mm en diepte van 6 cm van de laag 5-15 cm-mv. Deze ring is in het lab van Lumbricus gedurende 24-48 uur in de droogstoof bij 105°C gezet waarna het drooggewicht is bepaald en de droge bulkdichtheid van de bodemlaag is berekend.

2.4 Vegetatieanalyse

De groenbedekking is tevens opgenomen in de metingen met behulp van een model (TGCM V3.0, ontwikkeld door Lumbricus) die naar aanleiding van een foto het percentage groenbedekking berekent. Dit is het percentage van het oppervlak dat gebruik kan maken van groen licht voor fotosynthese. Tevens is er gekeken naar het dominante vegetatietype. Deze is hier gedefinieerd op basis van bedekking. Hierbij resulteert een bedekking groter of kleiner dan 50% in een binaire aanduiding kruiden of gras. Naast de vegetatieanalyse van Lumbricus wordt er in dit rapport ook

gebruik gemaakt van de vegetatieopname van Eureco. Deze vegetatie is uitgevoerd in mei en juni 2022. Deze data bestaat uit het percentage gras en kruiden per locatie.

2.5 Dataverwerking

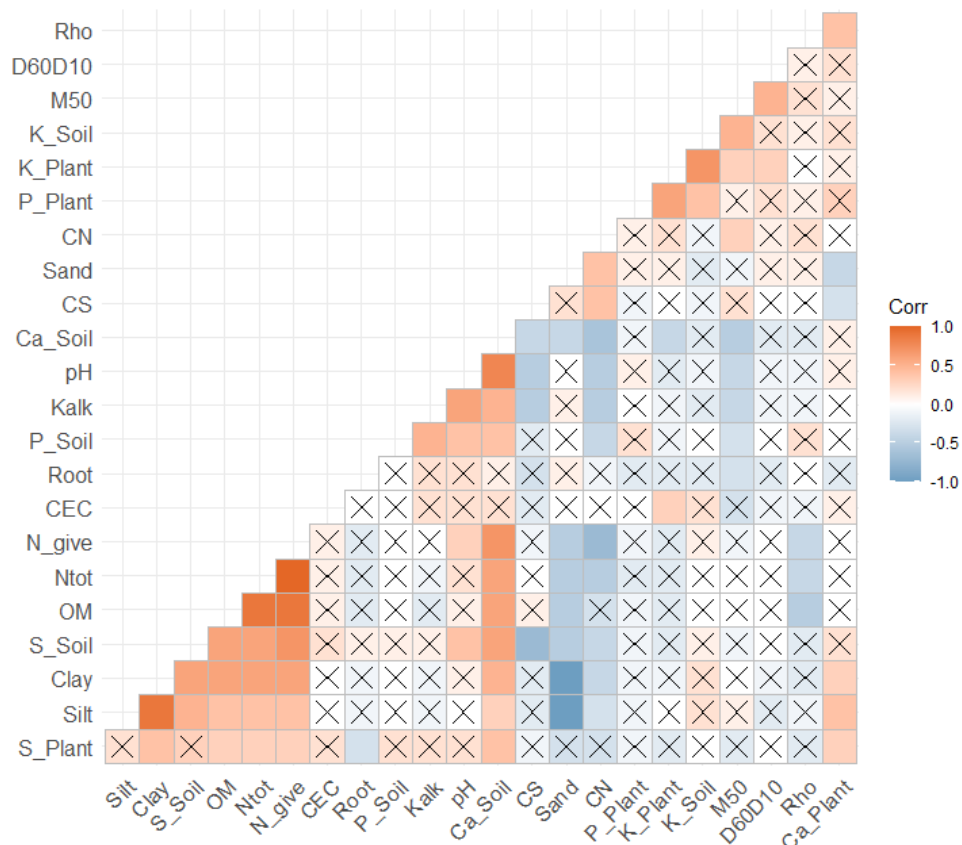
Voor de statistische verwerking van de bodemdata is eerstens een correlatiematrix gemaakt op basis van een Pearson correlatietest bij een alpha van 0.05. Vervolgens is er een standaard PCA uitgevoerd waarbij enkel de niet-gecorreleerde variabelen zijn meegenomen om colineariteit te voorkomen. Alvorens de PCA is uitgevoerd is de data gestandaardiseerd. Met behulp van deze PCA is er een clusteranalyse uitgevoerd waarbij het aantal clusters is bepaald met behulp van een silhouet-analyse. Hierbij is het aantal clusters gekozen met de grootste silhouetafstand. Bij de vegetatie-analyse is er eerst een RDA uitgevoerd om te kijken naar de relatie tussen bodem en vegetatie. Hiervoor is de dataset van Eureco gebruikt alvorens de data was gestandaardiseerd. De RDA is geanalyseerd op significantie ($\alpha = 0.05$) met een Anova-test. De relatie tussen bodem en vegetatie met de dataset van Lumbricus is onderzocht middels een vergelijking van de gemiddeldes per klasse (gras of kruiden). Hiervoor is er eerst gekeken naar normaliteit. Als de data normaal verdeeld was, is er een standaard t-test gebruikt en voor niet-normaalverdeelde data is er een non-parametrische test (Mann-Whitney U) gebruikt.

3. Resultaten en Discussie

3.1 Profielbeschrijvingen

3.1.1 Correlatieanalyse

Om tot een overzicht te komen van de belangrijkste verschillen tussen bodems is het allereerst van belang om te kijken naar de individuele chemische, fysische en biologische variabelen. Vaak zijn er relaties te vinden tussen de verschillende eigenschappen. Deze kunnen worden gevonden met een simpele Pearson correlatieanalyse. Het voordeel hiervan is tweevoud, namelijk, een reductie van het aantal variabelen is gunstig voor een overzichtelijke analyse van de verschillende bodems en het voorkomt colineariteit in de PCA (principal component analysis) die uitgevoerd zal worden. Figuur 1 hieronder geeft een overzicht van de opgenomen variabelen, de mate van correlatie en de significantie van deze correlatie. Een van de belangrijkste biologische variabelen waar in Future Dikes naar wordt gekeken is de worteldiepte. Deze blijkt significant negatief gecorreleerd met het M50 getal. Dit betekent dat er bij een hoger M50 getal, d.w.z. een schralere toplaag, minder diepe wortels aanwezig zijn. Dit kan te verklaren zijn door de verlaagde voedingstoestand en een lager vochtbufferend vermogen in schrale bodems. De verlaagde voedingstoestand wordt bevestigd door de negatieve correlatie met het P-gehalte in de bodem en de lagere pH in schralere bodems. Omdat er minder voedingsstoffen aanwezig zijn en omdat de bodem minder water buffert, zullen de plantenwortels relatief oppervlakkig blijven. Naast de biologische eigenschappen, zoals worteldiepte, spelen de fysische eigenschappen een belangrijke rol in bodemclassificatie. De textuurklassen zand, silt en lutum zijn sterk aan elkaar gecorreleerd. Wanneer het aandeel silt toeneemt,



Figuur 1: Schematische weergave van de correlatieanalyse. De X betekent dat de variabelen niet gecorreleerd zijn volgens Pearson correlatie.

neemt tevens het lutumgehalte toe, maar neemt het zandgehalte sterk af. De textuur is dus ook wel uit te drukken in een van deze klassen. In deze analyse wordt er gekozen voor de siltfractie. Als er vervolgens wordt gekeken naar de relatie tussen de textuur en de chemische eigenschappen van de bodems vallen een aantal dingen op. Silt is significant positief gecorreleerd met de voedings-toestand van de bodem, i.e. N-totaal, N-leverend vermogen, S-bodem, Ca-bodem en Ca-plant beschikbaar. Bodems met fijnere texturen hebben een hoger vochtretentievermogen vergeleken met schralere gronden (Dexter, 2004). Bodems met een hogere mate van waterretentie kunnen gedurende droogte langer de waterbehoefte van de plant voorzien. Tevens heeft de textuur invloed op de doorlaatbaarheid van de bodem. Van Genuchten (1980) beschreef de relatie tussen textuur en de doorlaatbaarheid van een bodem, waarbij fijnere texturen doorgaans een lagere doorlaatbaarheid hebben. Door een hogere waterretentie en een lagere doorlaatbaarheid zullen voedingsstoffen langer aanwezig zijn in de bodem. Ook het organische stofgehalte is positief gecorreleerd met het siltgehalte in de bodem. Een verklaring hiervoor is de verlaagde afbraaksnelheid van organische stof in bodems met fijnere texturen in vergelijking met schralere bodems (Hassink, 1994). De verlaagde afbraak is voornamelijk gerelateerd aan de beschermende werking van klei op organische stof en de binding van organische stof aan de geladen oppervlaktes van de kleimineralen (Oades, 1989; Tisdall & Oades, 1982). Bij een hoger organische stofgehalte in de bodem is er logischerwijs een positieve correlatie met de N-totaal in de bodem. Zowel silt als organische stof hebben een positieve correlatie met S en Ca. Dit is het gevolg van elektrostatische binding aan de kleimineralen. Bij deze binding speelt Ca een belangrijke rol omdat Ca een positief effect heeft op de binding van humuszuur aan de minerale fractie van de bodem (Barreto et al., 2021). De Ca verhoogt de “cation-bridging” tussen negatief geladen humuszuur en negatief geladen kleimineralen (Weng et al., 2005; Rowley et al., 2018).

