



---

# Technische evaluatie van potentiële bodemmaterialen voor vrijloopstallen

G.L. Szanto, G.J. Kasper, V. de Wilde, P. Galama



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN **UR**

---



---

# Technische evaluatie van potentiële bodemmaterialen voor vrijloopstallen

Technisch rapport

Szanto, GL<sup>1</sup>, Kasper, GJ<sup>2</sup>, Wilde, V de<sup>3</sup>, Galama, P<sup>2</sup>

1 SZANCORE

2 Wageningen UR Livestock Research

3 Wageningen UR Agrotechnology & Food Sciences Group

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken

Wageningen UR Livestock Research

Wageningen, juli 2015

---

Livestock Research Rapport 890

---

Szanto, G.L., G.J. Kasper, V. de Wilde, P. Galama, 2015. *Technische evaluatie van potentiële bodemmaterialen voor vrijloopstallen; Technisch rapport*. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 890 blz.

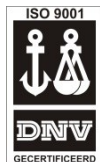
Samenvatting NL Het VRIJLOOP-programma is een onderzoeks- en kennistransferinitiatief van de Wageningen UR Livestock Research groep. In het kader van het programma worden gegevens verzameld uit meerdere boerenbedrijven, over zowel de opzet en emissies van stalbodprocessen en procedures. Een onderdeel van dit programma is ook het verkennen van relevantie van diverse materialen voor hun geschiktheid in Nederlandse vrijloopstallen. Dit rapport beschrijft de onderzoeksresultaten van een reeks organische materialen om een oriënterende berekening voor de jaarlijkse stalkosten mogelijk maken.

Summary UK The VRIJLOOP program is a research and knowledge transfer initiative of Wageningen UR Livestock Research. As part of the program, data is collected from multiple farms on both the design and emissions from bedding-processes and –procedures in the dairy barn. One component of this program is to explore relevance of various materials for their suitability in Dutch bedded pack barns. In this report, the quality of a range of materials has been studied for an orientation calculation for the annual costs in the barn.

© 2015 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op als onze onderzoekopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.



---

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1 Achtergrond van het bodemonderzoek	11
1.2 Functionaliteiten van bodemmaterialen in de vrijloopstal	11
1.3 Doel en nut van het onderzoek	12
<b>2 Methodiek en materialen</b>	<b>13</b>
2.1 Type materialen	13
2.2 Analytische methoden	13
2.2.1 Analyse van de bodemsamenstelling	14
2.2.2 Analyse van de structurele/fysieke eigenschappen	14
2.2.3 Analyse van de respiratiesnelheid	14
2.2.4 Analyse van de vochtopname-eigenschappen	14
<b>3 Resultaten</b>	<b>16</b>
3.1 Substraatsamenstelling en kwaliteit	16
3.2 Respiratiesnelheid	16
3.3 Resultaten van de vochtopnamemetingen	17
3.4 Fysieke eigenschappen van de bodems	18
3.4.1 Bulkdichtheid en inklinking	18
3.4.2 Porositeit	19
3.4.3 Luchtdoorlatendheid	19
3.4.4 Deeltjesgrootte	24
<b>4 Discussie</b>	<b>26</b>
4.1 Relevantie voor aerobe afbraak (co-compostering)	26
4.2 Vochtopname	26
4.3 Kwaliteit van structuur	27
4.4 Verwachte retentietijd	31
4.5 Geschiktheidsanalyse	33
4.5.1 Bepalen van het classificatiekader	33
4.5.2 Analyse bodemgeschiktheid	34
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>36</b>
<b>6 Literatuur</b>	<b>37</b>
<b>7 Bijlage</b>	<b>38</b>
7.1 Berekening fysieke parameters voor bodemmaterialen	38
7.2 Kenmerken van de onderzochte bodemmaterialen voor vrijloopstallen	40
7.3 Stabiliteitsindeling van compostproducten	41
7.4 Pycnometer design	42
7.5 Voorbeeld van een BLGG analyserapport	43

---

---

# Woord vooraf

Het onderzoek naar bodems in vrijloopstallen is in 2008 / 2009 gestart vanuit drie principes om de toplaag droog te houden, namelijk door vocht te verdampen door de warmteontwikkeling bij compostering, door vocht te absorberen en door vocht te draineren. Vanaf 2010 concentreerde het onderzoek zich op vooral op bodems die houtsnippers composteren met een actief beluchtingssysteem en bodems met compost die vocht absorberen. Het gebruik van (GFT) compost van composteringsbedrijven is echter door de Zuivelindustrie afgeraden, vanwege problemen met sporen van Thermofiele Aerobe Sporenvormende bacteriën (TAS) in de melk. Sinds begin 2015 is het gebruik van compost verboden. Daarom zijn veel melkveehouders met een vrijloopstal op zoek naar een alternatief bodemmateriaal. Bodemmateriaal kunnen geschikt zijn om te composteren of te absorberen of mogelijk beide. In dit rapport is de geschiktheid van een bodemmateriaal beoordeeld op basis van een aantal eigenschappen van het materiaal, gemeten op labschaal. Met deze systematiek kunnen nog onbekende materialen beoordeeld worden op geschiktheid in een vrijloopstal. Dit is belangrijk voor de doorontwikkeling van vrijloopstallen.

Paul Galama  
Projectleider Vrijloopstallen





---

# Samenvatting

Diverse potentiële bodemmaterialen zijn getest voor geschiktheid in vrijloopstallen. De evaluatie bevat een laboratoriumonderzoek naar de parameters: samenstelling, respiratiesnelheid, vochtopname en fysieke eigenschappen. De onderzochte materialen waren kokosvezelmix, houtsnippers, houtvezel, miscanthus (olifantsgras), tarwestro, stalveen (veenmosveen), wormenhumus en Legro (veenmosveen). Op basis van de resultaten is een evaluatie toegevoegd aan dit rapport dat (i) de te verwachten geschiktheid van de materialen weergeeft voor een stalregime voor afbraak (co-compostering) of vochtopvang en (ii) de te verwachten jaarlijkse hoeveelheid bodemmateriaal per m<sup>3</sup> vrijloopbodemruimte. De potentiële bijdrage van de materialen aan een beperking van ammoniakemissies is niet direct onderzocht, maar de gemeten waardes voor samenstelling en respiratiesnelheid geven een goede indicatie van het emissie remmende vermogen van de geteste materialen. Die indicatie is ook meegenomen in de gepresenteerde geschiktheidsanalyse voor vrijloopstallen in Nederland.



---

# Summary

Several potential materials were tested for suitability in bedded packed barns. The evaluation included a laboratory study with parameters: composition, respiration, moisture absorption and physical properties. The materials tested were coconut fiber mix, wood chips, wood fiber, miscanthus (elephant grass), wheat straw, stable peat (=sphagnum peat), worms humus and Legro sphagnum peat. Based on the results, an assessment was added to this report that shows (i) the likely suitability of the materials for a regime of the bedded packed barn for decomposition (co-composting) or moisture capacity and (ii) to the expected annual quantity of material (in m<sup>3</sup>) of bedded packed barns. The potential contribution of materials to limit ammonia emissions has not been studied directly, but the measured values for composition and respiration give a good indication of the emission-inhibitory potential of the tested materials. This indication is also included in the presented analysis for suitability in bedded packed barns in the Netherlands.



