

de natuurlijke kennisbron

***Bodemkwaliteit en
klimaatadaptatie
onder grasland op het
Utrechtse zand***

*Nick van Eekeren
Jan Bokhorst*

LOUIS BOLK
I N S T I T U U T



© 2010 Louis Bolk Instituut

Bodemkwaliteit en klimaatadaptatie onder grasland op het

Utrechtse zand

Nick van Eekeren, Jan Bokhorst

Publicatienr 2010-031 LbD

Voorwoord

Het klimaat in Nederland verandert. Perioden met droogte en perioden met zeer veel neerslag komen vaker voor. Dit heeft gevolgen voor waterbeherende instanties en ook voor de landbouwers die een goede opbrengst willen verwezenlijken. De Provincie Utrecht heeft deze studie geïnitieerd en gefinancierd om te verkennen of maatregelen voor een duurzaam bodembeheer mogelijk interessant zijn voor klimaatadaptatie. Onze dank gaat uit naar Jos Geenen, Stef Roëll en Wytze Brandsma van de Provincie Utrecht voor het initiëren van deze studie, en de betrokken veehouders voor de medewerking die ze verleenden aan de uitvoering.

Nick van Eekeren

Jan Bokhorst

Driebergen november 2010

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doelstellingen	9
1.3 Afbakening	9
2 Materiaal en methode	11
2.1 Percelen	11
2.2 Chemische, fysische en biologische bodemanalyses	11
2.3 Statistische analyse	13
3 Resultaten	15
3.1 Onderscheidende bodemparameters voor droogteresistentie	15
3.1.1 Chemisch	15
3.1.2 Fysisch	15
3.1.3 Biologisch	16
3.1.4 Management	16
3.1.5 Samenvattend	17
3.2 Correlatie bodemparameters	17
3.2.1 Chemisch	17
3.2.2 Fysisch	19
3.2.3 Biologisch	19
3.2.4 Management	19
3.3 Case study	20
4 Discussie	21
4.1 Vochtlevering	21
4.1.1 Vocht in de wortelzone	21
4.1.2 Vocht via capillaire nalevering	23
4.2 Waterberging	25
4.2.1 Waterinfiltratie en weerstand	25
4.2.2 Macroporiën en regenwormen	25
4.2.3 Indirecte relatie tussen wormen/wortels en waterinfiltratie	25
4.3 Maatregelen	26
4.3.1 Verhogen organische stof	26
4.3.2 Verhogen grondwaterstand	29
4.3.3 Verdiepen beworteling	29
4.3.4 Verlagen indringingsweerstand en verbeteren bodemstructuur	30
4.3.5 Stimuleren of introduceren pendelaars	30

5	Conclusies en aanbevelingen	31
6	Referenties	33
	Bijlage 1: Bodemgegevens van de 20 percelen	35
	Bijlage 2: Correlaties	37
	Bijlage 3: Factoren en potentiële maatregelen die de beworteling van grasland beïnvloeden	39

Samenvatting

Het klimaat in Nederland verandert. De provincie Utrecht werkt aan duurzaam bodembeheer en wil in het kader van deze verandering inzicht krijgen over het effect van duurzaam bodembeheer op het vochtleverend en waterbergend vermogen van de bodem. Duurzaam bodembeheer is mogelijk interessant als klimaatadaptatiemaatregel voor de Utrechtse zandgebieden. Het project had een tweeledige doelstelling:

1. Inzicht krijgen over de relatie tussen chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit enerzijds en het vochtleverend en waterbergend vermogen anderzijds;
2. Opstellen van aanbevelingen voor optimalisatie van het bodem- en waterbeheer.

Deze studie richtte zich op melkveebedrijven in het Utrechtse deel van de Gelderse Vallei. Binnen het melkveebedrijf werd in eerste instantie de focus gelegd op grasland. Hiervoor zijn 20 percelen bemonsterd op 10 melkveebedrijven. Om eventuele verschillen in bodemkwaliteit van droogtegevoelige en droogteresistente percelen vast te leggen werd elke veehouder gevraagd een droogtegevoelig en droogteresistent perceel aan te wijzen. In mei 2010 zijn op de verschillende bedrijven grondmonsters genomen voor chemische, fysische en biologische bodemanalyses.

Droogteresistente percelen onderscheiden zich van droogtegevoelige percelen in een hoger lutumgehalte, een lager C/N-ratio, een hoger vochtpercentage, een dikkere donkere laag, een lagere indringingsweerstand, een betere visuele structuur en een intensievere en diepere beworteling. Het organische stofgehalte was gecorreleerd met het vochtpercentage van de bodem. Elke stijging van 1% organische stof in de laag 0-10 cm, betekent het extra vasthouden van 1,3 mm water of 13 m³ water ha⁻¹ in de laag 0-10 cm. De tijd voor infiltratie van 500 ml water was negatief gecorreleerd met de indringingsweerstand in de laag 0-10 cm. De indringingsweerstand was gecorreleerd aan wormenbiomassa en het percentage kruiden. De kruidenstructuur was weer gecorreleerd met de abundantie van wormen en wortels.

In de vergelijking van droogtegevoelige en droogteresistente percelen kwam organische stof niet naar voren als een onderscheidende parameters. Met name de afstand van de wortelzone en het grondwater lijkt het verschil in droogteresistentie te maken. De indringingsweerstand is een belangrijke parameter om de potentie van waterinfiltratie in te schatten. Ondanks dat er geen directe relatie kon worden aangetoond tussen regenwormen en waterinfiltratie lijkt er een indirecte relatie tussen wormen en wortels enerzijds, en waterinfiltratie en diepte van beworteling anderzijds. Hierbij lijkt de bodemstructuur en bodemweerstand een intermediaire rol te spelen

Maatregelen als verhogen van het organische stofgehalte, verbeteren van de beworteling en stimulering van de wormenactiviteit en/of introduceren van pendelende wormen grijpen op verschillende vlakken positief in op de verbetering van vochtlevering en waterberging. In combinatie met detail waterbeheer (o.a. stuwjes en peilgestuurde drainage) pakken deze maatregelen positief uit voor zowel landbouw als waterbeheer.

1 *Inleiding*

1.1 *Aanleiding*

Het klimaat in Nederland verandert. De laatste honderd jaar is de regenval in Nederland met 18% gestegen. De puntbelasting met regenval boven de 50 mm per keer lag in de jaren vijftig op 5,4 dagen per jaar. In de jaren '90 is dit gestegen naar 9 dagen per jaar (KNMI; Boxel and Cammeraat, 1999). Daarnaast worden de droogteperiodes in de zomer steeds langer.

De provincie Utrecht werkt aan duurzaam bodembeheer en wil daarbij onder meer inzicht krijgen op het effect van duurzaam bodembeheer op het vochtleverend en waterbergend vermogen van de bodem. Als mocht blijken dat duurzaam bodembeheer een sterk verbeterend effect heeft op het vochtleverend en waterbergend vermogen dan is duurzaam bodembeheer mogelijk interessant als klimaatadaptatiemaatregel voor de Utrechtse zandgebieden.

1.2 *Doelstellingen*

Het project heeft een tweeledige doelstelling:

1. Relatie leggen tussen chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit enerzijds en het vochtleverend en waterbergend vermogen anderzijds;
2. Opstellen van aanbevelingen voor optimalisatie van het bodembeheer.

1.3 *Afbakening*

Deze studie richt zich op melkveebedrijven in het Utrechtse deel van de Gelderse Vallei. Binnen het melkveebedrijf wordt in eerste instantie de focus gelegd op grasland. Zowel het vochtleverend en waterbergend vermogen van de percelen zijn bekeken maar de provincie heeft in een gesprek aangegeven dat deze studie met name gericht moet worden op de hogere percelen en de mate van droogteresistentie van deze percelen.

2 Materiaal en methode

2.1 Percelen

Om de relatie te leggen tussen bodemkwaliteit en het vochtleverend en waterbergend vermogen zijn 20 percelen bemonsterd op 10 melkveebedrijven in de Gelderse Vallei. 35 adressen van veehouders zijn aangeleverd door Lami-Utrecht en deze bestonden uit deelnemers van 5 bestaande melkveestudieclubs. 10 veehouders van deze adressenlijst zijn aselekt uitgekozen en gebeld voor deelname aan het onderzoek. Om eventuele verschillen in bodemkwaliteit van droogtegevoelige en droogteresistente percelen vast te leggen werd elke veehouder gevraagd een droogtegevoelig en droogteresistent perceel aan te wijzen. Hierbij werd de voorkeur gegeven aan percelen met vergelijkbare hoogteligging. Bij monsternamen is van elk perceel de leeftijd, het grasmengsel bij inzaai, het beheer (weiden en/of maaien) en de bemesting met de veehouder besproken.

2.2 Chemische, fysische en biologische bodemanalyses

Op 17, 20 en 26 mei 2010 zijn op de verschillende bedrijven grondmonsters genomen voor chemische, fysische en biologische bodemanalyses. De uitgevoerde bepalingen zijn weergegeven in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Onderzochte chemische, fysische en biologische bodemparameters

Parameter	Lagen (cm)	Eenheid
Vocht	0-10 cm	%
Organische stof	0-10 cm	%
C-totaal	0-10 cm	g C/100 g
N-totaal	0-10 cm	mg N/kg
pH	0-10 cm	
Lutum	0-10 cm	
Dikte donkere laag		cm
Diepte grondwaterstand		cm
Indringingsweerstand	0-10 cm	mPa
	10-20 cm	mPa
	20-30 cm	mPa
	30-40 cm	mPa
	40-50 cm	mPa
	50-60 cm	mPa
Macroporiën	0-10	# per 400 cm ²
	0-20	# per 400 cm ²
Bodemstructuur	0-10	%
Waterinfiltratie		minuten per 500 ml
Wortels	0-10	# per 400 cm ²
	0-20	# per 400 cm ²
Dikte graszode		cm
Maximale diepte wortels		cm
Regenwormen	0-20	# en g m ⁻²

Per perceel werd een veldje van 5 m bij 5 m afgemeten waarin de monsternamen werden uitgevoerd. Dit om verschillende bodemparameters beter aan elkaar te kunnen correleren. GPS-coördinaten van de veldjes zijn vastgelegd.

Per veldje werd een mengmonster van de bodemlaag 0-10 cm gestoken. In een zigzagpatroon over het veldje werden 50-70 steken genomen, samengevoegd, gemengd en gezeefd (<1 cm) en opgestuurd voor chemische analyse naar het BLGG. In een droogstoof (70 °C) is het vochtgehalte bepaald.

Met een penetrologger werd de indringingsweerstand per veldje gemeten op 10 plaatsen (zigzagpatroon). De conus van de penetrologger had een oppervlakte van 1 cm².