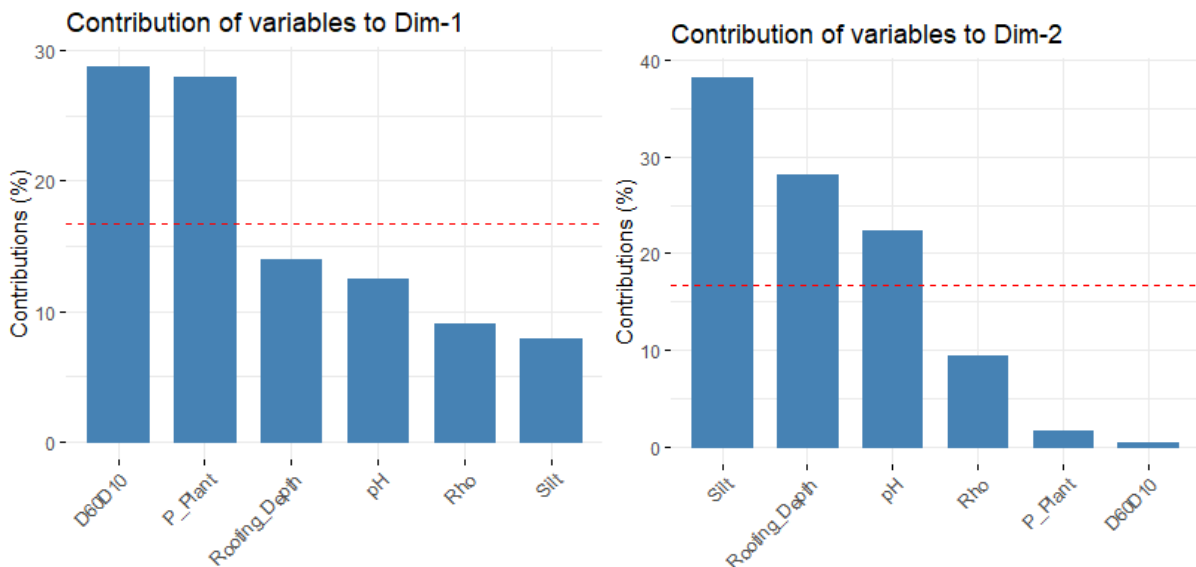
Het resultaat van deze correlatieanalyse is een selectie aan variabelen dat gebruikt zal worden in de volgende analyses. Een overzicht van deze variabelen is weergegeven in tabel 1 hieronder. Wat vooral opvalt is de relatief grote spreiding van de verschillende variabelen. Er zijn bodems met een hele ondiepe top laag, maar er zijn ook bodems met een relatief diepe top laag. Wat tevens interessant is zijn de textuurclassificaties van de verschillende bodems naar aanleiding van het zand-, silt- en lutumgehalte. Van 49 bodems die zijn opgenomen in de analyse zijn er maar drie kleibodems (lutum >25%). De rest varieert van kleiig zand tot zware zavel. De D60/D10 is relatief hoog, hetgeen impliceert dat de verdeling tussen de fijne en grove fractie sterk uit elkaar lopen. In de praktijk is dit te verklaren door de aanwezigheid van grind in de top laag. Hier wordt later dieper op ingegaan. Gezien de grote spreiding in de variabelen is het interessant om te kijken of er clusters te vormen zijn die de verschillende bodems van elkaar onderscheiden. Alvorens er een clusteranalyse kan worden uitgevoerd wordt er eerst een PCA analyse gedaan met de variabelen uit tabel 1.

Tabel 1: Gemiddeldes van de selectie aan bodemvariabelen met tussen haakjes de standaard deviatie.

Worteldiepte (cm)	Siltgehalte (%)	D60/D10	ρ_d (g cm ⁻³)	P-plantbeschikbaar (kg ha ⁻¹)	pH
23.38 (9.81)	28.63 (8.69)	91.45 (39.84)	1.21 (0.10)	1.04 (0.49)	6.57 (0.68)

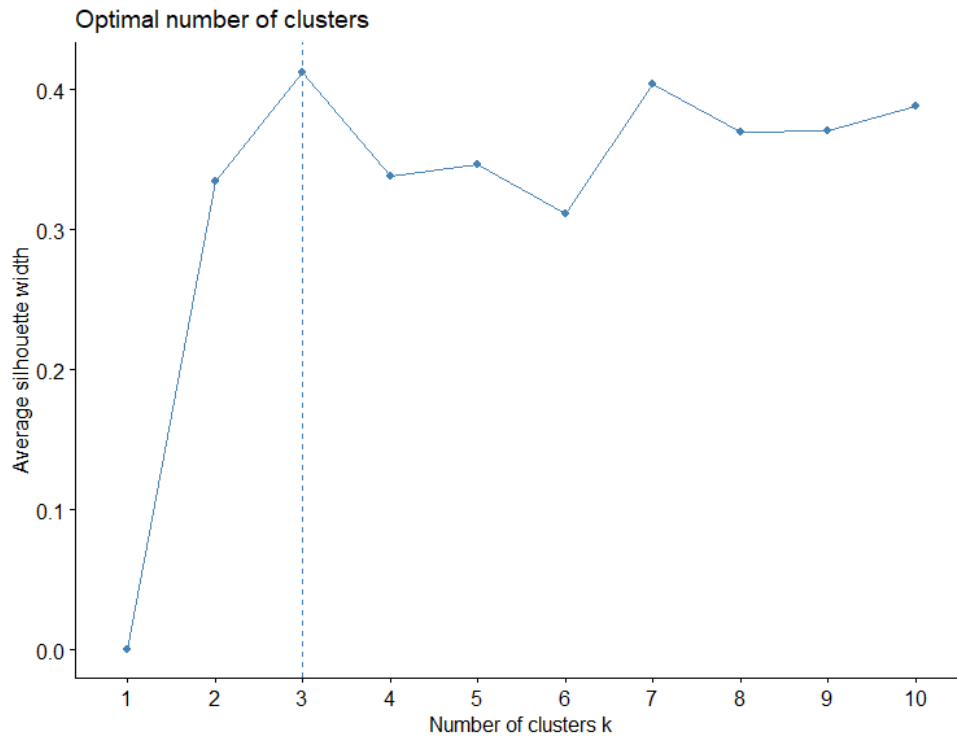
3.1.2 PCA en clusteranalyse

De PCA analyse is in staat om 26.5 % van de variantie te verklaren met component 1 en 21.9 % met component 2. In totaal wordt er door de eerste twee dimensies 48.4 % van de variantie verklaart. Het overige deel van de variantie kan mogelijk worden verklaard door de helling, de oriëntatie en cultuurtechnische invloeden op de dijken. Figuur 2 toont het aandeel van de verschillende variabelen per dimensie (component). Bij dimensie 1 zijn de D60/D10 en de P-plant de belangrijkste verklarende variabelen en voor dimensie 2 zijn het siltgehalte, worteldiepte en de pH de belangrijkste verklarende variabelen. In beide dimensies is de droge bulkdichtheid (ρ_d) een variabele die weinig bijdraagt aan de verklaarde variantie in de dataset.



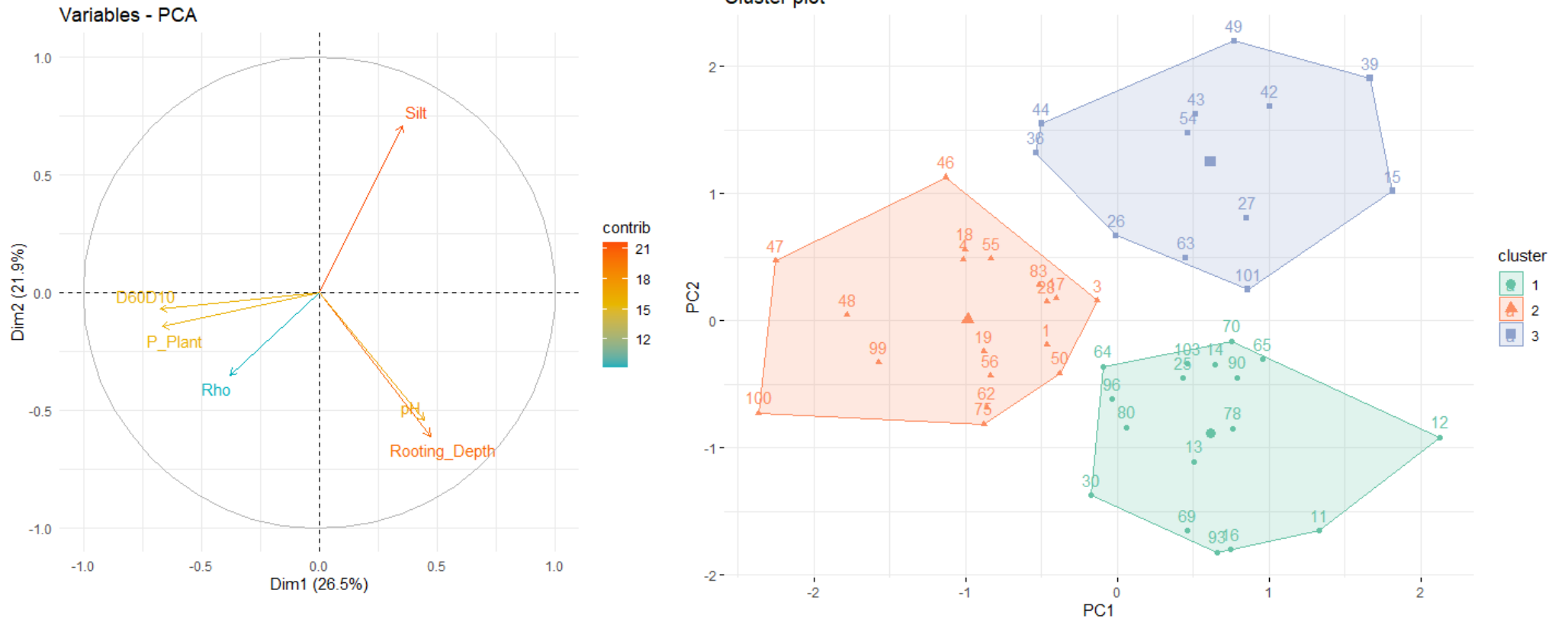
Figuur 2: Grafieken met de hoeveelheid verklaarde variantie per dimensie. De rode lijn is de verwachte gemiddelde bijdrage van de variabelen.