---

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond van het bodemonderzoek

Het VRIJLOOP-programma is een onderzoeks- en kennistransferinitiatief van Wageningen UR Livestock Research. In het kader van het programma worden gegevens verzameld van meerdere melkveebedrijven, over zowel de opzet en emissies van stalbodempromessen en procedures. Tegelijkertijd wordt er wetenschappelijke onderzoek gedaan naar bodemkwaliteit en bodempromessen, emissie verminderende maatregelen en de ontwikkeling van een integraal model voor organische stalbodems. Met deze activiteiten hoopt Wageningen UR Livestock Research een diervriendelijke en duurzame stalmethode te ontwikkelen die formeel toegepast kan worden in de Nederlandse veehouderij. Als onderdeel van het programma werd een verkennend onderzoek uitgevoerd in 2011, met het doel om potentiële bodemmaterialen te identificeren voor verdere analyse (Smits *et al.*, 2011). In dat onderzoek, werden 27 organische bodems onderzocht op samenstelling (droog en organisch stofgehalte), fysieke eigenschappen (dichtheid en porositeit) en in enkele gevallen op biologische activiteit (respiratiesnelheid). Ook gegevens als prijs en beschikbaarheid van de bodems zijn verzameld om zo een optimale selectie van de materialen mogelijk te maken. Het onderzoek heeft aangetoond dat vooral afvalderivaten - houtafvalsoorten en compostproducten - voordelig benut kunnen worden als bodems voor vrijloopstallen. Naast deze stoffen, werden ook veenmaterialen en stro als geschikte materialen geïdentificeerd in de analyse.

In 2013 werd TAS en XTAS (thermofiele en extreem-thermofiele aerobe sporenvormers) gevonden in sommige van de gebruikte vrijloopbodems, met name bij gebruik van compost van composteringsbedrijven. Een hoge concentratie van (X)TAS is ongewenst in vrijloopstallen voor melkkoeien omdat het een negatief effect heeft op de houdbaarheid van bepaalde gesteriliseerde zuivelproducten. Hoewel hoge concentraties alleen gevonden werden in compostproducten, werd besloten om alternatieve bodemmaterialen te zoeken die ook benut kunnen worden op Nederlandse melkveebedrijven met vrijloopstallen en vergelijkbare stalsystemen.

## 1.2 Functionaliteiten van bodemmaterialen in de vrijloopstal

In het verleden heeft bodemonderzoek in het VRIJLOOP-programma als belangrijkste kennis opgeleverd hoe verschillend de diverse bodems omgaan met mestbelasting en de gerelateerde stikstof-emissies ( $\text{NH}_3$  en  $\text{N}_2\text{O}$ ). Er zijn drie mechanismen geïdentificeerd:

- vochtopname, voor het opslaan van vocht in de stalbodem tot verwijdering uit de stal;
- aerobe afbraak, voor het mee composteren (co-compostering) van C-rijk bodemmateriaal met dierlijke mest;
- structurele eigenschappen, voor het tegenwerken van inklinking en het verzekeren van de stalbodem van een aerobe (zuurstofrijke) gasfase.

In het verleden zijn de meeste bodems ingezet om een langzame, maar efficiënte co-compostering mogelijk maken. Momenteel is het beperken van ammoniakemissies essentieel voor Nederlandse (melk)veehouders met vrijloopstallen. Daarom werd er ditmaal niet alleen gezocht naar bodemtypes die – naar verwachting – efficiënt mee composteren, maar ook naar materialen die een grote hoeveelheid vocht kunnen opnemen van de dagelijkse uitgescheiden urine- en feces van de melkkoel. Een inventarisatie van de gekozen bodems en de relevante gegevens uit dit voorlopige onderzoek is te vinden in sectie 7.2.

---

## 1.3 Doel en nut van het onderzoek

Doel van dit onderzoek is het bepalen van de fysieke eigenschappen, samenstelling, respiratiesnelheid en vochtopname van kansrijke alternatieven voor gangbare vrijloopstal-bodemmaterialen. Op basis van de onderzoeksresultaten is een evaluatie uitgevoerd om de geschiktheid van de bodemmaterialen in te schatten wat betreft bodem-regime voor (i) mee-composteren en/of (ii) vochtopname. De resultaten zijn ook bedoeld om een indicatie geven van de jaarlijkse materiaalbehoefte en als input voor het eerder uitgewerkte integrale VRIJLOOP-model. Hiermee moeten de resultaten niet alleen meer wetenschappelijke kennis opleveren, maar ook praktische informatie aan geïnteresseerde (melk)veehouders.

## 2 Methodiek en materialen

### 2.1 Type materialen

De materialen en het type uitgevoerde onderzoek is weergegeven in Tabel 1. Alle monsters werden op 4°C bewaard.

Tabel 1

*De geëvalueerde materialen en het type uitgevoerde onderzoek*

Materiaal	Droge stof [g.kg <sup>-1</sup> ]	C/N [g.kg <sup>-1</sup> ]	Respiratie snelheid [mmol O <sub>2</sub> .kg VS <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> ]	Vocht-opname [g.g <sup>-1</sup> ]	Fysieke structuur [divers]*
Kokosvezelmix	X	x	x	x	x
Houtsnippers	X	x	x	x	x
Houtvezel	X	x	x	x	x
Miscanthus	X	x	x	x	x
Tarwestro	X	x	x	x	x
Stalveen	X	x	x	x	x
Natuurgras	X	x	x	-**	-
Wormenhumus	X	x	-	x	x
Tarwestro II - onbewerkt	X	-	-	x	-
Tarwestro II - bewerkt	X	-	-	x	-
Legro I	X	-	-	x	-
Legro II	X	-	-	x	-
Legro III	X	-	-	x	-
Miscanthus II - onbewerkt	X	-	-	x	-
Miscanthus II - bewerkt	X	-	-	x	-

\*Dichtheid [kg.m<sup>-3</sup>]; porositeit in [-]; luchtdoorlatendheid [m<sup>2</sup>] en deeltjesgrootte [m]; \*\*: blauwe zak, geen benaming

Kokosvezelmix, veenmosveen (populaire naam: stalveen), houtsnippers en houtvezel zijn producten van en werden geleverd door Euroveen b.V. te Grubbenvorst. Wormenhumus is afkomstig van Gebr. Mekelenkamp wormenkwekerij te Almkerk. Nieuwe materialen (Legro, tarwestro en miscanthus) zijn gebruikt in de tweede reeks vochtopnameproeven (de nieuwe reeks is aangeduid met Romeinse nummering). Het behandelde (gekneusde) tarwestro II was afkomstig van dezelfde fouragehandel als het oorspronkelijke tarwestromonster (Van Haren, Rijnsteeg 74 te Wageningen). Het onbewerkte stro was afkomstig van akkerbouwer G.J. Petrie IJweg 744 te Hoofddorp. Dit geldt ook voor miscanthus. Bij miscanthus II dekt de term 'bewerkt' een zwaar geplet materiaal. Legro I-III is veenmosveen. Legro I is veenmosveen met een deeltjesgrootte van 0-40 mm, Legro II is veenmosveen met een deeltjesgrootte van 0-10 mm en Legro III is een mix van veenmosveen (60%, 0-40 mm) en kokosgruis (40%). De aangeleverde monsters van miscanthus (olifantsgras) en tarwestro bleken af te wijken van de verwachte 'typische' samenstellingen. Bij miscanthus was een zeer hoog N-gehalte te danken aan het hoge N-bemestingsniveau tijdens het telen (80 kg.ha<sup>-1</sup>). Bovendien was het vroeg geoogst (januari), waardoor de plantstengels een hogere N-waarde bevatten ten opzichte van een late oogst in april. De analyse bevestigde dat: de miscanthus monsters vertoonden een zeer hoge N-concentratie (ongeveer 7x de te verwachten waarde). Het tarwestro bevatte ook een hoger N-gehalte dan verwacht. Deze afwijkingen zijn meegenomen in de latere analyse en evaluatie.

### 2.2 Analytische methoden

In het kader van dit bodemonderzoek werden fysieke eigenschappen (bulk-dichtheid, porositeit, luchtdoorlatendheid en deeltjesgrootte) gemeten of berekend, evenals afbraaksnelheid en samenstelling (waaronder droge en organische stofgehalte, C- en N-concentratie).