Meten van de indringingsweerstand met de penetrologger

De bodemstructuur werd per veldje beoordeeld door middel van een visuele score van twee bodemkluiten van 20 x 20 x 10 cm in drie klassen: % kruimels, % afgeronde elementen en % scherpblokkige elementen. Aan dezelfde twee kluiten werd het aantal macroporiën en wortels op 10 en 20 cm geteld. Van elke kluit is ook de dikte van de zode vastgesteld. De totale hoeveelheid grond van elke kluit werd verzameld en in het laboratorium onderzocht op regenwormen. De wormen zijn gewogen en gedetermineerd op soort.

Op drie plaatsen per veldje werd de waterinfiltratie gemeten. Hiervoor werd een PVC buis met een hoogte van 15 cm en een doorsnede van 15 cm, 10 cm in de grond geslagen. Bovenin de PVC buis werd 500 ml water gegoten, waarna de tijd werd vastgelegd met een stopwatch die nodig was om dit water volledig in de bodem te infiltreren.



Meten van de waterinfiltratie

Per veldje werd een profielkuil gegraven waarin de diepte van de donkere laag en de diepte van de beworteling werden bepaald. Met een grondboor werd in deze profielkuil de diepte van het grondwater vastgesteld.



Vaststellen van dikte donkere laag en diepte van beworteling

2.3 Statistische analyse

Verschillen tussen droogtegevoelige en droogteresistente percelen werden geanalyseerd met een variantieanalyse uit het statistische pakket Genstat 7.1. In deze variantieanalyse werden de 10 melkveebedrijven als blok meegenomen.

Om relaties tussen verschillende parameters vast te leggen werden de Pearson-correlaties berekend. Middels een Multi Dimensional Scaling (MDS) zijn deze correlaties in een diagram visueel gemaakt.

3 Resultaten

3.1 Onderscheidende bodemparameters voor droogteresistentie

Van de 20 percelen die op 10 bedrijven zijn bemonsterd worden in deze paragraaf de resultaten weergegeven van de bodemparameters op droogtegevoelige en droogteresistente percelen. Eerst worden de chemische bodemparameters besproken gevolgd door de fysische- en biologische parameters. De paragraaf eindigt met de bespreking van het graslandmanagement.

3.1.1 Chemisch

Er was een tendens tot een hoger vochtpercentage op het tijdstip van monsternamen op de droogteresistente percelen (Tabel 3.1). Organische stof, C-totaal, C-percentag, N-totaal en pH waren niet significant verschillend bij deze percelen. Het C/N-ratio van de organische stof was significant lager bij de droogteresistente percelen. Het lutumgehalte van de droogteresistente percelen was significant hoger. Dit suggereert dat deze percelen iets lemiger waren. Ook was er een tendens tot een dikkere donkere laag op de droogteresistente percelen. 40% van de droogteresistente percelen had een grondwaterstand dieper dan 120 cm. Op de andere percelen was de grondwaterstand niet significant verschillend tussen de droogtegevoelige en droogteresistente percelen.

Tabel 3.1 Chemische bodemparameters op droogtegevoelige en droogteresistente percelen

Chemische parameters	Droogtegevoelig	Droogteresistent	P-waarde
Vocht (%)	16.44	18.8	0.067
Organische stof (%)	5.79	5.65	NS
C-totaal (g C/100 g)	3.41	2.96	NS
C (%)	60.1	54.0	NS
N-totaal (mg N/kg)	2793	2632	NS
C/N ratio	12.25	11.29	0.032
Lutumgehalte	1.70	2.40	0.045
pH	5.16	5.23	NS
Dikte donkere laag (cm)	38	48	0.107
Diepte grondwater ¹⁾ (cm)	115	108	NS

¹⁾ Enkel het gemiddelde van de percelen met een grondwaterstand van ≤ 120 cm

3.1.2 Fysisch

De indringingsweerstand van de droogteresistente percelen was lager dan van de droogtegevoelige percelen (Tabel 3.2). In de laag 10-20 cm was hiervoor een tendens tot significantie. In de bodemlaag 20 tot 40 cm was dit verschil significant. Het aantal macroporiën op droogteresistente percelen was hoger dan op droogtegevoelige percelen maar het verschil was niet significant. De visuele beoordeling van de bodemstructuur was beter op droogteresistente percelen dan droogtegevoelige percelen. Het aantal minuten voor de infiltratie van 500 ml water was niet significant verschillend tussen de percelen.

Tabel 3.2 Fysische parameters op droogtegevoelige en droogteresistente percelen

Fysische parameters	Droogtegevoelig	Droogteresistent	P-waarde
Weerstand (MPa)			
0-10 cm	1.89	1.79	NS
10-20 cm	2.81	2.44	0.075
20-30 cm	3.09	2.57	0.023
30-40 cm	3.59	2.84	0.019
40-50 cm	3.83	3.28	NS
50-60 cm	4.02	3.65	NS
Macroporiën per 400 cm ²			
Op 10 cm	4.7	7.8	NS
Op 20 cm	3.3	6.2	NS
Structuur 0-10 cm			
Kruimel %	58.3	65.8	0.010
Afgerond %	13.8	13.6	NS
Scherpblokkig %	27.9	20.6	0.047
Water infiltratie (min. per 500 ml)	7.0	7.9	NS

3.1.3 Biologisch

Grootste verschillen tussen droogtegevoelige en droogteresistente percelen wat betreft biologische parameters werden gevonden in het aantal wortels op 10 cm diepte en de diepte van de beworteling (Tabel 3.3). Hoewel het aantal wormen onder droogteresistente percelen hoger was, was dit verschil niet significant door een hoge variatie. Twee kluiten per perceel zijn aan de lage kant om de variatie in wormenaantallen per perceel uit te middelen.

Tabel 3.3 Biologische bodemparameters op droogtegevoelige en droogteresistente percelen

Biologische parameters	Droogtegevoelig	Droogteresistent	P-waarde
Graswortels per 400 cm ²			
op 10 cm diepte	97	162	0.042
op 20 cm diepte	62	87	NS
Dikte graszode (cm)	4.1	4.6	NS
Maximale diepte wortels (cm)	37	48	0.101
Regenwormen			
Biomassa (g m ⁻²)	114	134	NS
Lichaamsgewicht (g worm ⁻¹)	0.39	0.34	NS
Totaal aantal (n m ⁻²)	294	450	NS
Aantal volwassenen (n m ⁻²)	112	178	NS
Aantal juvenile (n m ⁻²)	154	229	NS
Aantal rest (n m ⁻²)	28	44	NS

3.1.4 Management

Droogtegevoelige en droogteresistente percelen op hetzelfde bedrijf werden over het algemeen hetzelfde gemanaged wat betreft grasmengsel bij inzaai, beheer (weiden en/of maaien) en bemesting. Over het algemeen kan

over de keuze van het grasmengsel bij inzaai worden opgemerkt dat vaak een BG3 (100 % Engels raaigras diploïd) of BG12 (30-50 % Engels raaigras diploïd en 50-70% tetraploïd) werd genoemd. Hierbij werd specifiek het mengsel Havera of Havera 4 (Engels raaigras diploïd en tetraploïd, inclusief Timothee) vaak genoemd. Wat betreft beheer werd er op 60% van de percelen een gemengd maai- en weidebeheer toegepast. De andere percelen werden enkel gemaaid. Bemesting was op alle bedrijven een combinatie van drijfmest en kunstmest. Door de huidige geldende gebruiksnormen voor organische mest (250 kg N–totaal ha⁻¹ op grasland bij derogatie) en kunstmest (138 kg N ha⁻¹ voor een gemengd maai en weide beheer, en 170 kg N ha⁻¹ voor enkel maaien), was de bemesting op de meeste bedrijven vergelijkbaar.

Grootste en duidelijkste verschillen in management tussen de twee percelen op een bedrijf was de leeftijd van de graszode. Dit leidde echter niet tot significante verschillen bij de 10 bedrijven (Tabel 3.4). Wel kan worden opgemerkt dat de gemiddelde leeftijd van de graszode op de bemonsterde bedrijven hoog was. Voor de meeste bedrijven leek dit een bewuste keuze om de organische stof te behouden en dit was gedeeltelijk het resultaat van deelname aan cursussen over bodemgebruik in de verschillende studieclubs.

Tabel 3.4 Leeftijd op droogtegevoelige en droogteresistente percelen

	Droogtegevoelig	Droogteresistent	P-waarde
Leeftijd (jaar)	11.7	13.4	0.687

3.1.5 Samenvattend

Samenvattend kan worden gesteld dat droogteresistente percelen zich onderscheiden van droogtegevoelige percelen in een hoger lutumgehalte, een lager C/N-ratio, een hoger vochtpercentage, een dikkere donkere laag, een lagere indringingsweerstand, een betere visuele structuur en een intensievere en diepere beworteling. In management was er geen duidelijk onderscheid.

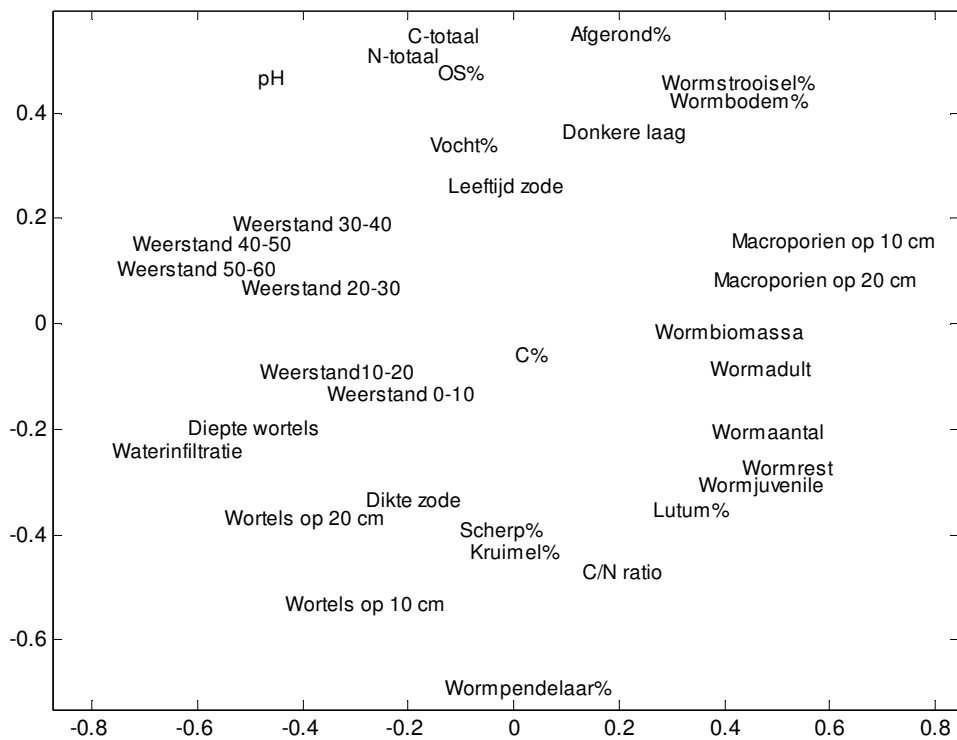
3.2 Correlatie bodemparameters

In deze paragraaf worden de correlaties besproken tussen de verschillende parameters gemeten op de 20 graslandpercelen. Alleen Pearson correlaties met een P-waarde ≤ 0.05 worden besproken. In Bijlage 1 zijn alle Pearson correlaties ≤ 0.01 weergegeven.