Met behulp van deze PCA analyse is er een clusteranalyse uitgevoerd. De eerste stap hiervan is het bepalen van de hoeveelheid clusters waarbij de onderlinge verschillen tussen bodems binnen een cluster minimaal zijn. Figuur 3 toont de silhouetanalyse voor de bepaling van het optimale aantal clusters. Het figuur laat zien dat 3 clusters de grootste silhouetwijdte geeft. Dit betekent dat er bij 3 clusters een maximale afstand aanwezig is tussen de randen van de clusters, ofwel, dat de verschillen tussen clusters maximaal zijn. Om vervolgens te kijken welke variabelen de verschillende clusters van elkaar onderscheiden, zijn de clusterplot en de PCA plot naast elkaar weergegeven in figuur 4. In de PCA plot (figuur 4 links) is te zien dat silt een positieve invloed heeft op PC 1 en dat worteldiepte en pH een negatief effect hebben op PC 1. De D60/D10 en de P-plant hebben weinig effect op PC 1 maar hebben wel een groter negatief effect op PC 2. De droge bulkdichtheid (ρ_d) verklaart relatief weinig en wordt daarom buiten beschouwing gelaten. Met name silt, D60/D10 en de worteldiepte verklaren een groot deel van de variantie in de dataset. De richting van deze vectoren is een hoek rond de 100°. Dit impliceert dat er geen significante correlatie is tussen deze variabelen. Wel kan er worden gesteld dat de bodems in dit onderzoek waarschijnlijk te



Figuur 3: Clusteranalyse op basis van de silhouet-wijdte.


onderscheiden zijn in deze variabelen. De clusteranalyse (figuur 4 rechts) bevestigt deze constatering. De drie clusters van de clusteranalyse komen overeen met de verschillende richtingen van de vectoren silt, D60/D10 en de worteldiepte. Om deze reden zullen de clusters vanaf nu worden gekarakteriseerd volgens deze eigenschappen, i.e., cluster 1 zijn bodems gekarakteriseerd door een relatief grote worteldiepte, cluster 2 zijn bodems gekarakteriseerd met een relatief hoge D60/D10 en cluster 3 zijn bodems gekarakteriseerd met een relatief hoog siltgehalte. Het is belangrijk om te vermelden dat de indeling van clusters op basis van de meest karakteriserende eigenschappen naar aanleiding van een multidimensionale PCA-analyse geen correlatie hoeft te betekenen tussen variabelen. Met andere woorden, een bodem die gekarakteriseerd wordt door een grotere worteldiepte heeft niet per se een lager siltgehalte. Dit geldt alleen wanneer er wordt gekeken naar de uiterste van de clusters. De bodems die verder van het centrum van de PC-assen zijn gelegen tonen grotere verschillen in de respectievelijke eigenschappen. Bijvoorbeeld, bodem 39, 100 en 11 tonen de grootste onderlinge verschillen wat betreft silt, D60/D10 en worteldiepte. Bij bodems 100 en 11 zijn de siltgehaltes nagenoeg hetzelfde (19.9 % en 12.4 % respectievelijk), maar de worteldiepte en de D60/D10 tonen grote verschillen (worteldiepte 16 en 40 cm; D60/D10 92 en 24 respectievelijk). De bodems die dicht bij het centrum van de PC-assen liggen, verschillen minder van elkaar in eigenschappen. In de volgende sectie is er een overzicht gemaakt van verschillende bodemprofielen die zijn ingedeeld op de verschillende clustereigenschappen.

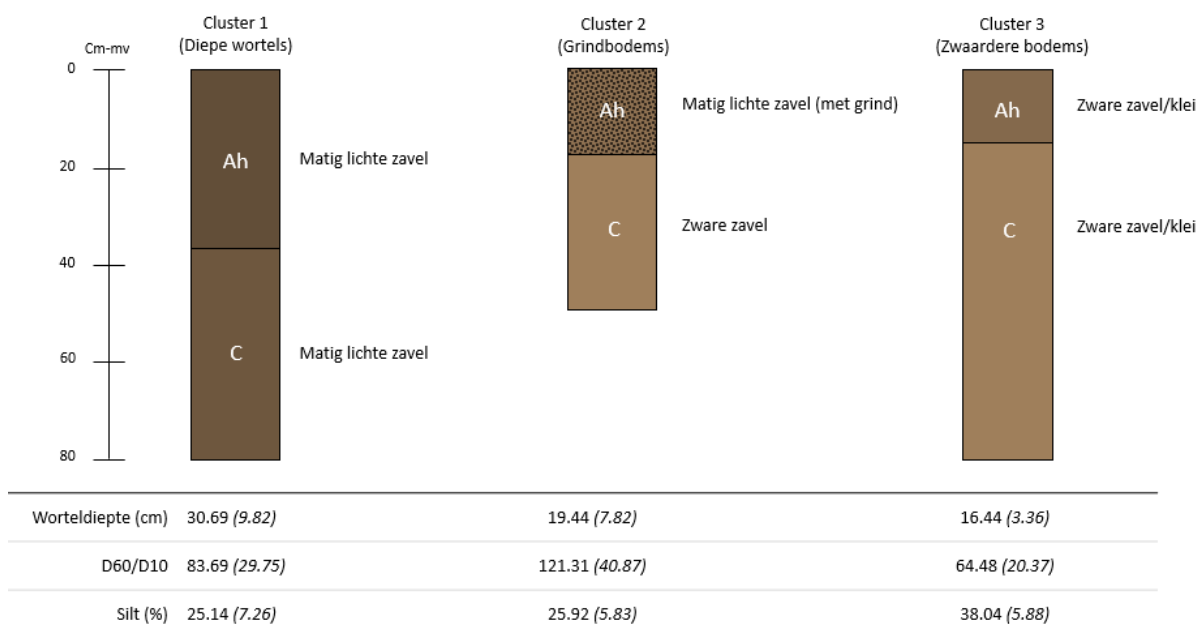


Figuur 4: Links de PCA plot met de verklarende variabelen en rechts de clusterplot met de 3 verschillende clusters. De clusters zijn gerelateerd aan de eigenschappen van de PCA-plot rechts.