---

### 2.2.1 Analyse van de bodemsamenstelling

Elk substraat werd bemonsterd om de fractie van DS en OS (droge stof respectievelijk organische stof) en dat van ruw as te bepalen [ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]. Het bepalen van DS en ruw as gebeurde na droging op  $105^\circ\text{C}$  en verbranding van de monsters op  $550^\circ\text{C}$ . De procedure en de berekening van het OS gehalte is weergegeven in CRC (1978).

$N_{\text{totaal}}$  en  $C_{\text{totaal}}$  analyses van monsters werden bepaald door het LeAF laboratorium te Wageningen volgens hun analysemethoden van WI 4,25-115 en WI 4,25-103.

### 2.2.2 Analyse van de structurele/fysieke eigenschappen

De fysieke parameters van bulkdichtheid, mechanische sterkte, porositeit, permeabiliteit en Ergun equivalent deeltjesgrootte zijn bepaald met behulp van een op maat gemaakte pycnometer van afdeling Milieutechnologie van Wageningen University (Szanto *et al.*, 2015). Deze apparatuur meet rechtstreeks (i) het volume van een vast monster en (ii) de drukval van luchtstroom door het monster heen. De metingsprocedures en analyse van deze structurele parameters zijn beschreven in Richard *et al.* (2004). Relevante berekeningen van de genoemde parameters zijn opgenomen in dit rapport (bijlage 7.1). Naast onbewerkte monsters zijn ook combinaties van bodemmateriaal-mestmengsels voorbereid om te simuleren wat een toenemende mesthoeveelheid in dit mengsel betekent voor de kwaliteit van structurele parameters. Waar mogelijk werd de toevoeging van mest aan de bodemmateriaal gedaan in stappen van 5 liter. Echter, bij enkele materialen moesten de analisten afwijken van dit schema omdat de materialen relatief weinig mest konden opnemen. Om een te sterke mate van 'ontwatering' te voorkomen zijn de stappen van mesttoevoeging aangepast.

### 2.2.3 Analyse van de respiratiesnelheid

De respiratiesnelheid van zes van de zeven oorspronkelijke bodemmateriaal werd gemeten bij BLGG AgroXpertus te Wageningen. Een wormenhumusmonster was niet beschikbaar tijdens de metingen en derhalve geen onderdeel van de analyse op respiratiesnelheid. Naar verwachting – omdat wormenhumus een eindproduct is van vermicompostering – vertoonde dit materiaal zeer beperkte activiteit. De procedure voor het meten van respiratiesnelheid met een Oxitop systeem volgde de Europese norm NEN (2011).

### 2.2.4 Analyse van de vochtopname-eigenschappen

#### 2.2.4.1 Vochtopnamen in het kader van de vrijloopstalonderzoek

Twee procedures zijn gebruikt om de vochtopname in bodemmateriaal te bepalen. Voor het begin van het onderzoek was nog geen algemeen erkende procedure bekend voor de vochtopname in poreuze, organische materialen. Daarom werd een eerste procedure door de auteurs uitgewerkt. Die bestond uit een korte, snelle meting (2.2.4.2). De procedure werd uitgevoerd op de monsters kokosvezelmix, houtsnippers, houtvezel, miscanthus, tarwestro, stalveen en wormenhumus. Tijdens het onderzoek bleek dat een afwijkende methode al in gebruik is door enkele onderzoeksinstituten in de Verenigde Staten (Collins, 2012). Na vergelijking van onderzoeksresultaten met de eigen metingen werd het duidelijk dat tarwestro een zeer variërende vochtopnamecapaciteit kan vertonen. Om een nauwkeurigere waarde voor vochtopname te bepalen, werd tarwestro, miscanthus en een extra materiaal (Legro veenmosveen) gemeten bij Wageningen UR Livestock Research (2.2.4.3). Deze materialen werden alleen onderzocht om een vergelijking van alle vochtopname resultaten mogelijk maken, daarom zijn voor de tweede reeks materialen alleen een beperkt aantal type analyses uitgevoerd (Tabel 1).

De gemeten waardes uit beide vochtopnamemetingen zijn opgenomen in dit rapport. Alle metingen zijn uitgevoerd met drie herhalingen.

#### 2.2.4.2 De eerste metingsprocedure van vochtopname

Na het bepalen van de DS (droge stof) inhoud, werd de WHC (*water holding capacity*, oftewel vochtopname-capaciteit) als volgt bepaald:

- Een vat van 5 liter (=5L) werd gevuld met materiaal tot net onder het rand (2 cm).
- Het materiaal werd licht samengeperst om een meer praktische bulkdichtheid te bereiken.
- Nadat het bodemmateriaal licht ingedrukt was, werd de emmer gevuld met water tot de hoogte van het bodemmateriaal.
- Er is enkele minuten gewacht om te zorgen dat een deel van het water geabsorbeerd kon worden door de vaste delen van het monster.
- Nadat het water niet meer zakke, werd het gevuld tot een niveau dat er een dunne laag (ongeveer 1 mm) boven het monster uitkwam.
- De hoeveelheid wateropnamecapaciteit werd bepaald door het inwegen van het materiaal vóór en na het toevoegen van water.

Omdat de ingewogen hoeveelheid monster én de gerelateerde bulkdichtheid bekend was, werd vochtopname berekend op basis van volume en gewicht. In de hoofdstuk 'Resultaten' wordt deze methode met *WHC1* aangeduid.

### 2.2.4.3 De tweede procedure voor vochtopname

Deze procedure (Collins, 2012) verschilt van de vorige meetmethode. De procedure werd als volgt uitgevoerd:

- DS-gehalte van de monsters werd bepaald (24 uur drogen op 105°C).
- Monsters in vaten waren met water gevuld en gedurende 3 minuten gemengd.
- Vervolgens werden alle monsters 10 minuten ingeweekt.
- Na een drain- en drogingsperiode van 24 uur (bij een relatieve lucht-vochtgehalte van 45%), ondergingen alle materialen opnieuw een DS-meting.

De WHC waarde van elk monster werd berekend als:

$$WHC = \frac{[(W_s - W_i) + IMC * W_i]}{(1 - IMC) * W_i},$$

*W<sub>s</sub>* staat voor de droge massa (kg), *W<sub>i</sub>* voor het initiële natte gewicht (kg) en *IMC* voor het initiële vochtgehalte van het monster. De WHC waarde is uitgedrukt in g vocht (water) per g monster. In de hoofdstuk 'Resultaten' wordt deze methode met *WHC2* aangeduid.

## 3 Resultaten

### 3.1 Substraatsamenstelling en kwaliteit

De gemeten DS en OS concentraties, evenals de resultaten van de  $C_{\text{totaal}}$  en  $N_{\text{totaal}}$  metingen zijn verzameld in Tabel 2.