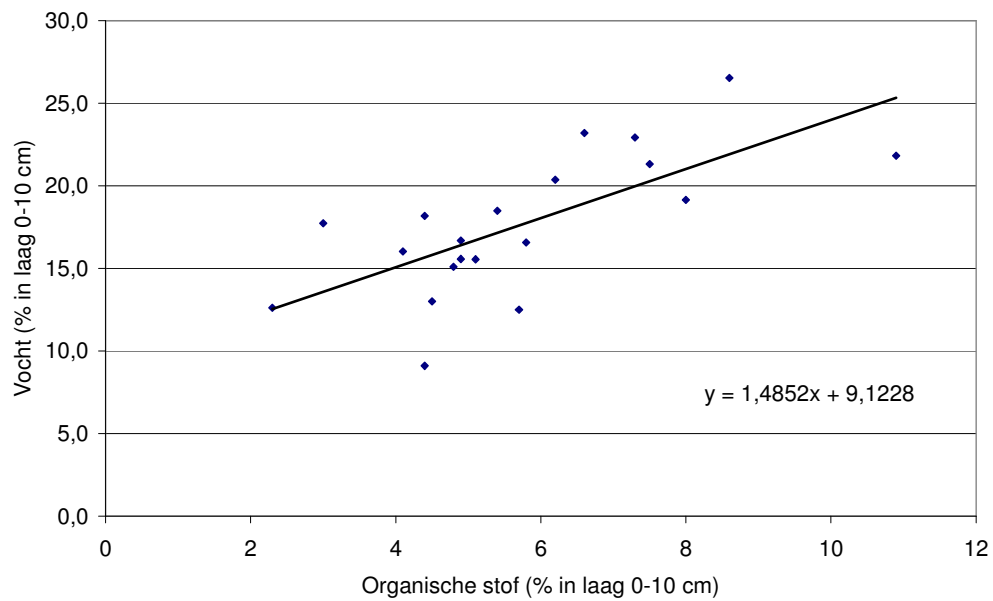
3.2.1 Chemisch

Logischerwijs is het organische stofgehalte in de bodem sterk gecorreleerd met de C-totaal en N-totaal ($r=+0,84$; $r=+0,82$) (Figuur 3.1). Het organische stofgehalte is ook gecorreleerd met het vochtpercentage van de bodem ($r=+0,70$) (Figuur 3.1 en Figuur 3.2) van de bodem. Elke stijging van 1% organische stof in de laag 0-10 cm, betekent 1,5% meer vocht in de laag 0-10 cm. Omdat de bodemdichtheid bij een hoger organische stof iets lager is, betekent dit op deze percelen omgerekend het extra vasthouden van 1,3 mm water of 13 m³ water ha⁻¹ in de laag 0-10 cm per % organische stof. Naast een positieve correlatie met het organische stofgehalte, is het vochtpercentage negatief gecorreleerd met de bodemweerstand ($r=-0,49$) in de laag 0-10 cm en positief gecorreleerd met de dikte van de graszode ($r=+0,7$).

Figuur 3.1 Multi Dimensional Scaling van de Pearson correlaties. Over het algemeen kan worden gesteld dat des te dichter parameters bij elkaar staan des te sterker deze gecorreleerd zijn.



Figuur 3.2 Relatie tussen organische stofgehalte in de laag 0-10 cm en het vochtpercentage.



Het lutumgehalte is negatief gecorreleerd met het C/N-ratio van de grond ($r=-0,59$) (zie ook Figuur 3.1). Hoewel de pH in de 20 percelen varieerde van 4,6 tot en met 6,1 was pH niet gecorreleerd met andere bodemparameters in deze dataset.

3.2.2 Fysisch

De indringingsweerstand over de verschillende bodemlagen waren sterk gecorreleerd (zie ook Figuur 3.1 en Bijlage 1). De indringingsweerstand in de laag 0-10 en 10-20 cm was gecorreleerd met wormenbiomassa ($r=-0,49$ en $r=-0,41$ respectievelijk) en het percentage kruimels ($r=-0,47$). Het percentage kruimels was positief gecorreleerd met wormenaantallen ($r=+0,52$), wormenbiomassa ($r=+0,45$) en het aantal wortels op 10 en 20 cm ($r=+0,63$ en $r=+0,62$ respectievelijk). Het percentage scherpblokkige elementen, de tegenpool van percentage kruimels, was negatief gecorreleerd met deze parameters. Het aantal macroporiën was positief gecorreleerd met het lutumgehalte ($r=+0,45$ voor de macroporiën op 10 cm diepte) en wormenbiomassa ($r=+0,56$ voor de macroporiën op 20 cm diepte). De tijd voor 500 ml water om te infiltreren was negatief gecorreleerd met de bewortelingsdiepte ($r=-0,69$) en positief gecorreleerd met de indringingsweerstand in de laag 0-10 cm ($r=+0,55$).

3.2.3 Biologisch

Het aantal wortels op 10 en 20 cm was positief gecorreleerd met de bodemstructuur (positief met het percentage kruimels ($r=+0,63$ en $r=+0,62$ respectievelijk) en negatief met het percentage scherpblokkige elementen ($r=-0,66$ en $-0,49$ respectievelijk) (zie ook Figuur 3.1 en Bijlage 1). Daarnaast was het aantal wortels op 20 cm negatief gecorreleerd met de bodemweerstand in de laag 10-20 cm ($r=-0,52$), 20-30 cm ($r=-0,48$), 30-40 cm ($r=-0,62$), 40-50 cm ($r=-0,49$), maar positief met de dikte van de zwarte laag ($r=+0,44$). Het aantal wortels op 10 cm was positief gecorreleerd met de maximale diepte van de beworteling ($r=+0,6$). De maximale diepte van beworteling was negatief gecorreleerd met het percentage scherpblokkige elementen ($r=-0,61$) en de bodemweerstand in de laag 40-50 cm ($r=-0,58$).

Het aantal wormen was positief gecorreleerd met het lutumgehalte ($r=+0,55$) en in mindere mate negatief gecorreleerd met het C/N-ratio (NS). Deze correlaties waren het sterkste voor het aantal juveniele regenwormen, ($r=+0,56$ met lutumgehalte en $r=-0,49$ voor C/N ratio). Door het lagere gewicht van juveniele regenwormen waren er ook correlaties met het lichaamsgewicht van wormen ($r=-0,5$ met lutumgehalte en $r=+0,58$ voor C/N ratio). Het percentage strooiselbewoners was negatief gecorreleerd met het percentage bodembewonende regenwormen ($r=-1,0$). Wormenaantallen en wormenbiomassa waren positief gecorreleerd met het percentage kruimels ($r=+0,52$ en $r=+0,45$ respectievelijk). De wormenbiomassa correleerde ook negatief met de indringingsweerstand in de laag 0-10 cm ($r=-0,49$) en 10-20 cm ($r=-0,41$).

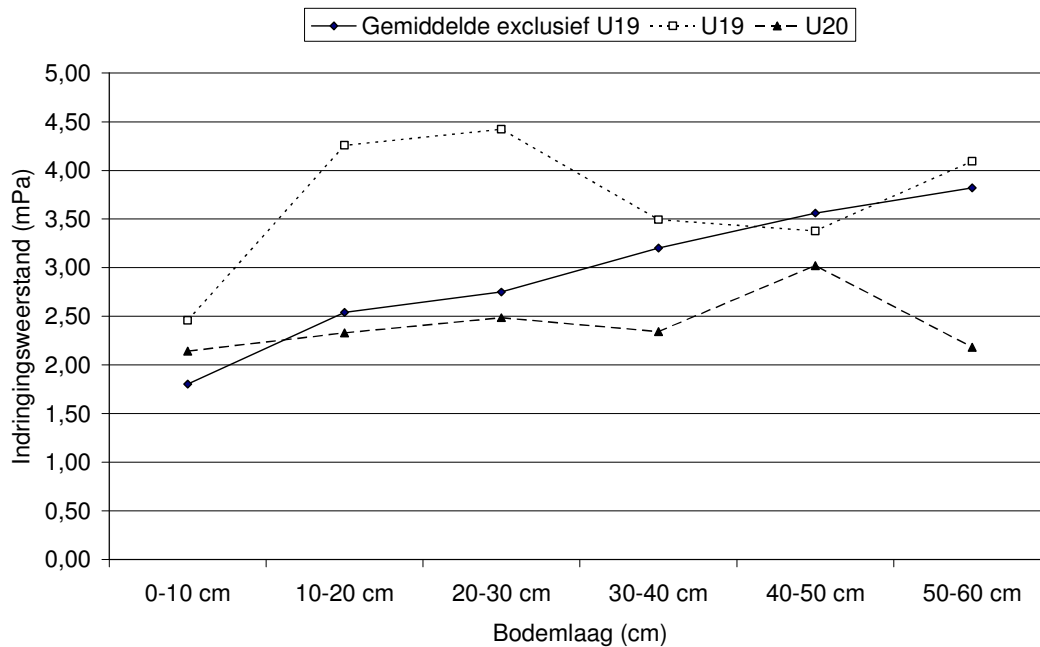
3.2.4 Management

Het gehalte aan organische stof en N-totaal waren positief gecorreleerd aan de leeftijd van de graszode ($r=+0,56$; $r=+0,59$). Een hoge leeftijd van de graszode was ook gecorreleerd met een diepere beworteling ($r=+0,66$)

3.3 Case study

Van de 20 percelen viel perceel U19 op vanwege de zwaar verdichte laag 10-30 cm in vergelijking tot het gemiddelde van de andere 19 percelen en het andere perceel op hetzelfde bedrijf (U20) (Figuur 3.3). Bij navraag bleek er in het verleden grond op dit perceel te zijn gebracht. Deze verdichting is er met grote zekerheid de oorzaak van dat dit perceel in de winter vaak te nat is (geen waterinfiltratie naar diepere lagen) en in de zomer juist te droog (geen aansluiting van wortels met diepere bodemlagen). Dit was echter alleen zichtbaar uit de resultaten van de indringingsweerstand. Op andere parameters, waaronder waterinfiltratie en aantal wortels op 10 en 20 cm, was dit perceel niet sterk afwijkend van U20. Alleen het C% van de organische stof was met 88% zeer hoog (gemiddelde van 19 percelen 55%), wat kan wijzen op zeer stabiele humus die is meegekomen met de opgebrachte grond.