3.1.3 Profielen met eigenschappen

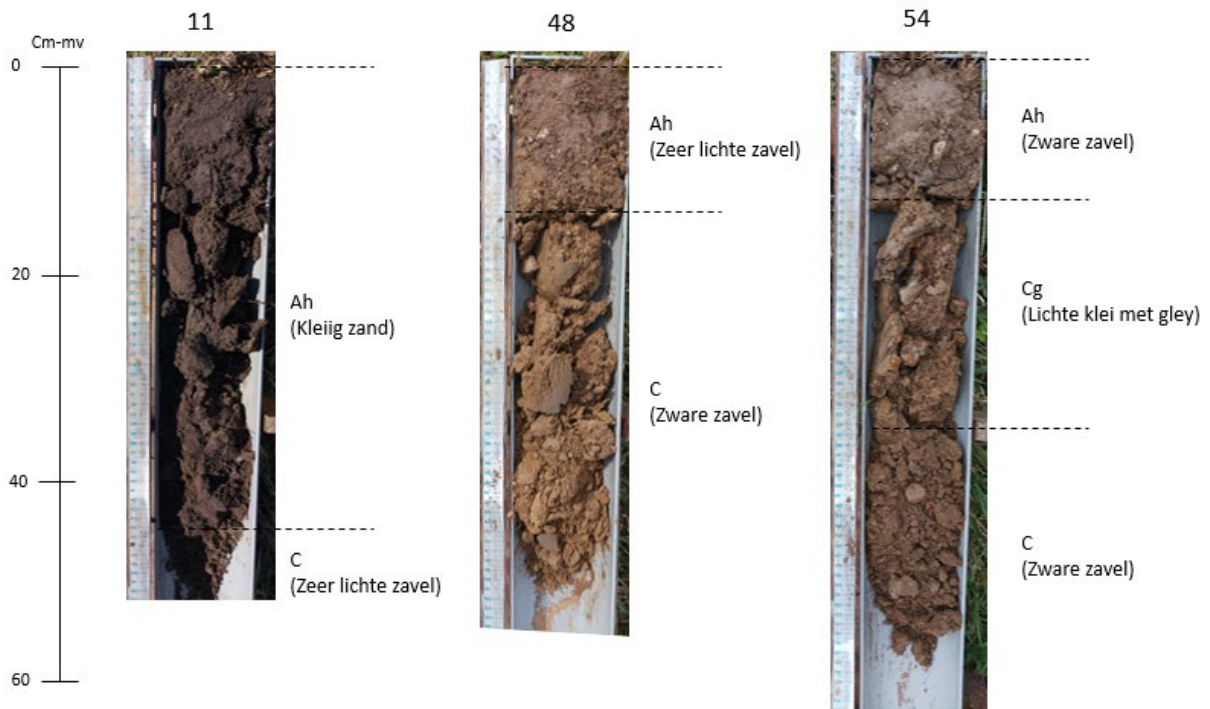
De clusteranalyse van de vorige sectie geeft een beeld van de verschillen in eigenschappen op basis van de chemische, fysische en biologische data. Deze data in combinatie met de bodemprofielen die in het veld zijn gemaakt kunnen worden gebruikt om de verschillen beter inzichtelijk te maken. Voordat er wordt gekeken naar deze profielen, is het belangrijk om een aantal veldobservaties door te nemen. Wat opvalt bij de in situ waarnemingen is dat er weinig kleibodems aanwezig zijn terwijl er doorgaans wordt gesproken over kleidijken. In totaal zijn er 3 kleibodems waargenomen van de 47 bezichtigde locaties. De meest voorkomende textuurklasse is zavel, variërend van zeer lichte tot zware zavel. Dit betekent dat er nog een aanzienlijk deel zand aanwezig is in de profielen. Tevens valt het op dat er op verschillende locaties veel grind aanwezig is in de toplaag. Dit grind is doorgaans enkel aanwezig in de bovenste 15 cm van het profiel. In de profielen met grind en de profielen met een zwaardere textuur is de kleur doorgaans licht, hetgeen indicatief is voor weinig bodemvorming (pedogenese). In deze profielen zijn de wortels dan ook ondiep (ca. 15-20 cm). Over het algemeen zijn de minerale horizonten (Ah-horizonten) van deze bodems ongeveer zo diep als de worteldiepte. Er is een groep bodems die afwijkt van deze ondiepe bodems. In deze bodems is juist veel bodemvorming te bekennen. Een relatief dikke Ah-horizont, een donker bruine kleur, diepe wortels en relatief veel biologische activiteit.

Deze observaties komen overeen met de verschillende clusters zoals deze zijn berekend in de voorgaande sectie. De in situ profielbeschrijvingen in combinatie met de clusteranalyse resulteert in de schematische profielen zoals weergegeven in figuur 5. Zoals eerder al is opgemerkt hebben cluster 2 en 3 een relatief lage worteldiepte. De profielen geven een mogelijke oorzaak hiervoor. In beide gevallen zijn er C-horizonten met een zwaardere textuur aanwezig onder de Ah-horizont. Door deze zwaardere texturen, en eventuele verdichting, is het moeilijk voor  vegetatie om dieper te wortelen. Tevens zijn er in deze C-horizont weinig voedingsstoffen aanwezig en door een lage



Figuur 5: Schematische weergave van de bijbehorende profielen per cluster. De tabel onder geeft de gemiddeldes en de standaarddeviatie van de bodemeigenschappen per cluster.

doorlaatbaarheid van de toplaag is het voor de plant niet interessant om dieper te wortelen. Wat opvallend is echter, is dat de kleibodems in tegenstelling tot de zware-zavelbodems wel een hogere worteldiepte hebben. Deze bodems hebben een beter vocht- en nutriënten bufferend vermogen dan de zware zavelbodems. Omdat er echter maar drie kleibodems in de dataset aanwezig zijn is het moeilijk om deze dieper te analyseren. Cluster 1 laat zien dat een lichtere textuur van de C-horizont resulteert in diepere wortels. Het profiel is zandig genoeg om water en nutriënten te laten percoleren tot dieper in het profiel. Aan de donkerdere kleur is te zien dat er meer organische stof aanwezig is tot dieper in het profiel.



Figuur 6: Selectie van profielen die overeenkomstig zijn met de clusteranalyse.

Ter illustratie zijn er in figuur 6 drie profielen van de verschillende clusters weergegeven. Het profiel op locatie 11 toont een diepe en donkere bodem met wortels tot 45 cm-mv. Dit profiel heeft een lichtere textuur en een grotere worteldiepte dan het gemiddelde van cluster 1 waardoor dit profiel aan de rand ligt van cluster 1. Het verschil in kleur vergeleken met profiel 48 en 54 is goed zichtbaar. Ook het textuurverschil is zichtbaar op de foto's, waarbij de C-horizonten van profiel 48 en 54 zichtbaar minder zanderig zijn dan de C-horizont van profiel 11. Bij profiel 54 is er nog iets bijzonders te zien, namelijk de aanwezigheid van een zware Cg-horizont onder de Ah-horizont. De aanwezigheid van gley (g) is een indicatie van een fluctuerende grondwaterstand. Omdat dit nagenoeg onmogelijk is bij deze diepte op een dijk en omdat de gley er oud uitziet, is de meest voor de hand liggende verklaring dat deze dijk in verschillende lagen is opgebouwd. Hierbij is het materiaal van de Cg-horizont uit een gebied gehaald in een laaggelegen gebied verder van de rivier vandaan. In profiel 48 is het grind goed te zien in de Ah-horizont. Onder deze horizont is geen grind meer te bekennen. Er is dus waarschijnlijk materiaal gebruikt met een andere oorsprong voor de toplaag in vergelijking met de onderlaag. Bij profiel 48 en 54 komen de wortels precies tot op de C(g) horizont. De textuur van deze C(g) horizont is dermate zwaar dat wortels moeilijk dieper kunnen komen. In de

volgende sectie zal er worden gekeken of de bovengrondse vegetatie ook te relateren is aan de bodemeigenschappen.

3.2 Bodem en vegetatie

3.2.1 Relatie tussen bodem en kruidenaandeel

In de dataset van dit project zijn twee typen vegetatieopnamen verricht. De eerste is verricht door Eureco in mei-juni 2022 en de tweede is verricht door Lumbricus op het moment van de profielopnames. De opname van Eureco geeft de verdeling tussen grassen en kruiden in de vorm van continue data. De opname van Lumbricus geeft de groenbedekking en een binaire aanduiding voor de dominante vegetatie op basis van bedekking (i.e. gras of kruiden). Om te kijken of de bodemeigenschappen de vegetatietypen kunnen verklaren is er een RDA analyse uitgevoerd met de dataset van Eureco en de bodemvariabelen zoals deze in de voorgaande sectie in de PCA zijn gebruikt. Bij deze RDA analyse worden de worteldiepte, ρ_d , siltgehalte, D60/D10, pH en P-plant als verklarende variabelen gebruikt voor de vegetatie. Tevens is er gekeken of er een verschil is in bodemeigenschappen voor de bodems met kruiden of grassen met de data van Lumbricus. Tabel 2 hieronder toont de anova-analyse van de RDA en de t-test of non-parametrische test tussen de groepen gras en kruiden. De tabel laat zien dat geen van de verklarende variabelen een significant effect hebben op de aanwezigheid van een gegeven vegetatietypen. Dit impliceert dat een verklarende variabele anders dan de bodem verantwoordelijk is voor de verschillen in vegetatie. Dit kan te maken hebben met de ligging, het onderhoud en het moment van het jaar dat de opname wordt gedaan. Het is interessant om op te merken dat er dus ook geen relatie is tussen kruiden, gras en worteldiepte. De bodems uit cluster 1 van de PCA met de diepste wortels (11 en 12) hebben het grootste aandeel gras ten opzichte van kruiden. Zoals al eerder is vermeld, blijkt de bodem de beperkende factor voor de worteldiepte en dus niet het vegetatietype. Naar aanleiding van deze analyse wordt er geen relatie verwacht tussen het vegetatietypen en de treksterkte van de bodem. Wel kan er nog een relatie zijn met de worteldiepte. Echter, omdat treksterkteproef wordt uitgevoerd in een laag waarbij in iedere bodem wortels aanwezig zijn, is er een kans dat hier de vegetatie niet veel van de variantie verklaard. Wel wordt er verwacht dat de textuur een belangrijke rol speelt bij de treksterkteproeven. Vooral bij cluster 3, i.e. de bodems met een zwaardere textuur, wordt er een positief effect van bodem verwacht op de treksterkte.