Tabel 2

*Samenstelling van de onderzochte materialen bij het start van het onderzoek.*

Materiaal	Droge stof [g.kg <sup>-1</sup> ]	Ruw as [g.kg <sup>-1</sup> ]	Organische stof [g.kg <sup>-1</sup> ]	C/N [-]	$C_{\text{totaal}}$ [g.kg <sup>-1</sup> ]	$N_{\text{totaal}}$ [g.kg <sup>-1</sup> ]
Kokosvezelmix	267*	274**	94	22	173	253
Houtsnippers	475	459	26	14	449	446
Houtvezel	406	391	9	7	397	385
Miscanthus	897	903	11	12	886	891
Tarwestro	885	902	42	44	843	858
Stalveen	420	416	25	10	395	406
Wormenhumus	-	344	-	79	-	265
Tarwestro II – onbewerkt	885***	-	-	-	-	-
Tarwestro II – bewerkt	876	-	-	-	-	-
Miscanthus II – onbewerkt	871	-	-	-	-	-
Miscanthus II – bewerkt	863	-	-	-	-	-
Legro I	429	-	-	-	-	-
Legro II	442	-	-	-	-	-
Legro III	306	-	-	-	-	-

\*Analyseresultaten van BLGG; \*\* analyseresultaten van LeAF; \*\*\* analyseresultaten van WUR-LR

De DS metingen die uitgevoerd zijn voor respiratiesnelheid (BLGG) en fysieke structuur (LeAF) tonen een goed vergelijkbare reeks waarden. In vergelijking met de verwachte heterogeniteit van de monsters zijn de verschillen nergens groter dan 3-4 %. Alleen kokosvezelmix laat een relatief laag DS gehalte (267 g.kg<sup>-1</sup>) zien, maar zelfs die waarde is hoog in relatie tot gemengde mest (100-120 g.kg<sup>-1</sup>, op basis van Szanto *et al.*, 2015). De ruwe-asmetingen tonen een groter verschil tussen de monsters, maar – met uitzondering van kokosvezelmix – zijn ze consistent met elkaar. Wormenhumus kon niet gemeten worden voor respiratiesnelheid, daarom ontbreken de BLGG waardes voor DS, OS en ruwe as.

Zoals Tabel 2 aantoont waren monsters van de tweede batch alleen gemeten voor DS waardes. Van de materialen van de eerste reeks metingen laten vier bodems C/N gehalten boven de aanbevolen 30-35 zien (Rynk *et al.*, 1992). Wormenhumus en miscanthus hebben waardes van 22 en 25. tarwestro heeft een lage C/N van 17. Hoewel wormenhumus een eindproduct van compostering is, is de waarde van 22 betrouwbaar te noemen. De C/N waardes van miscanthus en tarwestro zijn relatief laag. Om een voorbeeld te geven, een (meer typische) waarde voor de C/N-gehalte van tarwestro is bepaald op 78 (door Szanto, 2009) en voor miscanthus 176 (Kasper, 2011). De tarwestro- en miscanthuswaardes zijn beïnvloed door hoge N-giften van de teeltprocessen en een (te) vroege oogsttijd (zie sectie 2.1 voor details).

### 3.2 Respiratiesnelheid

Er bestaat geen aparte respiratiesnelheidsmeting voor organische stoffen. Daarom werd een procedure voor compostproducten gevolgd. Het betekende bijvoorbeeld dat grotere houtachtige deeltjes in enkele gevallen in kleine stukken (<10 mm) geknipt moesten worden. Omdat het hier over een fysiek proces gaat en het alleen een klein fractie van de monsters betrof, betekent het geen significante afwijking van de reële waarde voor respiratiesnelheid.

**Tabel 3***Respiratie- en afbraaksnelheid van de potentiële bodemmaterialen (eerste meting).*

Materiaal	Respiratiesnelheid [mmol O <sub>2</sub> .kg OS <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> ]	k_max_20 [d <sup>-1</sup> ]
kokosvezelmix	3,7	0,266
Houtsnippers	7,2	0,517
Houtvezel	3,4	0,244
Miscanthus	9,2	0,660
Tarwestro	20,5	1,471
Stalveen	<2,0	<0,144*
Wormenhumus	-	-

\* Berekend op 2,0 mmol O<sub>2</sub>.kg OS<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.

Respiratiesnelheid is gedefinieerd als de relatieve hoeveelheid O<sub>2</sub> geconsumeerd (per eenheid OS) door micro-organismen in een organische monster in een bepaalde tijdsperiode (per uur in dit geval). De berekende waarden zijn ook omgezet in een afbraaksnelheidsconstante (*k*) om een directe input in het VRIJLOOP-model mogelijk te maken. *k\_max\_20* geeft aan hoeveel procent van de OS is afgebroken per dag aerobe afbraak.

De waarden van bodemmonster verschillen nogal van elkaar (Tabel 3). Bij houtsnippers, houtvezel en kokosvezelmix geeft een lage activiteit een indicatie voor een hoog ligninegehalte. Het is bekend dat lignine een zeer lage afbraaksnelheid vertoont. Miscanthus en tarwestro hebben een relatief vergelijkbare structuur, desondanks vertoont stro een hogere afbraaksnelheid. De lage respiratiewaarde van wormenhumus is het resultaat van een actief composteringsproces waar de meeste organische stof is afgebroken of omgezet in stabiele verbindingen.

### 3.3 Resultaten van de vochtopnamemetingen

De vochtopnamecapaciteit van vrijloopbodems is een cruciale eigenschap, omdat het aantoont hoe lang een bodem in de stal goed kan functioneren. Dit is vooral van belang in stallen waar het bodembeheer zich richt op de opvang - en niet op de afbraak - van de mestbodemmengsels. De vochtopnamecapaciteit hangt voornamelijk van twee factoren af: de kwaliteit van de materiaalsamenstelling die de vochtopname van de droge matrix bepaalt, terwijl de bulkdichtheid en de gekoppelde porositeit van de bodem aangeven hoeveel water in de gasfase van de structuur (in de poreuze delen, b.v. de ruimtes met lucht tussen grove stengedelen) kan worden opgenomen.

De resultaten van alle vochtopnamemetingen zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4

Vochtopname per g nat bodemmateriaal op kamertemperatuur (25°C).

Materiaal*	Vochtopname**	Vochtopname bodem	
		[g H <sub>2</sub> O.g <sup>-1</sup> bodem]	[kg H <sub>2</sub> O.m <sup>-3</sup> ]
kokosvezelmix	WHC1	1,5	537,1
Houtsnippers*	WHC1	2,5	578,8
Houtvezel	WHC1	3,6	638,5
Miscanthus	WHC1	5,8	550,0
Tarwestro	WHC1	11,0	759,1
Stalveen	WHC1	2,7	536,6
Wormenhumus	WHC1	1,3	704,2
<i>Tarwestro II – onbewerkt***</i>	<i>WHC1</i>	<i>17,2</i>	<i>1185,1</i>
<i>Tarwestro II – bewerkt</i>	<i>WHC1</i>	<i>8,3</i>	<i>571,9</i>
<i>Miscanthus II – onbewerkt</i>	<i>WHC1</i>	<i>4,1</i>	<i>387,5</i>
<i>Miscanthus II – bewerkt</i>	<i>WHC1</i>	<i>4,6</i>	<i>434,7</i>
<i>Legro I</i>	<i>WHC1</i>	<i>2,4</i>	<i>479,5</i>
<i>Legro II</i>	<i>WHC1</i>	<i>2,6</i>	<i>519,5</i>
<i>Legro III</i>	<i>WHC1</i>	<i>1,9</i>	<i>379,6</i>
<i>Tarwestro II – onbewerkt</i>	<i>WHC2</i>	<i>3,0</i>	<i>206,0</i>
<i>Tarwestro II – bewerkt</i>	<i>WHC2</i>	<i>3,6</i>	<i>250,1</i>
<i>Miscanthus II – onbewerkt</i>	<i>WHC2</i>	<i>2,6</i>	<i>243,8</i>
<i>Miscanthus II – bewerkt</i>	<i>WHC2</i>	<i>2,7</i>	<i>251,4</i>
<i>Legro I</i>	<i>WHC2</i>	<i>3,4</i>	<i>685,3</i>
<i>Legro II</i>	<i>WHC2</i>	<i>3,1</i>	<i>613,4</i>
<i>Legro III</i>	<i>WHC2</i>	<i>2,5</i>	<i>505,5</i>

\* Monsters voor vochtopname zijn aangegeven met Romeinse nummering. \*\*: WHC1 en WHC2 staan voor de eerste en tweede vochtopname methodes, respectievelijk. \*\*\* alle cursieve teksten refereren aan de tweede reeks metingen.