Figuur 3.3 Indringingsweerstand op perceel U19 in vergelijking tot het gemiddelde van de andere 19 percelen en het andere perceel op hetzelfde bedrijf (U20)



Verdichting op 10-30 cm door opbrengen grond

4 *Discussie*

4.1 *Vochtlevering*

4.1.1 *Vocht in de wortelzone*

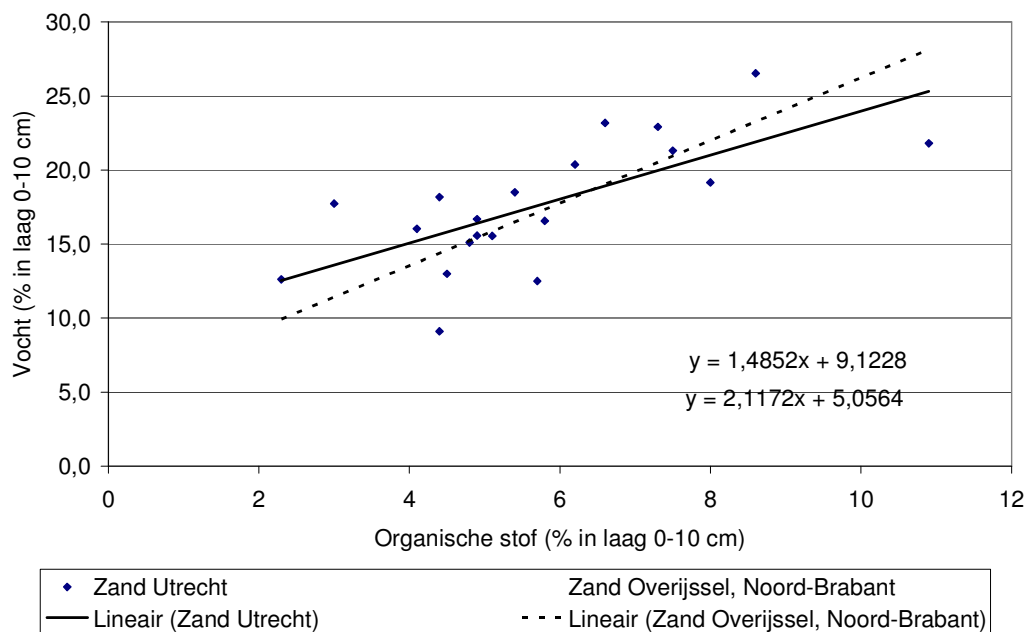
Water wordt in de bodem vastgehouden in de kleinere poriën. Des te meer klei en des te meer organische stof een bodem bevat des te meer kleinere poriën deze bevat waarin vocht kan worden vastgehouden (poriën van 0,3 – 30 μ). De mate waarin grond vocht kan vasthouden hangt dus af van het materiaal waaruit de bodem bestaat. Op basis van het aandeel zand, lutum, klei en organische stof en de bodemdichtheid, kan de waterretentie van een bodem worden ingeschat (Gupta en Larson, 1979). Humusarme grofzandige zandgronden en humusrijke fijnzandige of lemige zandgronden zijn elkaars tegenpolen wat betreft vochtvasthoudend vermogen.

In onderzoek op zandgronden in Overijssel en Noord-Brabant was het vochtpercentage gecorreleerd aan het aandeel klei, lutum en leem gemeten door het laboratorium van WUR (van Eekeren et al., 2010). In deze studie in Utrecht was er geen correlatie van het vochtgehalte en het lutumgehalte, nu gemeten door het BLGG. Mogelijk is hier het verschil van meetmethode een verklaring. Wel was het lutumgehalte hoger in de vergelijking van droogtegevoelige en droogteresistente percelen.

Bodemdichtheid is in deze studie niet gemeten omdat uit ander onderzoek op zandgrond is gebleken dat het sterk gecorreleerd is met het organische stofgehalte (van Eekeren en Bokhorst, 2009; van Eekeren et al., 2010).

In de huidige studie was er een sterke correlatie tussen het vochtpercentage en de organische stof ($r=+0,70$). Een vergelijkbare correlatie werd gevonden in een onderzoek in Overijssel en Noord-Brabant ($r=+0,63$; van Eekeren et al., 2010). De lijnen in beide studies liggen in een vergelijkbare range van organische stof en vochtpercentage, alleen was de lijn in de studie over Overijssel en Noord-Brabant iets steiler (Figuur 4.1). Het vochtpercentage stijgt in Utrecht met 1,5% per % organische stof in het andere onderzoek met 2,1%. Gecorrigeerd voor bodemdichtheid betekent dit per % organische stof, 1,3 mm water of 13 m³ water aanwezig ha⁻¹ in de laag 0-10 cm in Utrecht, en 2,2 mm water of 22 m³ water aanwezig ha⁻¹ in de laag 0-10 cm in Overijssel en Noord-Brabant. In zowel Utrecht als het onderzoek in Overijssel en Noord-Brabant werd de monsternamen tussen eind april en eind mei voorafgegaan aan een periode zonder regen. Hierdoor waren de monsters niet op veldcapaciteit en zouden deze cijfers in een andere periode hoger of lager kunnen uitvallen. Janssen (in Locher en Bakker, 1991) geeft als vuistregel dat het vochtbindende vermogen toeneemt met 1-8 liter water per kg organische stof. Omgerekend voor de laag 0-10 cm zou dit zijn 1,3-10,6 mm extra water vasthouden per % organische stof. Dit is het extra vasthouden van water, dit betekent niet dat dit water allemaal beschikbaar is voor de plant. Hoewel, op zandgronden stijgt, bij een toename van het organische stofgehalte, het vochtgehalte bij het verwelkingspunt minder dan bij dat bij veldcapaciteit (Janssen in Bakker en Locher, 1991). Dus bij een hoger organische stofgehalte is er relatief meer water beschikbaar voor de plant.

Figuur 4.1 Relatie tussen organische stofgehalte in de laag 0-10 cm en het vochtpercentage in de laag 0-10 cm in Utrecht en een onderzoek in Overijssel en Noord-Brabant (van Eekeren et al., 2010).



Illustratief voor het effect van organische stofgehalte op de vochtvoorziening is een studie van de Kok en Alblas (1996) op kalkrijke, lichte zavelgrond. In deze proef resulteerde de bemesting van in totaal 2400 ton tuinturf ha⁻¹ in een organische stofstijging van 3,7% in de laag 0-30 cm. Hiermee nam het totale beschikbare vocht (pF 2,0-4,2) in de laag 0-30 cm toe met 270 m³ water ha⁻¹ en het makkelijk beschikbaar vocht (pF 2,0-2,7) met 57 m³ water ha⁻¹. Uiteindelijk betekende deze stijging in organische stofgehalte dat er met een gewasverdamping van 3 mm of 30 m³ ha⁻¹ dag⁻¹, 2 dagen later berekend moest worden en dat het theoretische verwelkingspunt van een gewas 9 dagen later bereikt werd (de Kok en Alblas, 1996). Hoewel dit hoge cijfers zijn betekent dit omgerekend naar een bodemlaag van 10 cm, 24,3 m³ of 2,4 mm totaal beschikbaar vocht en 5,1 m³ of 0,5 mm makkelijk beschikbaar vocht ha⁻¹ per % organische stof respectievelijk. Er van uitgaande dat het totaal beschikbaar vocht beschikbaar is voor het gras betekent dit met een waterverbruik van Engels raaigras van 350 liter kg⁻¹ ds (van der Schans en Stienezen in van der Schans 1998), 57 kg ds grasgroei per % organische stof in de laag 0-10 cm. Afhankelijk van het stikstofbemestingsniveau en het groeistadium, groeit gras in het seizoen van 0 tot maximaal 150-200 kg ds ha⁻¹ dag⁻¹. Theoretisch kan gras dus minder dan een dag groeien op het vocht beschikbaar uit 1% organische stof in een bodemlaag van 10 cm. Nogmaals; hierbij wordt er vanuit gegaan dat al dit vocht beschikbaar is voor het gras en het verwelkingspunt nog niet is bereikt.

In de vergelijking van droogtegevoelige en droogteresistente percelen kwam organische stof niet naar voren als een onderscheidende parameters. Uit het bovenstaande wordt ook duidelijk dat verbetering van de vochtvoorziening door organische stofverhoging pas zichtbare effecten laat zien bij grote verschillen in organische stof.

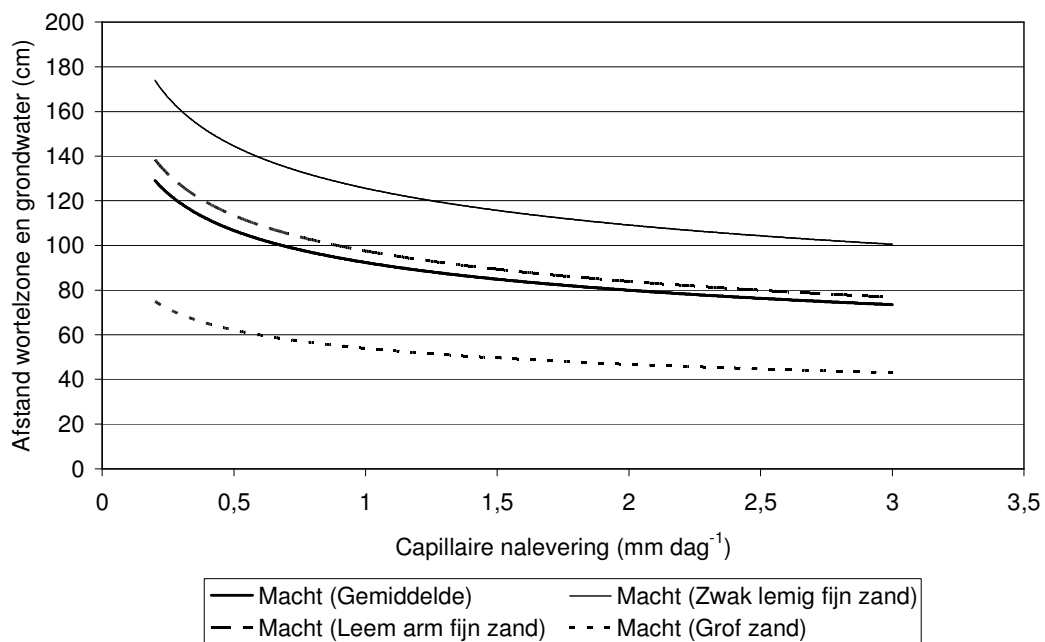
4.1.2 Vocht via capillaire nalevering

Of gronden gevoelig zijn voor droogte hangt af van:

- De mate waarin het profiel vocht kan vasthouden (Paragraaf 4.1.1);
- De diepte van het grondwater, met name in periode met hoge verdamping;
- De diepte waarop wortels door kunnen dringen.