Tabel 2: Overzicht van de significanties van de relatie tussen vegetatietype en bodemeigenschappen. De data van de worteldiepte, pH en P-plant zijn niet normaal-verdeeld en daarom is er in de analyse van de data van Lumbricus voor deze variabelen een non-parametrische test gebruikt.

Variabele	Vegetatiedata Eureco Significantie Anova (RDA)	Vegetatiedata Lumbricus Significantie tussen gras en kruiden
Worteldiepte	0.385	0.608
ρ_d	0.696	0.626
Silt	0.096	0.349
D60/D10	0.873	0.195
pH	0.271	0.913
P-plant	0.694	0.500

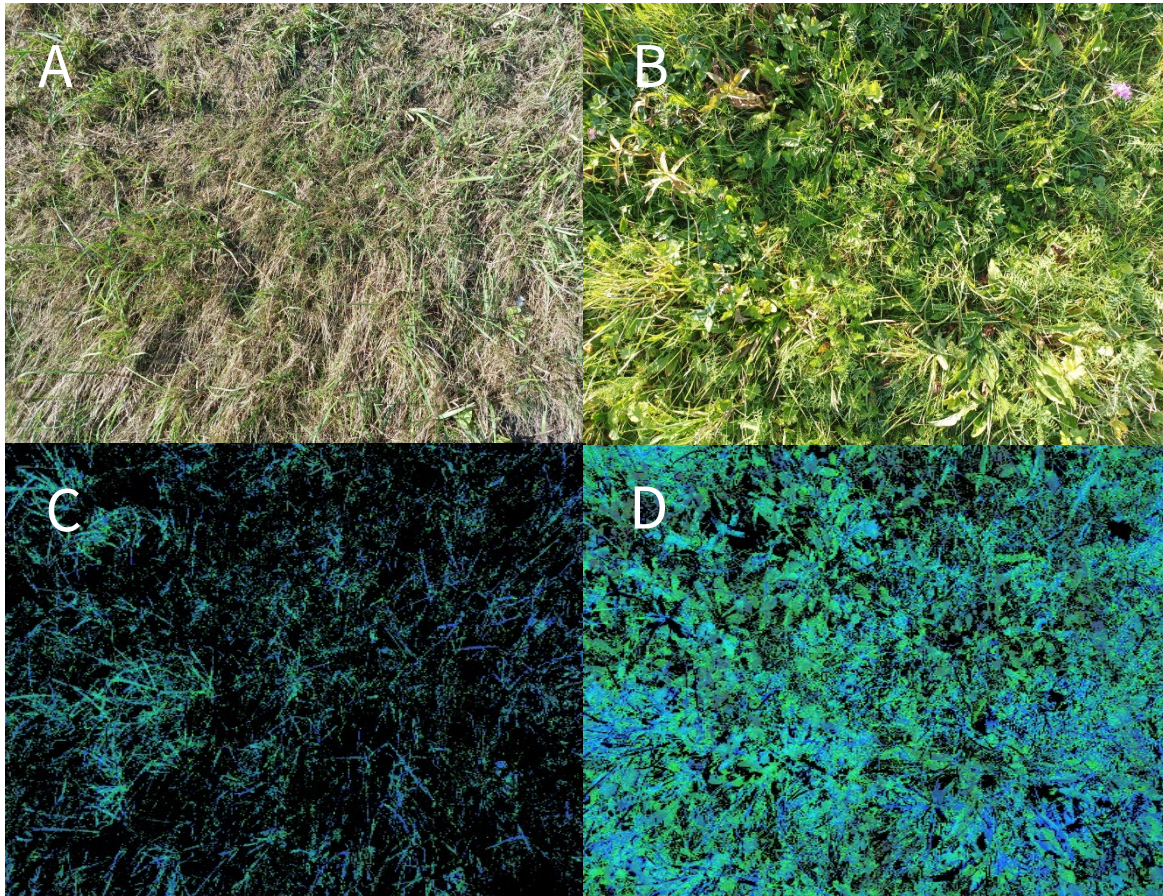
3.2.2 Relatie groenbedekking en vegetatie

Tijdens de bodemprofielopnames is ook de groenbedekking van het oppervlak bepaald door middel van schatting. Met deze data is er gekeken naar een eventueel verband tussen de bedekking en het vegetatietype op dat moment. Tabel 3 toont de anova voor het verschil in bedekking tussen gras en kruiden. De tabel laat zien dat kruiden op het moment van de waarneming een significant hogere groenbedekking hebben dan gras. De opname is verricht in een lang aanhoudende droge periode. Hierdoor zijn de grassen verdord. De kruiden laten echter zien dat ze beter bestand zijn tegen deze droogte. Het is wel belangrijk om te vermelden dat deze bedekking verandert door het jaar en dat er is waargenomen dat richting de winter de bedekking van het gras weer is hersteld. Tijdens de overslagproeven in februari 2023 was ook de bedekking van de grasvegetatie weer hoog. Omdat de ondergrondse eigenschappen niet significant gerelateerd zijn aan de bovengrondse eigenschappen (§ 3.2.1), d.w.z. het vegetatietype, betekent deze lage bedekking niet per se dat de bodem minder erosiegevoelig is. Bij de grasvegetatie zijn ondanks de lage groenbedekking diepe wortels gevonden. Dit betekent dat de grasvegetatie nog steeds een hoge trekkracht aankan bij de trek-sterkteproeven.

Tabel 3: Statistische analyse van het verschil in groenbedekking tussen gras en kruiden.

	N	Gemiddelde groenbedekking (%)	Std. deviatie	Significantie
Kruiden	23	50.46	20.29	< 0.001
Gras	22	26.32	18.14	

Het is belangrijk om te vermelden dat de bedekking die hier wordt geanalyseerd de groenbedekking is en niet de totale bedekking. Figuur 7 laat zien dat de groenbedekking van de grasvegetatie (figuur 7 A en C) lager is dan de groenbedekking van kruiden (figuur 7 B en D). Echter, de bodem van de grasvegetatie is nog steeds bedekt met dorre gras. Wat de afschuifweerstand is van dit dorre gras en wat de invloed hiervan is op de U_c is niet bekend. Dit is voor nu ook minder relevant omdat de overslagproeven gedaan worden in de winter wanneer de vegetatie weer is hersteld. Gezien er geen verschil is in ondergrondse eigenschappen tussen vegetatietypen en gezien de vegetatie herstelt richting de winter, wordt er op basis van deze data geen verschil verwacht in treksterkte of waargenomen U_c tussen verschillende vegetatietypen. Wat wel een eventueel resultaat kan zijn van de lagere bedekking is een verhoogde erosiegevoeligheid onder invloed van hevige neerslag. Omdat de bedekking lager is kan de neerslag meer schade maken. Dit effect is waarschijnlijk het grootste bij zandigere bodems omdat droge kleibodems doorgaans zeer erosiebestendig zijn (zoals eerder onderbouwd in thema 0). Los van erosiegevoeligheid laten deze data zien dat kruiden in de zomer dijken langer groen houden. Naast dat dit er visueel goed uitziet is de biodiversiteit ook hoger op de kruidenrijke dijken. Dit kan een belangrijk aspect zijn in beleid gericht op vegetatietypen van dijken.

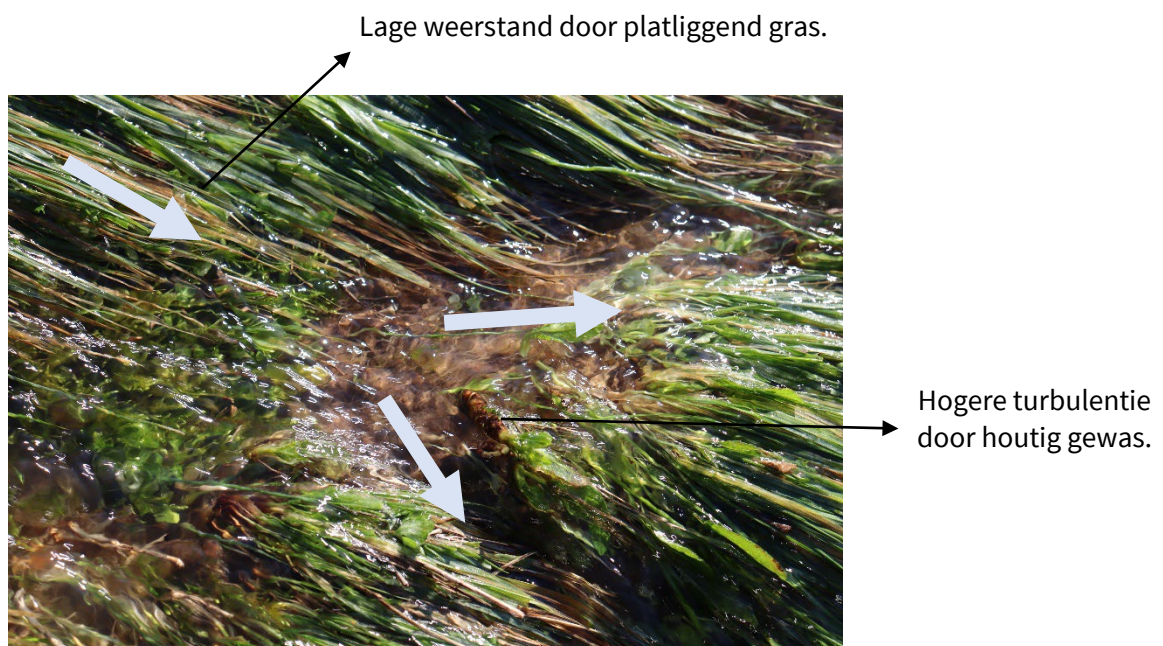


Figuur 7: Vergelijking van de groenbedekking in voor locatie 11 (A en C) en locatie 36 (B en D).