Het bodemvolume is een meer praktische parameter voor de praktijk in vrijloopstallen. Daarom zijn de gemeten waarden omgerekend per m<sup>3</sup> bodem (tabel 4). Een voorbeeld: ondanks het feit dat tarwestro een hoog absorberende capaciteit heeft per hoeveelheid materiaal, zorgt zijn lage bulkdichtheid ervoor dat de praktische (per m<sup>3</sup>) vochtopname vergelijkbaar is met die van wormenhumus. De hoge waarden van tarwestro in de WHC1 metingen hebben te maken met de fysieke structuur van stro. Het vocht is niet alleen geabsorbeerd in het vaste materiaal, maar wordt grotendeels vastgehouden in de ruimtes tussen de strostengels. Een indicatie van dit verschijnsel zijn de lage waarden gemeten in WHC2. Omdat in deze methode het materiaal 'uitlekt' kan de absorptiecapaciteit betrouwbaarder worden vastgesteld. Wanneer uitgegaan wordt van een meer betrouwbare meting in WHC2, dan kan Legro meer vocht opnemen dan tarwestro of miscanthus.

## 3.4 Fysieke eigenschappen van de bodems

### 3.4.1 Bulkdichtheid en inklinking

Om een praktisch hanteerbare vergelijking van bulkdichtheid mogelijk maken, zowel van werkelijke als theoretische waarden, werd de 'losse' bulkdichtheid bepaald voor elk materiaal. Onder losse bulkdichtheid wordt een minimumbulkdichtheid verstaan, die ontstaat als het materiaal wordt losgeschud en waarbij geen druk wordt uitgeoefend op het materiaal. In dit geval werd losse bulkdichtheid berekend op basis van een reeks bulkdichtheid-metingen onder druk (Figuur 1). De theoretisch minimumbulkdichtheid is niet direct bruikbaar voor de praktijk waar enige inklinking van het materiaal is te verwachten. Het is wel van nut voor het vergelijken van verschillende materialen en het niveau van inklinking onder druk.

Zowel Tabel 5 en Figuur 3.1 geven aan hoe de zeven materialen zich gedragen in een 'losse' staat en onder standaarddruk.

Tabel 5

*Bulkdichtheid van potentiële bodemmateriële uit de eerste meting.*

Materiaal	Losse bulkdichtheid [kg.m <sup>-3</sup> ]	Bulkdichtheid [kg.m <sup>-3</sup> ]	Vershil [%]
kokosvezelmix	307,3	362,5	18,0
Houtsnippers	207,8	235,6	13,4
Houtvezel	132,6	177,2	33,6
Miscanthus	86,0	94,5	9,9
Tarwestro	55,3	68,9	24,6
Stalveen	160,5	199,8	24,5
Wormenhumus	502,7	544,1	8,2

\*bij zero gewichtsbelasting; \*\*bij minimale opgelegde druk.

Bij de resultaten in Figuur 3.1 vonden de beginmetingen plaats onder een druk van ca. 400-450 kg.m<sup>-2</sup>. De eindmetingen hadden een druk van ca. 1000 kg.m<sup>-2</sup>, afhankelijk van de fysieke eigenschappen van de monsters.

Wormenhumus laat de hoogste losse bulkdichtheid (502,7 kg.m<sup>-3</sup>) zien gevolgd door kokosvezelmix (307,3 kg.m<sup>-3</sup>). De laagste bulkdichtheden zijn van tarwestro (55,3 kg.m<sup>-3</sup>) en miscanthus (86,0 kg.m<sup>-3</sup>). De werkelijke waarden voor bulkdichtheid tonen een stijging van 8,2-33,6% in vergelijking tot de losse waarden. Een grote verhoging van de bulkdichtheid (dus een hogere mate van inklinking onder vergelijkbare belasting) is te zien bij houtvezel, tarwestro en stalveen. Hoewel miscanthus vergelijkbaar was met tarwestro bij de losse bulkdichtheden, toont dit materiaal na een opgelegde druk van bijna 400 kg.m<sup>-2</sup> een veel lagere inklinking dan tarwestro (9,9 % stijging in bulkdichtheid ten opzichte van 24,6% van tarwestro). Alleen wormenhumus heeft een lagere stijging, maar dat is minder verrassend, gezien de zeer hoge waarde voor losse bulkdichtheid.

Figuur 3.1 toont aan dat het toevoegen van mest een hogere bulkdichtheid teweegbrengt en dat een verhoging van opgelegde druk een steeds hogere stijging van de bulkdichtheid veroorzaakt. Dit is het meest extreem in het geval van stalveen en wormenhumus. Ondanks de relatief hoge stijging uitgedrukt in procenten, blijft tarwestro een lage bulkdichtheid behouden, ongeacht de hoeveelheid toegevoegde mest. Dit is van belang bij de beluchtbaarheid van de materialen. Naar verwachting vormt een te hoge bulkdichtheid (>800 kg.m<sup>-3</sup>) een obstakel voor het anaeroob houden van de composterende bodems (Szanto *et al.*, 2003).

### 3.4.2 Porositeit

Porositeit heeft een dubbele functie in vrijloopbodems. Het levert de ruimte voor het opnemen van vocht en het zorgt ervoor dat verse lucht (via een geforceerde luchtstroom of convectie) de organische delen kan bereiken. Daarom is porositeit een van de belangrijkste parameters om een aërobe vrijloopbodem mogelijk te maken.

In Figuur 3.2 tonen tarwestro, miscanthus en houtsnippers de hoogste porositeitwaarden. Zelfs met toevoeging van mest en onder druk blijft porositeit bij deze materialen boven 0,6. De trendwaarden van houtsnippers tonen wel aan dat porositeit ernstig beperkt wordt bij een hoge bulkdichtheid (dus onder hoge druk of veel vocht). Stalveen vertoont een ietwat lagere porositeit en een grotere mate van verslechtering onder druk en met mesttoevoeging. Houtvezel en kokosvezelmix laten een vergelijkbaar profiel van porositeit zien (>0,4). De grootste afname in porositeit en ook de laagste porositeitwaarden zijn te vinden bij wormenhumus.