De laatste twee zijn gerelateerd. Vanuit het grondwater wordt door capillaire werking water naar boven getransporteerd. Hoe dieper de wortels zitten hoe dieper deze grondwater kunnen benutten. Ruwweg kan op zandgrond de capillaire nalevering 80 cm tussen het grondwater en de diepste wortelzone overbruggen met een vochtlevering van 2 mm dag⁻¹ (zie figuur 4.2). Met name het traject tussen 3 mm of 1 mm nalevering dag⁻¹ is interessant. Het 20 cm verschil tussen 73 en 93 cm afstand van de wortelzone en het grondwater maakt een verschil in grasgroei van 86 en 29 kg ds ha⁻¹ dag⁻¹ mogelijk

Figuur 4.2 Benadering van de capillaire nalevering uit het grondwater voor verschillenden zandgronden (naar gegevens Stiboka/ICW Staringreeks 1987)



In deze studie zat het grondwater op het tijdstip van monsternamen op 40% van de percelen dieper dan 120 cm. Op de andere 60% van de percelen varieerde dit tussen de 95 cm en 120 cm, waarbij de droogtegevoelige percelen van deze 60% van de percelen gemiddeld genomen een 7 cm diepere grondwaterstand hadden (niet significant). Op percelen waar water in de sloten komt kan het plaatsen van stuwtjes mogelijk de grondwaterstand beïnvloeden.

Naast verhogen van grondwaterpeil door stuwtjes lijkt het beïnvloeden van de diepte van wortels een belangrijk aspect van percelen droogteresistenten maken. Op de droogteresistente percelen was er een trend tot een 10 cm diepere beworteling. Ook was het aantal wortels op 10 cm diepte significant hoger. Aangezien het aantal wortels op

10 en 20 cm positief was gecorreleerd met een goede bodemstructuur en het aantal wortels op 20 cm met een lage indringingsweerstand, wordt dit mogelijk veroorzaakt door de betere bodemstructuur en een lagere indringingsweerstand. De maximale diepte van beworteling was negatief gecorreleerd met een slechte bodemstructuur en een hoge indringingsweerstand in diepere bodemlagen. In het onderzoek in Overijssel en Noord-Brabant had de dikte van de donkere laag ook nog invloed op de diepte van beworteling (van Eekeren en Bokhorst, 2009). Dit werd echter in dit onderzoek niet gevonden.

Tabel 4.1 Verschil in nalevering op droogtegevoelige en droogteresistente percelen op het tijdstip van bemonsteren

	Droogtegevoelig	Droogteresistent
Grondwaterstand ¹⁾	115 cm	108 cm
Diepste beworteling	38 cm	54 cm
Afstand	77 cm	54 cm
Nalevering	2,4 mm	3 mm +??
Grasgroei op nalevering	69 kg ds dag	86 kg ds dag
Tijdspad nalevering	Stopt bijna	Loopt door

¹⁾Alleen het gemiddelde van de percelen met een grondwaterstand ≤ 120 cm



Droogtegevoelig

Droogteresistent

4.2 Waterberging

4.2.1 Waterinfiltratie en weerstand

De tijd waarin 500 ml water infiltreerde was positief gecorreleerd met de indringingsweerstand in de laag 0-10 cm ($r=+0,55$). Oftewel een hogere weerstand gaf een tragere infiltratie van het water. Ook bij onderzoek uitgevoerd in Overijssel en Noord-Brabant werd een dergelijke correlatie gevonden met de indringingsweerstand in de laag 10-20 cm (van Eekeren et al., 2010). De indringingsweerstand lijkt daarmee een belangrijke parameter om de potentie van waterinfiltratie in te schatten.

Tussen de droogteresistente en droogtegevoelige percelen was er geen verschil in waterinfiltratie. Theoretisch hoeft een droogtegevoelig perceel ook niet minder snel water te infiltreren. Een perceel met een hoge indringingsweerstand kan in de winter te nat zijn door een suboptimale waterinfiltratie, terwijl het perceel in de zomer te droog is door een slechte beworteling. Illustratief hiervoor was perceel U19 (zie Paragraaf 3.3).

De maximale diepte van de beworteling was negatief gecorreleerd aan waterinfiltratie. Mogelijk speelt de indringingsweerstand een verbindende rol tussen deze parameters, aangezien een hogere indringingsweerstand de diepte van de beworteling beperkt en de tijd voor waterinfiltratie laat toenemen.

4.2.2 Macroporiën en regenwormen

In deze studie werd een correlatie gevonden tussen wormenbiomassa en het aantal macroporiën op 20 cm. Een vergelijkbare correlatie werd gevonden in een vruchtwisselingproef in Gent (van Eekeren et al., 2008). Binnen deze 20 graslandpercelen leek het aantal wormen hoger op percelen met een hoger lutumgehalte en een lager C/N ratio van de organische stof, waarbij beide bodemparameters waren gecorreleerd. Het is algemeen bekend dat meer wormen worden gevonden op kleigronden dan op zandgronden en Rutgers et al. (2010) vonden in het lutumgehalte ook een belangrijke voorspeller van wormenaantallen. Er werd geen correlatie gevonden tussen het management op deze 20 graslandpercelen en de abundantie van wormen of soortensamenstelling.

In experimenten met behandelingen met en zonder regenwormen werd een duidelijke relatie gevonden tussen de abundantie van regenwormen en/of macroporiën en waterinfiltratie (Hoogerkamp et al., 1983; Joschko et al., 1989; Clements et al., 1991). In deze studie werden geen van deze relaties aangetoond. Mogelijk kan deze relatie alleen worden aangetoond in proeven waar regenwormen experimenteel worden gemanipuleerd want in de studie in Overijssel en Noord-Brabant werd een dergelijke relatie ook niet gevonden (van Eekeren et al., 2010a). Een andere mogelijke verklaring is de afwezigheid of het niet meten van pendelende wormen in 95% van de monsters over de laag 0-20 cm. Deze ecologische wormengroep staat bekend om hun positieve effect op waterinfiltratie (Bouché en Al-Addan, 1997).

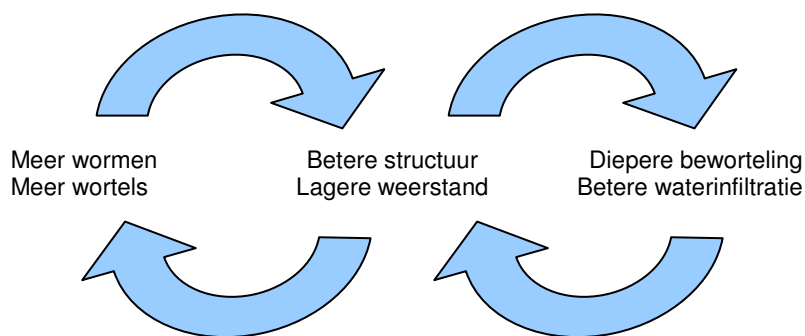
4.2.3 Indirecte relatie tussen wormen/wortels en waterinfiltratie

Ondanks dat er geen directe relatie kan worden aangetoond tussen regenwormen en waterinfiltratie lijkt er een indirecte relatie tussen wormen en wortels enerzijds, en waterinfiltratie en diepte van beworteling anderzijds. Hierbij

lijkt de bodemstructuur en bodemweerstand een intermediaire rol te spelen (zie ook MDS figuur 3.1). Dit geheel is schematisch weergegeven in figuur 4.3. Deze indirecte relatie wordt onderschreven door de volgende bevindingen in deze studie en de literatuur:

- In deze studie was het aantal wortels op 10 en 20 cm en de abundantie van regenwormen positief gecorreleerd met het percentage kruimels en negatief met het percentage scherpblokkige elementen. Ook door Carter et al. (1994) en Humphreys et al. (2010) werd een link gelegd tussen beworteling van grassen en positieve effecten op bodemstructuur. Humphreys et al. (2010) relateerde dit positieve effect van beworteling op structuur ook weer aan een verhoogde waterinfiltratie.
- In de huidige studie was de wormenbiomassa positief gecorreleerd met de kruimelstructuur en negatief met de indringingsweerstand in de laag 0-10 cm en 10-20 cm. Dit werd ook gevonden door Hoogerkamp et al (1983) en Clements et al. (1991).

Figuur 4.3 De indirecte relatie tussen meer wormen en wortels enerzijds en een betere waterinfiltratie anderzijds. Regenwormen en wortels verbeteren de bodemstructuur en maken de grond losser. De lossere grond geeft een diepere beworteling en een betere waterinfiltratie.