3.3 Observaties overslagproeven

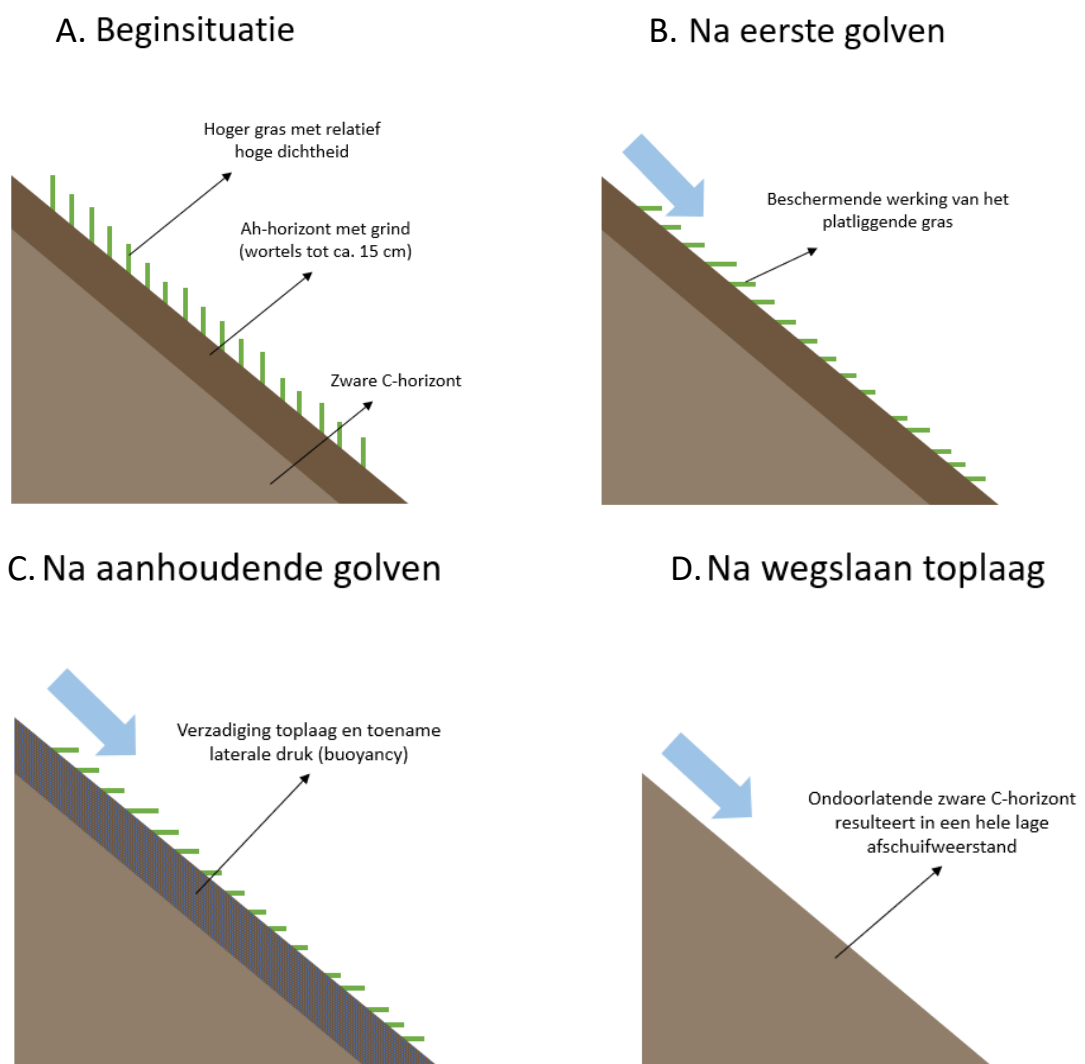
Naast de observaties van de bodemprofielen zijn er ook observaties gedaan tijdens de overslagproeven op de respectievelijke locaties waar het bodemonderzoek heeft plaatsgevonden. In deze sectie zal er een kort overzicht worden gegeven van deze observaties alsmede de hypothesen die deze observaties kunnen verklaren. Deze hypothesen kunnen de basis vormen van vervolgonderzoek die deze patronen kunnen verklaren. Tevens zijn er extra metingen verricht op locatie 46 (HD151u22) waar een overslagproef heeft plaatsgevonden. Er zijn ringmonsters genomen om de dichtheid en doorlaatbaarheid te meten en er zijn bodemmonsters genomen voor granulaire analyse. In totaal zijn er vier monsters genomen op een plek waar de toplaag is weggeslagen en vier monsters aan de rand van deze plek. Zo zal er een goed beeld komen van eventuele verschillen. Figuur 9 geeft een schematische weergave van de observaties en mogelijke verklaringen. Er zijn vier verschillende fases te onderscheiden. Hieronder zullen de vier fases worden toegelicht:

- A. Beginsituatie: De bodem van locatie 46 valt in het cluster van de grindbodems. Dit betekent dat er een ondiepe Ah-horizont aanwezig is met relatief veel grind. Onder deze Ah-horizont bevindt zich een zware C-horizont. Op de locatie stond ten tijde van de overslagproeven een relatief hoge en dichte grasvegetatie.
- B. Na eerste golven: Na de eerste golven over de bodem gaat de grasvegetatie platliggen waarna er een beschermende laag wordt gecreëerd over de bodem. Vertaald naar de Uc vergelijking zou dit betekenen dat de schuifspanning (α_{gras}) verandert. Door de beschermende werking van het gras over de bodem zal het langer duren voor de bodem verzadigd en dus is de cohesie hoger gedurende langere tijd. Tevens zal de turbulentie-intensiteit (r_0) sterk afnemen door het platliggende gras. Enkel rond de grotere pollen en dikkere houtige vegetatie zal er meer turbulentie zijn (figuur 8).



Figuur 8: Foto van het effect van vegetatie op turbulentie.

- C. Na aanhoudende golven: Na verloop van tijd zal de toplaag langzaam richting verzadiging gaan. De Ah-horizont met het grind van bodem 46 is relatief poreus en heeft een relatief hoog organische stofgehalte (7%). Op de locaties waar het water het beste kan infiltreren wordt de laterale kracht (bouyancy) groter over tijd. De C-horizont is echter te zwaar en heeft een te lage doorlaatbaarheid om te percoleren, en dus blijft het water in de toplaag. Na enige tijd zal de laterale druk dermate hoog zijn dat de toplaag wegslaat. Het is hierbij belangrijk om te vermelden dat de toplaag hier 15 cm is. De reden dat er een specifiek deel wegslaat kan te maken hebben met een lagere worteldiepte, een hoger grindgehalte, een lagere bedekking of een hoger aandeel houtige gewassen.
- D. Na het wegslaan van de toplaag op een specifieke locatie, stroomt het water over de kale C-horizont. Deze is dermate zwaar dat er geen water infiltreert. Het is belangrijk om hier te vermelden dat de factor tijd hier waarschijnlijk een belangrijke rol speelt. Na de eerste hoeveelheid golven is er een bepaalde hoeveelheid water over de bodem gekomen. Dit is een massa aan water dat zowel de toplaag als de onderlaag kan verdichten. Na het wegslaan van de toplaag is de onderlaag al verdicht. Het water wat er vervolgens overheen stroomt



Figuur 9: Schematische weergave van de observaties na overslagproeven.

zal over een verdichtte, gladde bodem stromen met een bijna verwaarloosbare afschuifweerstand en turbulentie. De hypothese is echter dat wanneer deze vegetatieloze C-horizont direct zou worden blootgesteld aan overslagproeven, dat deze meer zal eroderen. De eindsituatie op de dijk na overslag is een groot gedeelte dat nog intact is en een zeker gedeelte waarbij de toplaag is weggeslagen, maar waar geen consequente erosie meer plaatsvindt. De gedeeltes die nog intact zijn, hebben een lage doorlaatbaarheid door verdichting als gevolg van de golven en het gras heeft een beschermende werking op de toplaag. De blootliggende C-horizont is verdicht en toont geen verdere erosie. De granulaire eigenschappen van de intacte toplaag en de blootliggende C-horizont zijn weergegeven in tabel 4.

Tabel 4: Gemiddeldes en standaarddeviatie (σ) van de monsters die zijn genomen na de overslagproef op locatie 46.