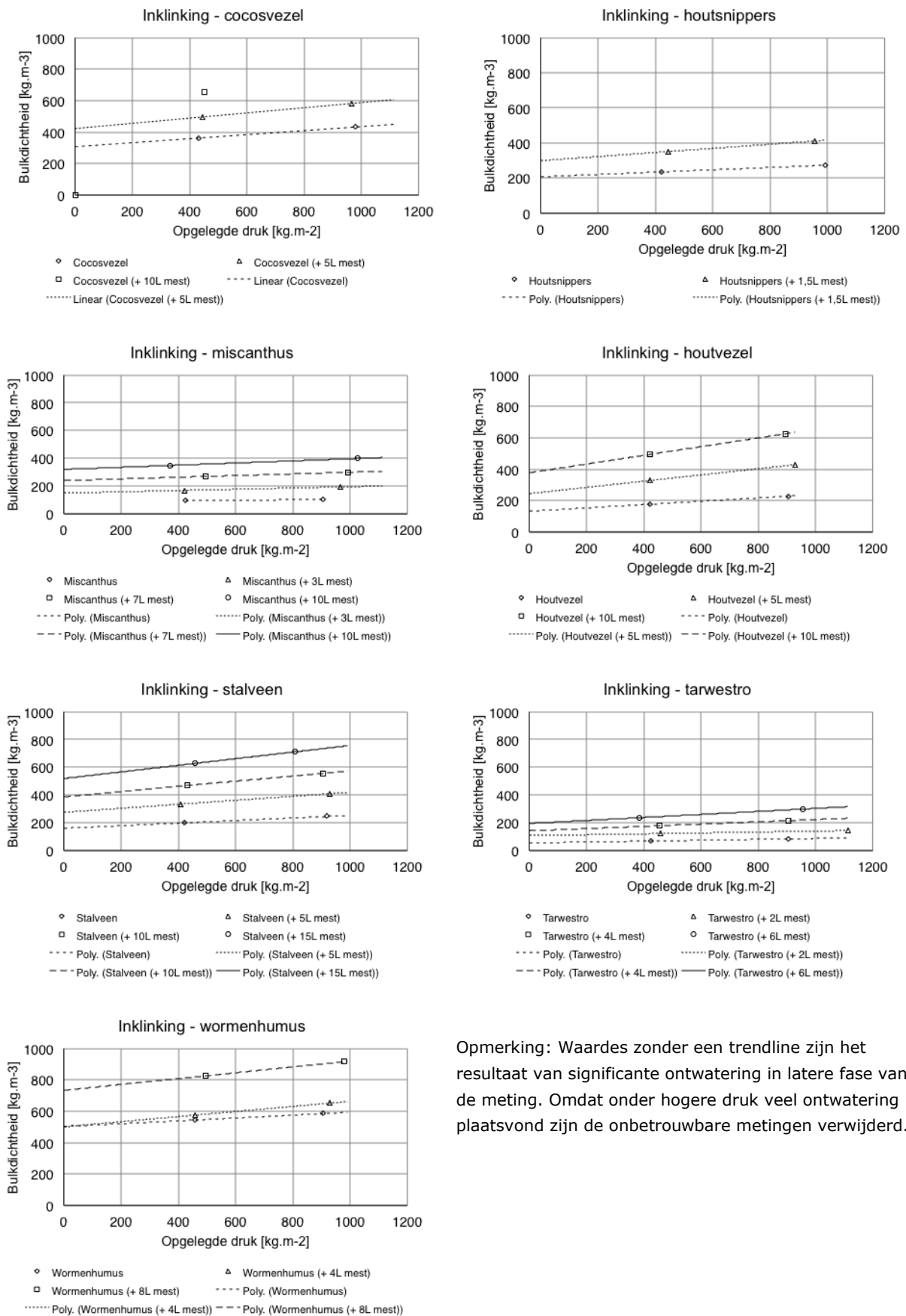
### 3.4.3 Luchtdoorlatendheid

Luchtdoorlatendheid van het bodemmateriaal is de parameter die aangeeft hoeveel weerstand (in drukval) kan worden verwacht bij (geforceerde) beluchting (Figuur 3.3). Deze parameter is te vergelijken met porositeit, maar de vorm van de deeltjes worden ook meegenomen in de berekening. Een zeer lage waarde betekent (i) dat er veel vermogen is vereist van een blazer en (ii) dat passieve compostering (dat gebruik maakt van het principe van natuurlijke convectie) waarschijnlijk geen reële optie is. In lijn met de porositeitprofielen vertoont wormenhumus de laagste luchtdoorlatendheid. De waarden laten ook zien dat door toevoeging van mest de luchtdoorlatendheid van wormenhumus steeds sneller

---

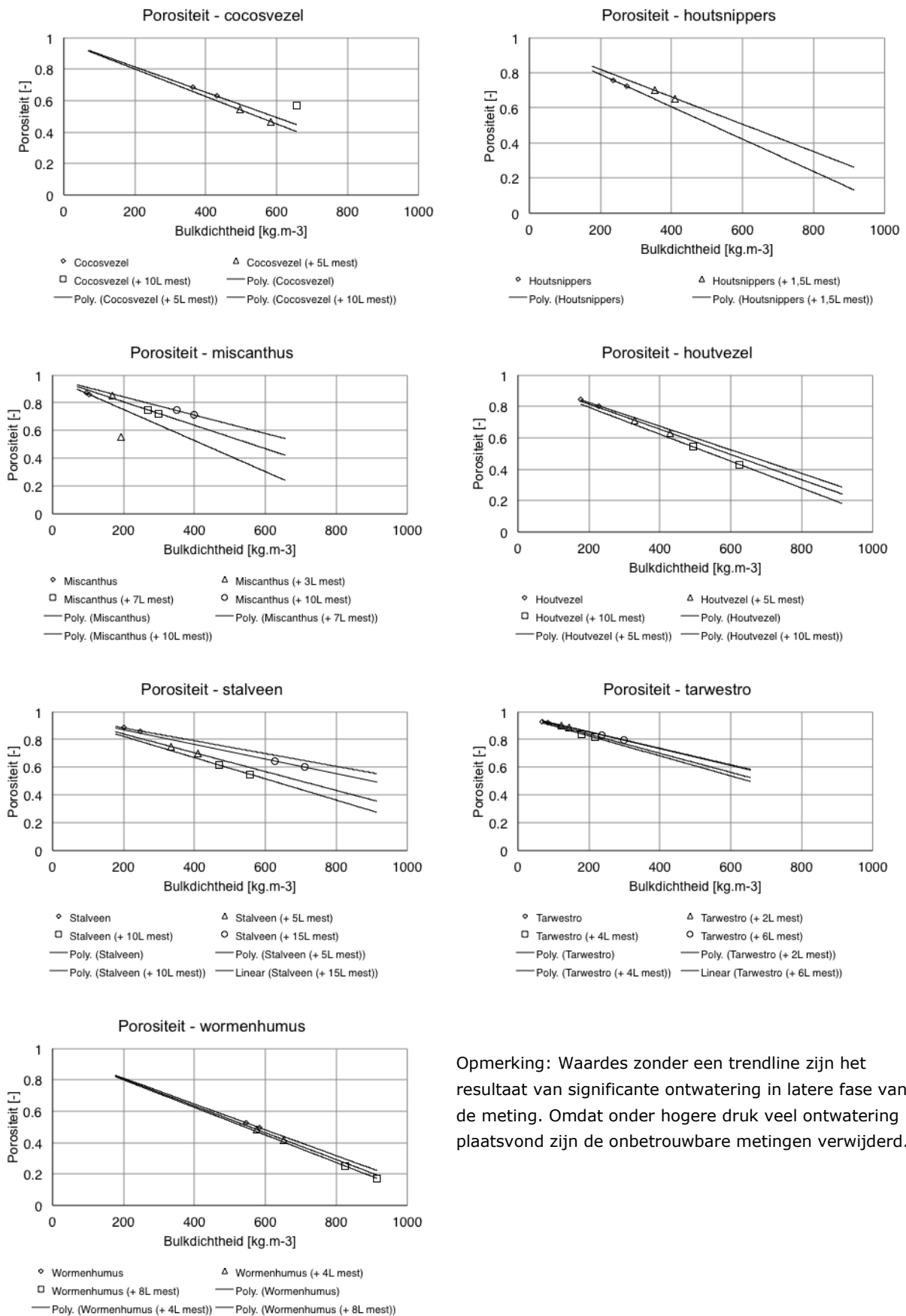
verslechtert. Hoewel een kleine toename van bulkdichtheid een snelle vermindering betekent in luchtdoorlatendheid, blijven deze waardes bij miscanthus en tarwestro consistent hoog. Naast wormenhumus, vertonen stalveen en enigszins kokosvezelmix lage waardes. De resultaten voor houtsnippers daarentegen laten hoge en weinig veranderende beluchtbaarheid zien. Hoewel houtvezel een redelijk vergelijkbare porositeit demonstreerde met houtsnippers, zijn de waardes van luchtdoorlatendheid van houtvezel veel lager dan die van houtsnippers. Terwijl bij houtsnippers het toenemen van bulkdichtheid weinig effect heeft op de doorluchtbaarheid, neemt bij houtvezel de weerstand tot beluchting sterk toe.