4.3 Maatregelen

In deze paragraaf worden drie hoofdmaatregelen besproken die het vochtleverend vermogen van de bodem zouden kunnen verbeteren:

1. Verhogen organische stof
2. Verhogen grondwaterstand
3. Verdiepen beworteling

Twee maatregelen zouden het waterbergend vermogen van de bodem kunnen beïnvloeden:

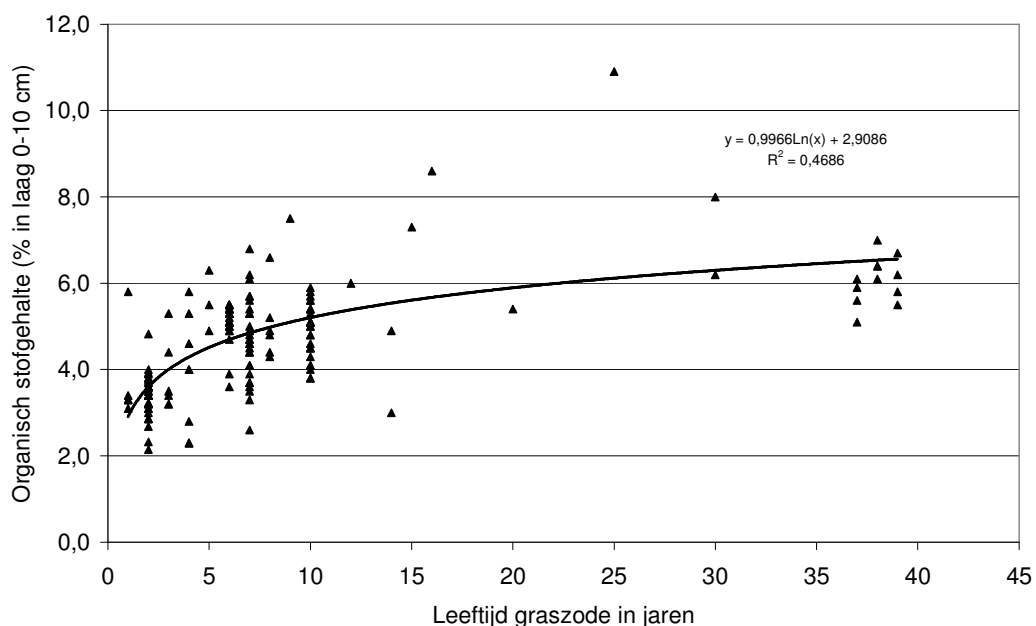
4. Indringingsweerstand verlagen en bodemstructuur verbeteren
5. Stimuleren of introduceren pendelaars

4.3.1 Verhogen organische stof

Het organische stofgehalte in de bodem is een resultaat van de jaarlijkse afbraak en aanvoer van organische stof. Afbraak wordt gestimuleerd door grondbewerking doordat de organische stof beter beschikbaar wordt voor het bodemleven en er meer lucht in de grond komt. Daarnaast wordt er meer organische stof afgebroken als grond beter

ontwaterd is waardoor de temperatuur van de bodem sneller stijgt en er meer lucht in de bodem kan zijn. Ook wordt het bodemleven, en daarmee de afbraak, gestimuleerd door een hogere pH. Voor een goede gewasgroei is een zekere mate van afbraak gewenst maar is het voor de duurzaamheid van het systeem belangrijk om dit in evenwicht te brengen met de aanvoer. Een belangrijke maatregel om de afbraak van organische stof in evenwicht te brengen is de grondbewerking te minimaliseren. Voor grasland kan dit door de frequentie van graslandvernieuwing te reduceren. Graslandvernieuwing vindt voornamelijk plaats na een verslechtering van de botanische samenstelling. Een goede botanische samenstelling wordt behouden door een optimaal graslandbeheer waaronder een goede vochtvoorziening. Juist percelen met een hoger organische stofgehalte en daarmee een hoog vochthoudend vermogen hoeven daarmee minder frequent vernieuwd te worden dan een grasland met een laag organische stofgehalte. Hiermee kan frequent vernieuwen van grasland zichzelf ook in de hand werken door een verlaging van het organische stofgehalte. In deze studie kwam dit duidelijk naar voren. Er is een sterke correlatie tussen de leeftijd van het grasland (tijd zonder ploegen) en het organische stofgehalte. Ook ander onderzoek laat dit zien. Wordt de leeftijd van grasland van verschillende graslandproeven op dekzand uitgezet tegen het organische stofgehalte dan blijkt dat het maximum organische stofgehalte onder graslanden op dekzand na verloop van tijd rond de 6-7% afvlakt (0-10 cm) (figuur 4.4, o.a. van Eekeren en Bokhorst, 2009).

Figuur 4.4 Relatie tussen leeftijd van graszode en het organische stofgehalte in de laag 0-10 cm



In een proef aan de Universiteit van Gent was het organische stofgehalte na 37-39 jaar grasland gemiddeld 6,1% in de laag 0-10 cm, en 2,1 % (0-10 cm) voor continu bouwland met grondbewerking (van Eekeren et al., 2008).

Mogelijk kan ook door het minimaliseren van de grondbewerking op percelen met continu maïsteelt het organische stofgehalte omhoog worden gebracht. Een meta-analyse van Six et al. (2002) toont aan dat met niet kerende grondbewerking het organische stofgehalte met 325 kg C per ha per jaar toeneemt, waarbij het organische stofgehalte zich meer aan de oppervlakte concentreert. Naast niet kerende grondbewerking met een woeler en/of cultivator wordt ook gewerkt aan technieken om maïs direct te zaaien zonder grondbewerking (Prins et al., 2008)..

Meerjarig gras heeft de hoogste aanvoer van effectieve organische stof (organische stof die na een jaar nog aanwezig is) (zie Tabel 4.1). Een belangrijke maatregel om het organische stofgehalte te verhogen is dan ook het areaal grasland op een bedrijf verhogen. Middels het verbinden van minimaal 70% grasland aan de derogatie op melkveebedrijven heeft er over het algemeen al een verhoging van het areaal grasland op melkveebedrijven plaatsgevonden.

Tabel 4.1 Aanvoer van effectieve organische stof met gewassen (www.nmi-agro.nl)

Gewas	Effectieve organische stof (kg per ha)
Gras 1 jaar oud	875
Gras 2 jaar oud	2275
Gras 3 jaar oud	3675
Snijmaïs wortels	525
Aardappelen	875
Tarwe stoppels en stro	2550

De aanvoer van organische stof met snijmaïs is relatief laag (Tabel 4.1). Door maïs te telen voor MKS (Maïs Kolven Schroot) of korrelmaïs blijven meer gewasresten op het land. Uit een modelberekening met NDICEA blijkt dat het mogelijk is om met de teelt van korrelmaïs het organische stofgehalte in de laag 0-30 cm op peil te houden, in tegenstelling tot de teelt van snijmaïs (Deru et al., 2010b).

De kwantiteit van de organische mest die aangewend mag worden wordt begrensd door de gebruiksnormen. Middels de keuze van mestsoort kan nog invloed worden uitgeoefend op de aanvoer van effectieve organische stof via organische mest. In Tabel 4.2 wordt dit voor enkele mestsoorten geïllustreerd.

Tabel 4.2 Effectieve organische stof in verschillende mestsoorten (www.nmi-agro.nl)

Mestsoort	Effectieve organische stof (kg per ton product)
Drijfmest rundvee	33
Drijfmest varkens	20
Vaste mest rundvee	77
Vaste mest vleeskuikens	183
Champost	89
GFT-compost	183

Hoewel voor groenbemesters als bladrogge en Italiaans raaigras nog 432-612 kg effectieve organische stof per ha wordt gerekend blijken groenbemesters in een 15-jraing experiment op Proefboerderij Aver Heino niets toe te voegen

aan de organische stof opbouw (van Schooten et al., 2006). Ook in modelberekeningen met NDICEA voegt de teelt van een groenbemester in een continue teelt van snijmaïs weinig toe aan de organische stof opbouw (Deru et al., 2010b). Schijnbaar wordt de organische stof en de 20-40 kg stikstof die wordt vastlegt in een groenbemester weer snel afgebroken en komt deze stikstof meteen weer beschikbaar in het volggewas.

4.3.2 *Verhogen grondwaterstand*

Voor het verhogen van de capillaire nalevering is het belangrijk dat de grondwaterstand zo lang mogelijk op peil blijft in het groeiseizoen. Door het plaatsen van stuwen, het ophogen van de slootbodems en dempen van greppels, kan het water langer in het gebied worden vastgehouden. Hierdoor heeft het meer tijd om weg te zakken in de grond en een hoger grondwaterpeil te realiseren. Verschillende berekeningen geven aan dat doormiddel van stuwtdjes het grondwaterpeil met 5 cm kan stijgen (Peerboom, persoonlijke communicatie). Veehouders in Noord-Brabant geven aan dat zolang er voldoende water in de sloten is, het plaatsen van stuwtdjes de noodzaak voor beregenen 7 tot 10 dagen kan uitstellen (Nauta, 2009). Hiermee is het plaatsen van stuwtdjes een zeer effectieve maatregel in het kader van droogtebeheersing. Hiervoor moet er echter wel water zijn. Probleem is vaak dat op zeer droogtegevoelige bedrijven sowieso weinig water in de sloten terecht komt.

Met nieuwe drainage technieken kan net als met stuwtdjes regenwater beter worden vastgehouden. Met peilgestuurde drainage monden de drainagebuizen niet uit in de sloot maar in een verzameldrain. Hiermee kan de hoogte van het grondwater worden ingesteld. Hiermee kan in het voorjaar het peil worden verlaagd zodat het land vroeger begaanbaar is met machines en de bodemtemperatuur sneller stijgt waardoor de gewasproductie vroeger op gang komt. Na het zaaien kan het peil weer worden verhoogd zodat er meer water beschikbaar is voor het gewas. In dit systeem kan ook een surplus aan water worden opgevangen en op hogere gelegen gronden worden geïnfiltreerd. Er lopen verschillende onderzoeken naar dit systeem. Ervaringen van veehouders die het systeem hebben aangelegd geven aan dat ze op laag gelegen percelen het groeiseizoen kunnen verlengen en dat op hoger gelegen percelen de droogteproblemen pas later in het seizoen inzetten.

4.3.3 *Verdiepen beworteling*

Naast grondwaterstand op peil houden kan de capillaire nalevering worden vergroot door een diepere beworteling. In plaats van grondwater naar de wortels te brengen, worden de wortels naar het grondwater gebracht en kunnen uit een diepere bodemlaag water onttrekken. In deze studie was de diepte van de beworteling gecorreleerd met de indringingsweerstand. Voorkomen en opheffen van verdichting is daarmee een belangrijke maatregel (zie paragraaf 4.3.4). Een andere maatregel kan zijn gewaskeuze. Rietzwenkgras staat er bijvoorbeeld bekend dat er meer wortels de diepte ingaan dan bij Engels raaigras (van der Schans, 1998). Maar ook rode klaver en luzerne, mede door hun penwortel, bewortelen diepere lagen intensiever dan Engels raaigras. Via graslandmanagement kan ook de diepte van een gewas worden beïnvloedt. In deze studie was de diepte van beworteling bijvoorbeeld positief gecorreleerd met de leeftijd van de graszode, maar ook bemesting speelt een rol. Daarnaast worden de wormengangen van pendelende regenwormen gebruikt door wortels om diepere bodemlagen te ontsluiten (Logsdon en Linden, 1992). Deze en andere maatregelen die de bewortelingsdiepte en -intensiteit van grasland beïnvloeden zijn geïnventariseerd door Deru et al. (2010b) en samengevat in bijlage 3. Voor de teelt van andere voedergewassen als maïs zou een dergelijke inventarisatie kunnen worden gemaakt.