	Intacte Ah-horizont	Blootliggende C-horizont
Siltgehalte (%)	30.3	46.0
D60/D10 (-)	112.2	48.5
Organischestofgehalte (%)	7.0	2.8
Droge bulkdichtheid (g cm^{-3})	1.15 (0.08)	1.44 (0.06)
Textuur (Stiboka)	Matig lichte zavel	Zware zavel
Verzadigde doorlaatbaarheid (k_s)	Te laag om te meten ($< 0.001 \text{ m dag}^{-1}$)	Te laag om te meten ($< 0.001 \text{ m dag}^{-1}$)

Een kanttekening na deze observaties, is dat de volledige toplaag (15 cm) is weggeslagen op de respectievelijke locatie waar er schade is opgetreden. Voor falen wordt de toplaag gedefinieerd als 20 cm. Dit is echter een arbitrair getal sinds de bodems verschillen in toplaagdikte (zie sectie 3.1.3). Echter, ook met een toplaagdikte van 15 cm zal het nog niet als falen worden gezien, omdat de erosiediepte niet groter wordt dan de toplaagdikte.

De observaties zoals hierboven beschreven geven een aantal handvatten voor verder onderzoek. Het is interessant om de α_{gras} en r_0 van de U_c formule te optimaliseren voor de observaties van de proeven. In het huidige onderzoek wordt er enkel gekeken naar de treksterkte en niet naar de α_{grasz} en r_0 . Er wordt echter verwacht dat dit een grotere invloed heeft dan de treksterkte alleen. Tevens zou het interessant zijn om een modelstudie te doen naar de verzadiging van de toplaag over tijd. Met deze modellen kan er een vergelijking worden gemaakt tussen het effect van overslag op de verzadiging van de bodem en het moment van falen dat is geobserveerd.

4. Conclusies en Aanbevelingen

4.1 Antwoord op de onderzoeksvragen:

1) *Wat is de relatie tussen biologische, chemische en fysische bodemvariabelen op rivierdijken?*

- Verschillende bodemeigenschappen zijn sterk aan elkaar gecorreleerd. De textuur en bodemvruchtbaarheid zijn sterk aan elkaar gecorreleerd, waarbij zwaardere bodems een hogere bodemvruchtbaarheid hebben. Bodems met een zwaardere textuur hebben doorgaans een hoger organische stofgehalte door een lagere doorlaatbaarheid en een lagere afbraaksnelheid. Tevens is de Ca-concentratie hoger in zwaardere bodems waardoor binding van humuszuren aan kleimineralen kan worden bevorderd. De niet-gecorrleerde variabelen die zijn gebruikt in de PCA (worteldiepte (leeflaag), siltgehalte, D60/D10, droge bulkdichtheid, pH en P-plant) verklaren samen 48.4 % van de variantie.

2) *Welke verschillende bodems zijn er te onderscheiden op basis van bodemeigenschappen?*

- Op basis van een clusteranalyse zijn er drie verschillende type bodems te onderscheiden: cluster 1) bodems met diepe wortels, cluster 2) bodems met een hoog grindgehalte in de toplaag en cluster 3) bodems met een zware textuur. De bodems van cluster 2 en 3 hebben een lage worteldiepte als gevolg van gelaagdheid in de bodem, i.e. een zware C-horizont.

3) *Wat is de relatie tussen bodem en vegetatie?*

- Er is geen significante relatie tussen de chemische en fysische eigenschappen van de toplaag en het vegetatietype. Ofwel, er is niet aangetoond dat er verschillen zijn tussen grassen en kruiden met betrekking tot bodemeigenschappen.
- De bodem speelt wel een belangrijke rol in de worteldiepte van de vegetatie. Zwaardere profielen, en profielen met een hoog aandeel grind, hebben minder diepe wortels. Tevens wordt de worteldiepte bepaald door de C-horizont direct onder de Ah-horizont. Als deze C-horizont zwaar is, dan komen de wortels niet dieper, ongeacht de vegetatie. Ofwel, de bodem is de beperkende factor voor worteldiepte.
- Kruiden hebben een significant hogere groenbedekking in vergelijking met grassen op het moment van de waarnemingen (september-oktober 2022).

4) *Welke rol speelt de bodem bij de observaties na overslagproeven op rivierdijken?*

- De bodem speelt ten opzichte van de vegetatie een geringe rol. In eerste instantie wordt de erosiegevoeligheid bepaald door het afscherpende effect van platliggend gras. Na het wegslaan van een stuk toplaag speelt de bodem pas een belangrijke rol, waarbij een zware en ondoorlatende textuur van de C-horizont nagenoeg geen erosie laat zien door een hoge afschuifweerstand.

4.2 Aanbevelingen

- De dikte van de toplaag verschilt tussen de clusters. Daarom wordt er aanbevolen om in de definitie van falen de dikte van de toplaag aan te passen naar de dikte van de toplaag per locatie en niet een gemiddelde te nemen van 20 cm.
- Gezien de constatering dat er geen significante relatie is tussen bodemeigenschappen en vegetatietypen en gezien de constatering dat grassen een belangrijke rol spelen bij de bescherming van de toplaag, wordt er aanbevolen om te kijken naar het effect van bovengrondse vegetatie op de Q_{gras} en de $r_{0.1}$.
- Om een beter beeld te krijgen van de mechanismes achter het wegslaan van secties toplaag, wordt er aanbevolen om te kijken naar de hydrologie van de bodem onder invloed van overslagproeven door de tijd. Met modellen als Hydrus 2D/3D kunnen er berekeningen worden gemaakt die laten zien hoe de hydrologie verandert over tijd. Hiermee kan er worden gekeken hoe dit overeenkomt met de waarnemingen bij overslagproeven.
- Laatstens word er aanbevolen om voorzichtig te zijn met uitspraken dat kruiden sterker zijn dan grassen gezien er geen verschil in bodemeigenschappen is gevonden tussen grassen en kruiden en gezien de lage erosiegevoeligheid voor een groot deel te wijten is aan het platliggen van grassen. Tevens is er juist waargenomen dat er meer turbulentie kan zijn rondom kruiden en houtige gewassen.

5. Referenties

- Barreto, M. S., Elzinga, E. J., Ramlogan, M., Rouf, A. A., & Alleoni, L. R. (2021). Calcium enhances adsorption and thermal stability of organic compounds on soil minerals. *Chemical Geology*, 559, 119804.
- Dexter, A. (2004). Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120(3-4), 201-214.
- Genuchten, M. T. (1980). A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Science of America Journal*, 44(5), 890-898.
- Hassink, J. (1994). EFFECTS OF SOIL TEXTURE AND GRASSLAND MANAGEMENT ON SOIL ORGANIC C AND N AND RATES OF C AND N MINERALIZATION. *Soil Ecol. Biochem.*, 26(9), 1221-1231.
- Oades, J. M. (1989). An Introduction to Organic Matter in Mineral Soils. In *Minerals in Soil Environments*.
- Rowley, M. C., Grand, S., & Verrecchia, É. P. (2018). Calcium-mediated stabilisation of soil organic carbon. *Biogeochemistry*, 137, 27-49.
- Tisdall, J. M., & Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33(2), 141-163.
- Weng, L. P., Koopal, L. K., Hiemstra, T., Meeussen, J. C., & Riemsdijk, W. H. (2005). Interactions of calcium and fulvic acid at the goethite-water interface. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(2), 325-339.