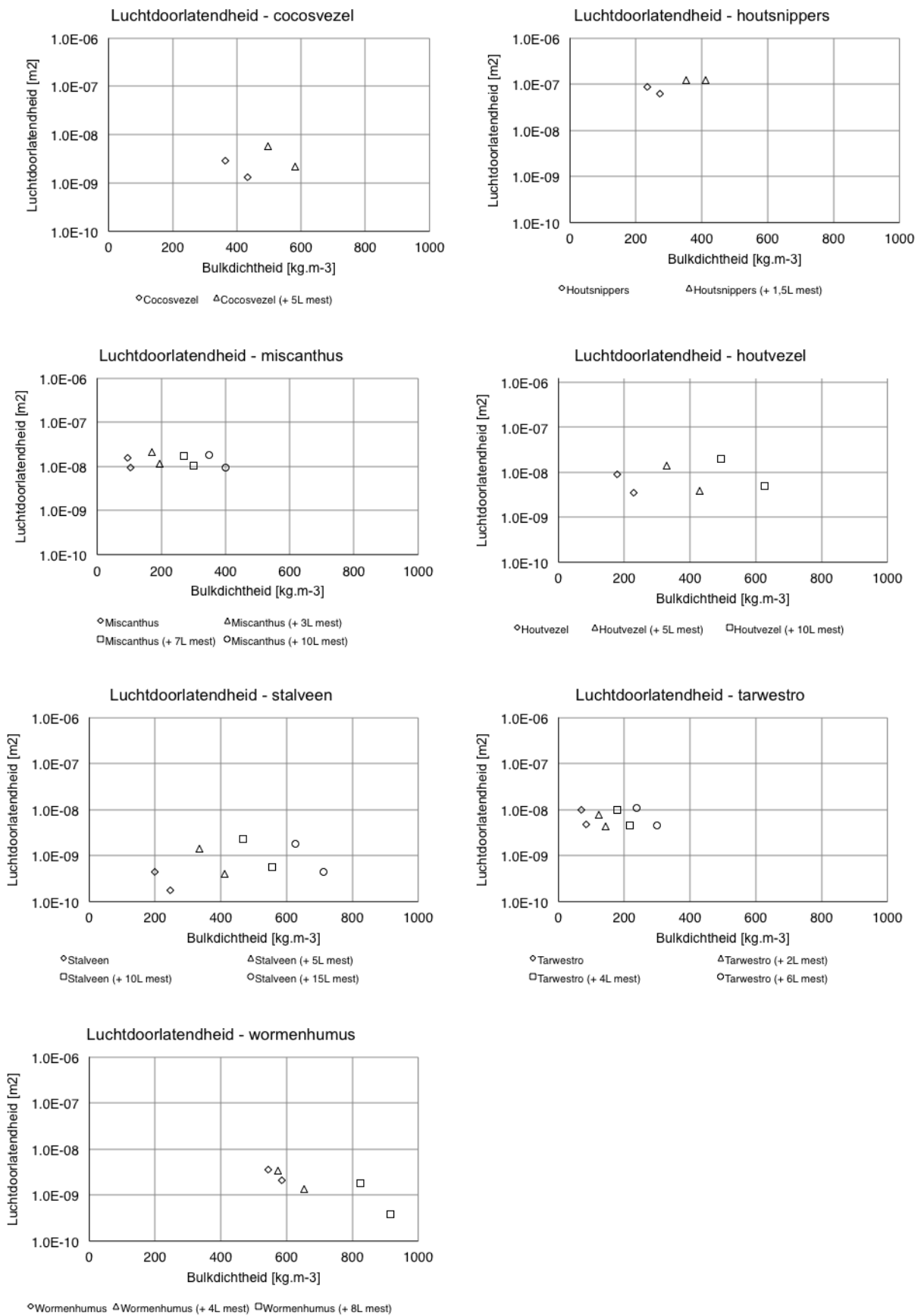
Opmerking: Waardes zonder een trendline zijn het resultaat van significante ontwatering in latere fase van de meting. Omdat onder hogere druk veel ontwatering plaatsvond zijn de onbetrouwbare metingen verwijderd.

**Figuur 3.1** Veranderingen in bulkdichtheid in relatie tot opgelegde druk.



Opmerking: Waardes zonder een trendline zijn het resultaat van significante ontwatering in latere fase van de meting. Omdat onder hogere druk veel ontwatering plaatsvond zijn de onbetrouwbare metingen verwijderd.

**Figuur 3.2** Porositeit en bulkdichtheidrelaties van de onderzochte bodems.



**Figuur 3.3** Luchtdoorlatendheid en bulkdichtheidrelaties van de onderzochte bodems.

### 3.4.4 Deeltjesgrootte

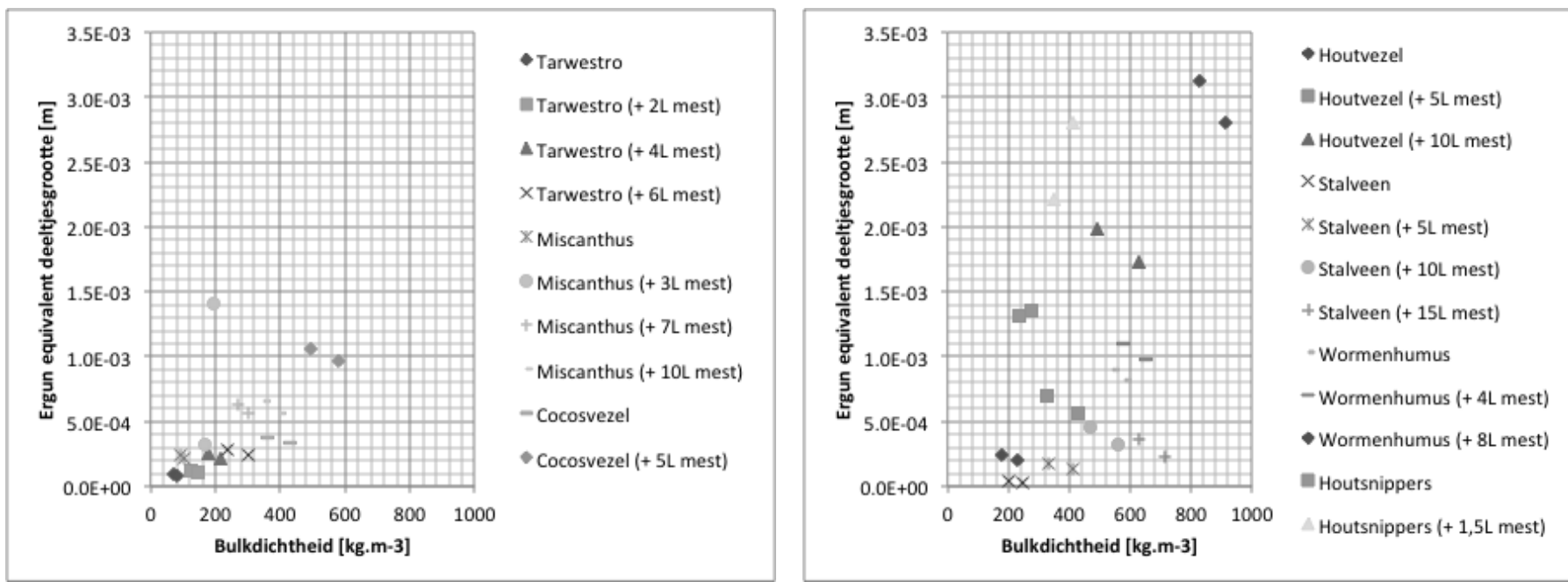
Een algemene regel van deeltjesgrootte is dat bij aerobe afbraak de vermindering van organische stof een verkleining van deeltjes teweegbrengt. In het kader van het huidige onderzoek was het niet mogelijk om deze trend te observeren. (Desondanks zijn de waardes te gebruiken in het VRIJLOOP-model.) Tabel 6 toont de berekende deeltjesgroottewaardes bij de start en aan het eind van de pycnometermetingen. De waardes zijn gebaseerd op metingen die steeds binnen een dag werden voltooid.