4.3.4 *Verlagen indringingsweerstand en verbeteren bodemstructuur*

Preventie van verdichting en verslechtering bodemstructuur heeft in deze prioriteit. Matchen bodemtoestand en gebruik machines is een belangrijk maatregel (bijvoorbeeld mest uitrijden met sleepslang, verlagen bandenspanning etc.). Een dichtere graszode door grasmengselkeuze, beweiden en naweiden met schapen kan de draagkracht van een perceel verhogen.

In deze studie was de indringingsweerstand en bodemstructuur gecorreleerd met beworteling en wormenactiviteit. Maatregelen om indringingsweerstand te verlagen of bodemstructuur te verbeteren zijn dan het stimuleren van beworteling en wormenactiviteit. Carter et al. (1994) liet bijvoorbeeld zien dat rietzwengras een betere bodemstructuur gaf dan timothee. Wormenactiviteit kan bijvoorbeeld worden gestimuleerd door de introductie van klaver (van Eekeren et al., 2009). Belangrijk voor een goede bodemstructuur is het organische stof management (zie paragraaf 4.3.1). Een andere maatregel zou kunnen zijn graslandbeluchting, hoewel van Eekeren en ter Berg (2008) hebben laten zien dat de verbetering van bodemstructuur van korte duur is. Een laatste maatregel, wanneer andere maatregelen niet voldoende helpen, is grondbewerking en graslandvernieuwing. Deze maatregel heeft als belangrijk nadeel dat de afbraak van organische stof wordt verhoogd..

4.3.5 *Stimuleren of introduceren pendelaars*

Meer verticale wormengangen van pendelende regenwormen (*Lumbricus terrestris* en *Apporectodea longa*) kunnen de waterinfiltratie verhogen. Daarnaast worden deze wormengangen gebruikt voor een diepere beworteling. Deze wormen worden gestimuleerd door een stabiel voedselaanbod en een landgebruik zonder een kerende grondbewerking. Daarnaast zouden deze wormen kunnen worden geïntroduceerd op percelen waar ze nog niet aanwezig zijn.

5 Conclusies en aanbevelingen

- Organische stofgehalte van de bodem is belangrijk voor het vochtvasthoudende vermogen maar was in deze studie niet onderscheidend voor droogteresistente en droogtegevoelige percelen.
- Het verhogen van het organische stofgehalte van de bodem is een maatregel voor de lange termijn.
- Het verhogen van het organische stofgehalte moet altijd nagestreefd worden omdat organische stof naast het vochtvasthoudend vermogen van de bodem van invloed is op nutriëntenlevering, vastleggen van nutriënten, bodemstructuur, bodembiodiversiteit, vastleggen van gifstoffen en vastlegging van CO₂.
- Het organische stofgehalte op de graslandpercelen in deze studie was gecorreleerd met leeftijd van graszode.
- De maatregel van een hoger percentage grasland op het bedrijf en reduceren van de frequentie van graslandvernieuwing lijkt de belangrijkste maatregel die in het kader van klimaatadaptatie en bedrijfsrendement kan worden genomen. Het evenwicht van aanvoer en afbraak van organische stof op grasland op deze dekzandgronden ligt rond 6-7% organische stof in de laag 0-10 cm.
- Een lager C/N ratio, een hoger lutumgehalte, een lagere indringingsweerstand, een hoger percentage kruiden en meer wortels onderscheiden droogteresistente percelen van droogtegevoelige percelen.
- Maatregelen die de afstand tussen wortelzone en het grondwater verkleinen lijken op korte termijn het effectiefste om de droogte op percelen te beheersen. Potentiële maatregelen hiervoor zijn waterconservering met stuwjes en eventueel peilgestuurde drainage, en verdiepen van beworteling door maatregelen aan de bodem, gewaskeuze en graslandmanagement.
- De indringingsweerstand lijkt een belangrijke en relatief eenvoudige parameter om de potentiële waterinfiltratie in te schatten.
- Positief effect van wortels en wormen op waterinfiltratie lijkt indirect te lopen via verbetering van bodemstructuur en verlaging van de indringingsweerstand.
- Maatregelen als verhogen organische stofgehalte verhogen, verbeteren beworteling en stimulering van wormenactiviteit en/of introduceren van pendelende wormen grijpen op verschillende vlakken positief in op de verbetering van vochtlevering en waterberging. In combinatie met detail waterbeheer (o.a. stuwjes en peilgestuurde drainage) pakken deze maatregelen positief uit voor zowel landbouw als waterbeheer.

6 *Referenties*

KNMI, Risk analysis of heavy rain.

Bouché, M. B., Al-Addan, F., 1997 **Earthworms, water infiltration and soil stability: some new assessments.** *Soil Biol. Biochem.* 29, 441-452.

Boxel, J.H., Cammeraat J., 1999 **Een analyse van de neerslag in deze eeuw; Wordt Nederland steeds natter?** *Meteorologica* 8, 11-15.

Carter, M.R., Angers, D.A., Kunelius, H.T., 1994 **Soil structural form and stability, and organic matter under cool-season perennial grasses.** *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1994-1999.

Clements, R.O., Murray, P.J., Sturdy, R.G., 1991 **The impact of 20 years' absence of earthworms and three levels of N fertilizers on a grassland environment.** *Agric. Ecosyst. Environ.* 36, 75-85.

De Kok, V.P.H.M., Alblas, J., 1996. **Effecten van grondbewerking en organische stof op de structuur van de bouwvoor.** Verslag nr. 226, PAGV Lelystad, 68 pp.

Deru, J., van Eekeren, N., de Boer, H. 2010a **Beworteling van grasland – een literatuurstudie; Nutriëntenopname in relatie tot bewortelingsdiepte en –intensiteit. Factoren en potentiële maatregelen die de beworteling beïnvloeden.** Publicatienummer 2010-018 LbV, Louis Bolk Instituut, Driebergen, 63pp.

Deru, J., van der Burgt, G.J., van Eekeren, N., Wientjes, H., 2010b **Maïsteelt en mestscheiding. Langetermijneffecten op organische stof.** *V-focus*, december, 20-22.

Gupta, S.C., Larson, W.E., 1979. **Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density.** *Water Resources Research* 15, 1633-1635.

Hoogerkamp, M., Rogaar, H., Eysackers, H.J.P., 1983 **Effects of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands.** In: Satchell, J.E. (Eds.), *Earthworm Ecology: from Darwin to Vermiculture*, pp. 85-105. Chapman and Hall, London.

Humphreys, M.W., Turner, L.B., O'Donovan, S.A., Macleod, C.J.A., King, I.P., Whalley, W.R., Haygarth, P.M., 2010 **Grass root turn-over for improved soil hydrology to combat flooding.** *Grassland Science in Europe* 15, 764-766.

Joschko, M., Diestel, H., Larink, O., 1989 **Assessment of earthworm burrowing efficiency in compacted soil with a combination of morphological and soil physical measurements.** *Biol. Fert. Soils* 8, 191-196.

Locher, W.P., de Bakker H., 1990. **Bodemkunde van Nederland. Deel 1; algemene bodemkunde,** Malmberg, Den Bosch, 439 pp.

Logsdon, S.D., Linden, R.D., 1992. **Interactions of earthworms with soil physical conditions influencing plant growth.** *Soil Sci.* 154, 330-337.

Prins, U., Oomen, G., van Eekeren, N., 2008 **Direct zaaien van snijmaïs. Een alternatief voor ploegen met behoud van een vruchtbare en productieve bodem.** Publicatienummer LV70, Louis Bolk Instituut, Driebergen, 27 pp.

Rutgers, M., Van Wijnen, H., Schouten, A.J., Mulder, C., De Zwart, D., Posthuma, L., De Goede, R.G.H.M., Bloem, J., Van Eekeren, N., 2010 **Bodembiodiversiteit op de kaart van Noord-Brabant** RIVM Rapport 607063001/2010, Bilthoven, 55 pp.

Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S.M., de Moraes, J.C., Albrecht, S., 2002 **Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-Effects of no tillage.** *Agronomie* 22, 755-775.

Van der Schans, D.A., 1998. **Ruwvoederproductie bij droogte: Kies voor zekerheid!** Themaboekje nr 21, PAGV Lelystad, 61 pp.

Van Eekeren, N., Ter Berg, C., 2008 **Graslandbeluchting leidt nog niet tot hogere grasopbrengst.** *V-focus*, augustus, 26-27.

Van Eekeren, N., Bokhorst, J., 2009. **Beoordeling bodemkwaliteit zandgrond: Een inventarisatie van bodemindicatoren in de veehouderij.** Louis Bolk Instituut, Driebergen, 59 pp.

Van Eekeren, N., Bommelé, L., Bloem, J., Rutgers, M., de Goede, R., Reheul, D., Brussaard, L., 2008 **Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping.** *Appl. Soil Ecol.* 40, 432-446.

Van Eekeren, N., Van Liere, D., De Vries, F., Rutgers, M., De Goede, R., Brussaard, L., 2009 **A mixture of grass and clover combines the positive effects of both plant species on selected soil biota.** *Appl. Soil Ecol.* 42, 254-263.

Van Eekeren, N., de Boer, H., Hanegraaf, M., Bokhorst, J., Nierop, D., Bloem, J., Schouten, T., de Goede, R., Brussaard, L., 2010. **Ecosystem services in grassland associated with biotic and abiotic soil parameters.** *Soil Biology & Biochemistry* 42, 1491-1504.

Van Schooten, H., Van Eekeren, N., Hanegraaf, M., Van Der Burgt, G.J., De Visser, M., 2006 **Effect meerjarige toepassing groenbemester en organische mest op bodemkwaliteit bij continueelt mais.** *Zorg voor Zand* rapport nr. 2, ASG-WUR, Lelystad, 32 pp.