6. Appendix

6.1 Overzicht meetlocaties

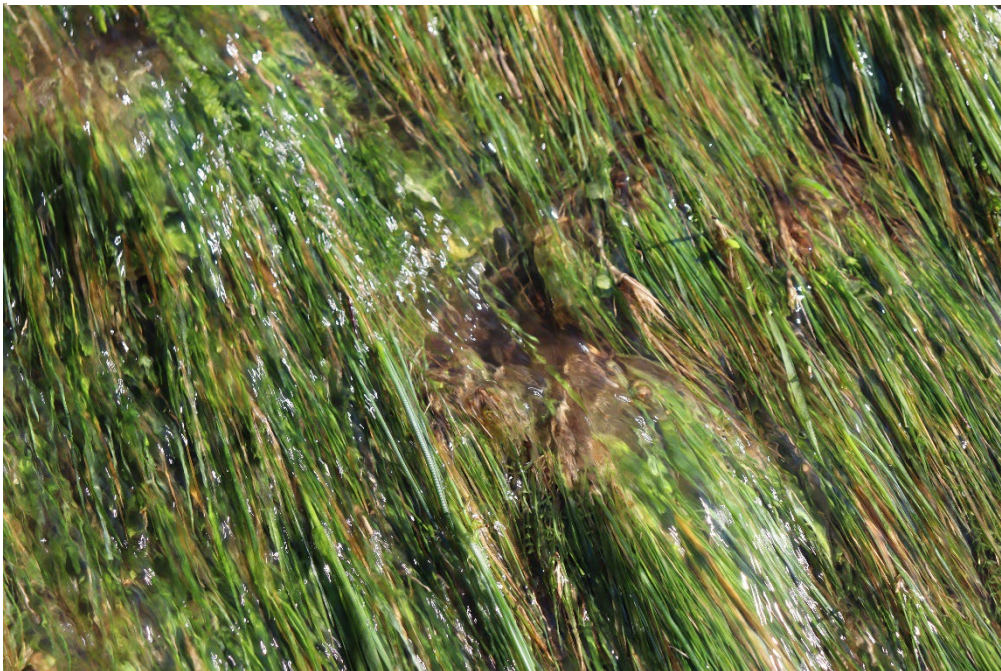
v	n	W s	Tab nr	Opn_na am	Dijkri ng	Dijkpa al	Talu d	X-coord	Y-coord	Ln gt	Br dt	Opp .	Ligg. pq (1)	Ligg. pq (2)	Exp os	Incl n	
Ws Aa en Maas	3	1	1	00121i2 2	36	121	bin	51.7159 22	5.9054 47	5,0	5,0	25,0			W	30	
			1	3	00305i2 2	36	305	bin	51.7644 09	5.7056 32	6,0	4,0	24,0			Z	30
			1	4	00362i2 2	36	362	bin	51.7878 32	5.6888 98	6,0	4,0	24,0			Z	30
Ws Brabantse Delta	4	2	11	P31140i 2	35	0	bin	51.6920 11	4.8330 59	6,0	4,0	24,0			O	30	
			2	12	P31141 u2	35	1	bui	51.6921 27	4.8328 55	6,0	4,0	24,0			W	30
			2	13	P41156i 2	35	6	bin	51.7129 73	4.9043 11	5,0	5,0	25,0			Z	30
			2	14	P41157 u2	35	7	bui	51.7132 50	4.9040 33	5,0	5,0	25,0			N	30
Ws Rivierenland	3	1	3	15	HA035i2 2	40	5	bin	51.8137 57	5.3828 37	5,0	5,0	25,0	35.06-11	1 m va fok	Z	30
			3	16	HA039i2 2	40	9	bin	51.8106 11	5.3798 36	5,0	5,0	25,0	39.18-23	1 m va fok	Z	30
			3	17	ND060u 22	41	0	bui	51.8695 08	5.7913 17	5,0	5,0	25,0		2 m va wok	O	30
			3	18	ND061i 22	41	1	bin	51.8699 85	5.7911 18	5,0	5,0	25,0		1 m va wok	Z	40
			3	19	ND061u 22	41	1	bui	51.8701 92	5.7911 34	5,0	5,0	25,0		4 m va wok	N	25
			3	23	ND088i 22	41	8	bin	51.8776 89	5.7553 46	5,0	5,0	25,0		1 m va wok	Z	30
			3	25	ND096i 22	41	6	bin	51.8782 34	5.7446 62	8,0	3,0	24,0		tegen kruin	Z	50
			3	26	ND112i 22	41	2	bin	51.8798 93	5.7248 65	5,0	5,0	25,0	111.92-97	1,5 m va wok	Z	30
			3	27	ND115i 22	41	5	bin	51.8810 14	5.7224 34	5,0	5,0	25,0		tegen kruin	Z	50
			3	28	ND115u 22	41	5	bui	51.8812 04	5.7222 17	5,0	5,0	25,0		1,5 m va wok	N	30
			3	30	ND242i 22	41	2	bin	51.8906 63	5.5635 55	5,0	5,0	25,0	241.93-98	1 m va wok	Z	35
			3	35	HD038u 22	41	8	bui	51.8387 87	5.4118 69	5,0	5,0	25,0		1,5 m va wok	Z	30
			3	36	HD039i2 2	41	9	bin	51.7624 39	5.8330 46	5,0	5,0	25,0		1,5 m va wok	N	30
			3	38	HD052u 22	41	2	bui	51.7589 39	5.8171 08	5,0	5,0	25,0		1,5 m va wok	ZO	30
			3	39	HD056u 22	41	6	bui	51.7581 65	5.8124 51	5,0	5,0	25,0	55.95- 56.00	1,5 m va wok	Z	30
			3	42	HD108i2 2	41	8	bin	51.7690 33	5.7536 04	5,0	5,0	25,0		3 m va wok	NN	30
			3	43	HD127u 22	41	7	bui	51.7690 10	5.7522 85	5,0	5,0	25,0		1,5 m va wok	Z	30
			3	44	HD150i2 2	41	0	bin	51.7822 53	5.7017 73	5,0	5,0	25,0	149.80-85	1,5 m va wok	O	30
			3	46	HD151u 22	41	1	bin	51.7833 61	5.7008 97	5,0	5,0	25,0	149.88-93	1,5 m va wok	W	30
			3	47	HD154i2 2	41	4	bin	51.7859 19	5.7021 75	5,0	5,0	25,0	154.30-35	tegen bovenraster	ZO	30
3	48	HD160i2 2	41	0	bin	51.7907 70	5.7032 96	5,0	5,0	25,0	159.87-92	2 m va wok	O	35			
3	49	HD223i2 2	41	3	bin	51.8184 18	5.6526 27	5,0	5,0	25,0	223.04-09	2 m va wok	O	30			
3	50	HD256i2 2	41	6	bin	51.8261 72	5.6157 99	5,0	5,0	25,0		2 m va wok	NO	30			
3	54	HD298i2 2	41	8	bin	51.8378 05	5.5681 51	5,0	5,0	25,0	297.88-93	1 m va wok	N	30			
3	55	HD354i2 2	41	4	bin	51.8206 43	5.5240 47	5,0	5,0	25,0	353.92-97	1 m va wok	N	30			
3	56	HD370i2 2	41	0	bin	51.8309 95	5.5102 83	5,0	5,0	25,0	369.90-95	1 m va wok	NO	30			
3	59	ME029u 22	42	9	bui	51.8680 39	6.0266 36	5,0	5,0	25,0		1 m va fok	NW	30			
3	62	EN054i2 2	42	4	bin	51.8679 36	5.9195 53	5,0	5,0	25,0		tegen kruin	ZW	40			
3	63	EN071i2 2	42	1	bin	51.8653 27	5.9018 82	5,0	5,0	25,0		tegen kruin	O	30			
3	64	EN071u 22	42	1	bui	51.8654 80	5.9017 39	5,0	5,0	25,0		tegen kruin	W	30			
3	65	EN075i2 2	42	5	bin	51.8618 91	5.9023 94	5,0	5,0	25,0		tegen kruin	O	30			
Ws Rijn en IJssel	8	4	69	48010i2 2	48	48010	bin	51.8475 45	6.1514 92	5,0	5,0	25,0	10.40-45	2 m va wok	N	30	
			4	70	48010u 22	48	48010	bui	51.8473 72	6.1518 08	5,0	5,0	25,0	10.05-10	2 m va wok	Z	30

	4	72	48016u 22	48	48016	bui	51.8511 41	6.1458 20	5.0 0	5.0 0	25.0 0	16.02-07	2 m va wok	ZW	30
	4	74	48024u 22	48	48024	bui	51.8521 72	6.1350 38	5.0 0	5.0 0	25.0 0	24.02-07	1,5 m va wok	Z	30
	4	75	48031u 22	48	48031	bui	51.8514 10	6.1248 51	5.0 0	5.0 0	25.0 0	31.04-09	1,5 m va wok	Z	30
	4	78	48140i2 2	48	48140	bin	51.8969 97	6.0272 66	5.0 0	5.0 0	25.0 0	140.58-63 (?)	1 m va wok	O	30
	4	80	48201u 22	48	48201	bui	51.9323 48	5.9703 79	5.0 0	5.0 0	25.0 0	200.92-97 (?)	1 m va wok	W	30
	4	83	50141i2 2	50	50141	bin	52.1606 40	6.2038 81	5.0 0	5.0 0	25.0 0		1 m va fok	Z	30
Ws Drents	5	5	53204u 22	53	53204	bui	52.3273 75	6.1004 44	5.0 0	5.0 0	25.0 0		tegen kruin	W	30
Overijsselse	5	93	53234u 22	53	53234	bui	52.3530 68	6.1069 20	5.0 0	5.0 0	25.0 0		tegen kruin	W	30
Delta	5	96	53434u 22	53	53434	bui	52.4894 08	6.0729 49	5.0 0	5.0 0	25.0 0		1,5 m va wok	ZW	30
	5	99	53450u 22	53	53450	bui	52.4987 28	6.0603 11	5.0 0	5.0 0	25.0 0		1 m va wok	ZW	30
	5	100	53456u 22	53	53456	bui	52.5008 43	6.0549 83	5.0 0	5.0 0	25.0 0		tegen kruin	ZW	30
Ws Vallei en	2	6	gd010u 22	45	gd010	bui	51.9624 38	5.6604 92	5.0 0	5.0 0	25.0 0	9.87-92	1,5 m va fok	Z	30
Veluwe	6	103	IJ00222	52	IJ002 22	bin	52.2964 14	6.0956 08	7.0 0	4.0 0	28.0 0		1 m va wok	W	35

6.2 Foto's na overslagproeven



Figuur 10: Bovenkant C-horizont na wegslaan toplaag locatie 46.



Figuur 11: Turbulentie om graspol tijdens golfoverslagproeven op locatie 48.



Figuur 12: Erosie bij de scheiding tussen asfalt en bodem na overslagproeven op locatie 48.



Figuur 13: Dakpaneffect van gras na overslagproeven op locatie 48.