Bijlage 1: Bodemgegevens van de 20 percelen

	pH	OS	Lutum	C-totaal	N-totaal	C/N ratio	Vocht	Waterinfiltratie	Wormaantal	Wormbiomassa	Weerstand 0-10	Weerstand 10-20	Weerstand 20-30	Weerstand 30-40	Weerstand 40-50	Weerstand 50-60	Kruimel	Afgrond	Scherp	Dikte zode	Wortels op 10 cm	Wortels op 20 cm	Macroporten op 10 cm	Macroporten op 20 cm
	%	%	%	g/100 g	mg/kg	%	%	Minuten	#/m2	g/m2	mPa	mPa	mPa	mPa	mPa	mPa	%	%	%	cm	#/400 cm2	#/400 cm2	#/400 cm2	#/400 cm2
U1	5	6,2	2	3,4	2860	12	55	2,8	644	296	127	193	225	234	262	344	72,4	9,0	18,5	5,3	140	140	18,5	17,0
U2	5,1	5,8	1	3,5	2510	14	60	5,5	261	165	147	188	222	239	208	206	66,0	10,0	24,0	4,3	166	166	1,5	0,5
U3	5	4,4	2	2,1	1570	13	48	11,2	159	61	162	210	225	167	153	247	68,6	12,8	18,6	5,0	118	118	0,0	0,0
U4	5,2	2,3	1	1,4	1150	12	61	1,5	334	125	142	246	253	281	366	480	54,3	19,6	26,1	3,8	32	24	0,5	0,5
U5	5,2	4,9	1	2,9	2100	14	59	8,1	236	149	188	289	274	319	277	225	46,6	16,2	37,2	3,5	46	42	4,0	2,0
U6	5,6	8,6	2	3,7	3330	11	43	16,4	126	45	189	291	307	441	493	385	60,6	18,5	20,8	5,5	166	30	7,5	10,5
U7	5,3	6,6	1	4	3480	11	61	25,0	363	86	184	245	247	313	470	455	56,8	9,8	33,4	5,5	114	72	2,0	0,5
U8	5	10,9	1	5,6	4340	13	51	7,7	163	39	187	293	320	446	503	481	54,2	12,5	33,3	4,3	60	72	3,0	0,0
U9	5,1	8	2	3,8	3860	10	48	2,2	66	9	175	278	384	403	323	326	63,7	16,3	20,0	4,5	186	56	0,0	0,0
U10	4,9	5,4	3	2,3	2310	10	43	19,3	903	202	161	244	333	329	335	464	69,5	15,1	15,4	5,3	204	90	5,0	4,5
U11	4,6	4,9	3	2,5	2360	11	51	11,9	551	153	220	279	300	390	606	609	70,6	14,6	14,7	5,2	142	82	1,5	5,0
U12	5	3	3	2,2	2150	10	73	0,9	872	240	154	249	275	323	368	410	70,0	13,9	16,1	4,5	108	51	4,5	3,0
U13	5,1	7,5	1	4,9	3370	15	65	7,3	344	226	150	217	272	403	465	503	57,3	9,5	33,2	4,0	82	40	11,5	8,0
U14	5,3	7,3	1	3,4	2800	12	47	0,9	328	128	146	209	209	244	276	254	73,7	16,8	9,5	5,5	222	128	8,0	9,0
U15	5,5	4,8	1	2,5	2210	11	52	10,9	47	18	211	283	243	286	284	272	55,3	16,7	28,0	3,0	186	94	4,0	0,0
U16	5,4	4,1	1	2,1	1770	12	51	7,7	259	131	188	286	314	346	376	322	60,7	18,1	21,2	4,0	118	68	5,0	7,5
U17	4,8	4,4	2	2,9	2540	11	66	11,1	150	25	243	308	312	414	366	457	51,1	6,1	42,8	3,8	35	16	10,0	1,0
U18	4,9	5,7	5	3,1	2860	11	54	9,4	381	97	235	285	261	274	332	599	65,1	12,9	22,0	3,5	252	99	14,0	5,0
U19	6,1	5,1	4	4,5	3930	11	88	7,2	574	123	246	426	442	349	338	409	58,5	15,2	26,4	3,5	82	54	10,0	9,0
U20	5,8	4,5	4	2,9	2750	11	64	7,0	682	166	214	233	248	234	302	218	65,7	10,4	23,9	3,3	82	50	14,5	13,0

Bijlage 2: Correlaties

	Donkere laag	Diepte wortels	Leeftijd zode	pH	OS%	Lutum%	C-totaal	N-totaal	C/N ratio	C%	Vocht%	Waterinfiltratie	Wormaantal	Wormadult	Wormjuvenile	Wormrest	Wormbiomassa	Wormstrooisel%	Wormbodem%	Wormpendelaar%	
1(0)																					
Diepte wortels	1(0)																				
Leeftijd zode	0.66(0.027)	1(0)																			
pH		0.56(0.017)	1(0)																		
OS%			0.56(0.017)	1(0)																	
Lutum%				0.56(0.017)	1(0)																
C-totaal					0.4(0.1)	1(0)															
N-totaal						0.84(0.001)	1(0)														
C/N ratio							0.93(0.001)	1(0)													
C%								0.59(0.075)	1(0)												
Vocht%									0.39(0.092)	1(0)											
Waterinfiltratie										0.43(0.058)	1(0)										
Wormaantal											0.49(0.028)	1(0)									
Wormadult												0.84(0.001)	1(0)								
Wormjuvenile													0.84(0.001)	1(0)							
Wormrest														0.69(0.001)	1(0)						
Wormbiomassa															0.70(0.001)	1(0)					
Wormstrooisel%																0.42(0.072)	1(0)				
Wormbodem%																	0.42(0.072)	1(0)			
Wormpendelaar%																		0.42(0.072)	1(0)		
Weerstand 0-10																					1(0.001)
Weerstand 20-30																					
Weerstand 30-40																					
Weerstand 40-50																					
Weerstand 50-60																					
Kruimel%																					
Algerone%																					
Scherp%																					
Dikte zode																					
Wortels op 10 cm																					
Wortels op 20 cm																					
Macroporiën op 10 cm																					
Macroporiën op 20 cm																					

	Weerstand 0-10	Weerstand 20-30	Weerstand 30-40	Weerstand 40-50	Weerstand 50-60	Kruimel%	Algerone%	Scherp%	Dikte zode	Wortels op 10 cm	Wortels op 20 cm	Macroporiën op 10 cm	Macroporiën op 20 cm
Donkere laag													
Diepte wortels													
Leeftijd zode													
pH													
OS%													
Lutum%													
C-totaal													
N-totaal													
C/N ratio													
C%													
Vocht%													
Waterinfiltratie													
Wormaantal													
Wormadult													
Wormjuvenile													
Wormrest													
Wormbiomassa													
Wormstrooisel%													
Wormbodem%													
Wormpendelaar%													
Weerstand 0-10													
Weerstand 20-30													
Weerstand 30-40													
Weerstand 40-50													
Weerstand 50-60													
Kruimel%													
Algerone%													
Scherp%													
Dikte zode													
Wortels op 10 cm													
Wortels op 20 cm													
Macroporiën op 10 cm													
Macroporiën op 20 cm													

Bijlage 3: Factoren en potentiële maatregelen die de beworteling van grasland beïnvloeden

Bijlage 3: Factoren en potentiële maatregelen die de beworteling van grasland beïnvloeden

Categorie	Hoofdfactor	Deelfactor (en effect op beworteling)	Mechanisme	Potentiële maatregel of denkrichting voor maatregel
Bodem	Fysische toestand	<ul style="list-style-type: none"> – bodemverdichting (-) – diepte zwarte laag / organische stof (+) 	<ul style="list-style-type: none"> – fysieke hinder; teveel vocht en luchttekort – lagere indringingsweerstand; gunstige bodemstructuur, nutriëntenlevering (priming effects); gunstige vochtbehouding 	<ul style="list-style-type: none"> – voorkomen vertrapping en structuurschade
	Chemische toestand	<ul style="list-style-type: none"> – pH (zure grond: -) – P-toestand (- en +) 	<ul style="list-style-type: none"> – beschikbaarheid Ca en Mg – zowel verhoging als verlaging van het wortelaandeel gevonden bij lagere P-toestand; effect sterk afhankelijk van interactie met andere groeifactoren (N, vocht) 	<ul style="list-style-type: none"> – pH op peil houden
	Bodem- biologisch	– regenwormen (+)	– doorwortelbare gangen; nutriëntenlevering	– bevorderen van regenwormen (aantallen en activiteit)
Gewas	Maatregelen bij inzaai	<ul style="list-style-type: none"> – gerst meezaaien (+ ?) – zaadbehandeling (+) – zaaidichtheid (+?) – soorten mengsels (+) 	<ul style="list-style-type: none"> – doorwortelbare gangen, voorkomen bodemverdichting – bemesting, wortelziektepreventie – concurrentie voor nutriënten en vocht – concurrentie voor nutriënten en vocht 	<ul style="list-style-type: none"> – snelgroeiend / diepwortelend gewas als dekvrucht gebruiken – hogere zaaidichtheid (?) – grassoortenmengsels, gras-klaaver/kruiden
	Rassen en veredeling	<ul style="list-style-type: none"> – rassen en soorten – veredeling 	– genotypische verschillen	– grasrassen en -soorten kiezen met een diepe en intensieve beworteling
Management	Bemesting	<ul style="list-style-type: none"> – Algemeen: (-) – N: (-) P: (+) K: (0) – humuszuren (+) 	Algemeen: <ul style="list-style-type: none"> – tekort geeft een hoger wortel-spruit-verhouding maar lagere wortelbiomassa – effect op wortelgroei en -vertakking, worteldiameter en wortelharen – humuszuren: verhoogde wortellengte, betere P opname 	<ul style="list-style-type: none"> – algemeen: N-niveau verlagen – uitstel van N-gift na maaien – N-gift toediening onder het maaiveld – toediening humuszuren in de bodem vóór het zaaien
	Maaien en beweiden	<ul style="list-style-type: none"> – maaihoogte (-/+) – maai frequentie (-/+) – beweidingssysteem (omweiden versus standweiden) 	<ul style="list-style-type: none"> – fysiek: verdichting bodem door machines en vertrapping door vee – fysiologisch: fotosyntheseactiviteit, verdeling van suikers – effect op spruitdichtheid – interactie met bemesting, grassoort – evenwicht tussen fotosynthese, bovengrondse groei, wortelgroei, aanspraak op reserves, nutriënt- en vochtopname bepaalt effect. – korte termijn effect van maaien is negatief, maar wanneer de spruitdichtheid toeneemt neemt de beworteling van de zode toe 	<ul style="list-style-type: none"> – hoger maaien (~ lagere veebezetting) – minder frequent maaien (~ minder frequent beweiden)
Overige factoren	Leeftijd grasland	<ul style="list-style-type: none"> – leeftijd grasland (-) – grondbewerking (-/+)(scheuren en herinzaai) 	<ul style="list-style-type: none"> – verdichting? Verdeling organische stof? – verdichting (-) / beluchting (+); verdeling organische stof (-/+); bodemleven (-) 	<ul style="list-style-type: none"> – grasland vernieuwen (?)
		<ul style="list-style-type: none"> – vochtvoorziening (-/+) – lichtintensiteit (-/+) – bodemtemperatuur 	<ul style="list-style-type: none"> – effect sterk afhankelijk van interactie met nutriëntenbeschikbaarheid. – verschillen tussen grassoorten. – fotosyntheseactiviteit, dunne wortels – wortel-spruitverhouding het hoogst buiten het temperatuuroptimum voor bovengrondse groei. 	<ul style="list-style-type: none"> – beregenen: minder vaak maar langer achter elkaar. – voorkomen droogtestress