Tabel 6

*Gemiddelde deeltjesgrootte in de bodemmonsters (zonder toevoeging van mest) in het begin en eind van de pycnometer-metingen.*

Materiaal	Deeltjesgrootte (Ergun equivalent)	
	Start [m]	Eind [m]
kokosvezelmix	3,7E-04	3,3E-04
Houtsnippers	1,3E-03	1,4E-03
Houtvezel	2,4E-04	2,0E-04
Miscanthus	2,4E-04	2,1E-04
Tarwestro	9,7E-05	8,0E-05
Stalveen	3,6E-05	2,8E-05
Wormenhumus	9,0E-04	8,2E-04

Figuur 3.4 presenteert alle berekende deeltjesgroottes uit de pycnometer-metingen. Er is een sterke correlatie te observeren in de figuren. Hoe hoger de bulkdichtheid, des te groter zijn de gemiddelde deeltjes in een materiaal. Bij grotere deeltjes zijn ook grotere variaties in de waarden te zien in beide figuren. Houtvezel is volgens de berekeningen het materiaal met de grootste deeltjes. Opvallend is dat dan de grote 'korrels' van dit materiaal zich niet vertalen in een blijvend goede beluchtingseigenschap.



**Figuur 3.4** Berekende Ergon equivalent deeltjesgroottes in de bodem en mestbodem monsters.

## 4 Discussie

### 4.1 Relevantie voor aerobe afbraak (co-compostering)

In het kader van deze bodemevaluatie werd respiratiesnelheid gemeten om te bekijken in hoeverre een bodem kan mee composteren met de geproduceerde koemest in de stal. Om stabiele evaluatiecriteria te gebruiken (Tabel 7) werd de classificatie van Emis/VITO (2012) gebruikt. Hoewel het bedoeld is voor compostproducten, levert het een duidelijke sortering en uitleg op over de activiteit van de onderzochte materialen.

Tabel 7

*Respiratiesnelheid en bijhorende stabiliteitsgraad van de onderzochte materialen (eerste meting).*

Materiaal	Respiratiesnelheid [mmol O <sub>2</sub> .kg OS <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> ]	Stabiliteitsgraad* [-]
kocosvezelmix	3,7	Zeer stabiel, weinig activiteit
Houtsnippers	7,2	Stabiel, beperkte activiteit
Houtvezel	3,4	Zeer stabiel, weinig activiteit
Miscanthus	9,2	Stabiel, beperkte activiteit
Tarwestro	20,5	Relatief vers, hoge activiteit
Stalveen	<2,0	Zeer stabiel, weinig activiteit
Wormenhumus	-	-

\* Op basis van Emis/VITO (2012) (zie bijlage 8.3).

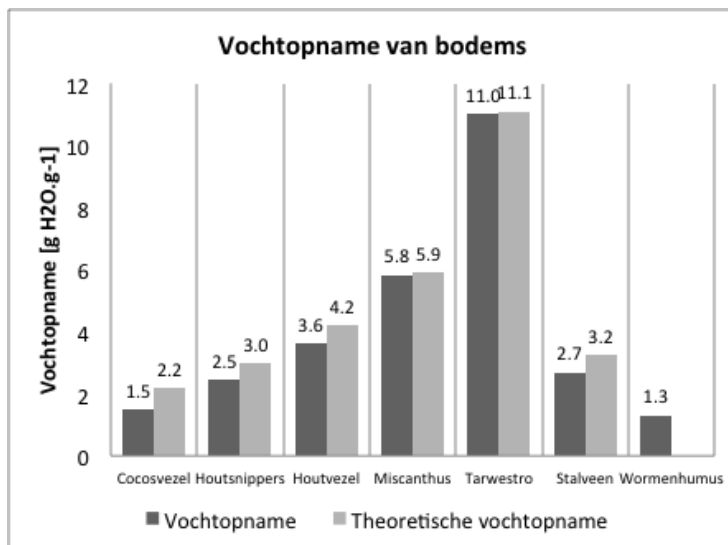
Een hogere respiratiesnelheid is een indicatie van een hoger niveau van co-compostering. In combinatie met een hogere concentratie van (afbreekbare) C in het bodemmateriaal geeft een hoge respiratiesnelheid aan dat de bodem een efficiënte afbraak van mest stimuleert en dat het de emissie van de geproduceerde NH<sub>4</sub><sup>+</sup> remt en de N-component stabiliseert en integreert in het gecomposteerde materiaal. Als enige uit de test vertoont tarwestro een hoge activiteit. Miscanthus en houtsnippers laten daarna de hoogste activiteit zien. De rest van de materialen zijn stabiel of zeer stabiel, daarom minder geschikt als mee-composterende materialen.

### 4.2 Vochtopname

De uitgevoerde vochtopnamemethoden leveren belangrijke informatie op. Allereerst blijkt uit een vergelijking van de twee methoden dat WHC2 (Collins, 2012) een meer nauwkeurige analyse beschrijft omdat het absorptievermogen (en niet de vochttopslag tussen de delen) nauwkeuriger kan worden bepaald. Omdat verdamping en vochtopname niet betrouwbaar te meten zijn, lijkt WHC2 beter de werkelijke processen te benaderen dan WHC1. Hoewel de WHC1-waardes ook als representatief geaccepteerd kunnen worden, wordt aanbevolen om in de toekomst gebruik te maken van de Collins-procedure.

Vergelijking van de analyseresultaten van de WHC2 methode met de WHC1 waardes toont dat de waardes van tarwestro en miscanthus lager en de Legro-waardes hoger uitvallen voor WHC2. De tegenoverstelde trends zijn waarschijnlijk een gevolg van een verschil tussen vochtopname-capaciteit in de deeltjes (absorberende vermogen) en tussen de vaste deeltjes (ten gevolge van porositeit) van de substraten. In de praktijk worden deze waardes natuurlijk aangepast op basis van de dagelijkse hoeveelheid verdamping of de wisselende bulkdichtheid o.b.v. omzetten, inklinking en afbraak. Een andere relevante factor die de vochtopname beïnvloedt, is: in sommige van de onderzochte materialen (b.v. tarwestro en miscanthus) kan de bewerking (kneuzing of hakselen) de vochtopname positief beïnvloeden omdat de geopende structuur meer porositeit biedt in de vaste matrix. In de praktijk zal de kwaliteit van het bodemmateriaal variëren. Waar DS afwijkt van de hier verkregen waardes, zal de vochtopname ook afwijken van de hier beschreven resultaten. Een berekening (figuur

4.1) laat de relatie tussen de theoretische vochtopname en de gemeten waarden uit de WHC1 waarden zien.



**Figuur 4.1** Werkelijke en theoretische vochtopnames van enkele bodemmaterialen.

Zoals Figuur 4.1 laat zien, verschilt de werkelijke vochtopnamen maar weinig van die van de luchtdroge materialen. Dat heeft waarschijnlijk te maken met het hoge DS-gehalte van de oorspronkelijke monsters. Omdat het plaatselijke bodembeheer veel onbekende parameters kent, kunnen de gemeten waarden (zowel uit WHC1 en WHC2) worden gebruikt voor berekeningen van praktijkscenario's. De relatie tussen vochtopnamecapaciteit en verwachte retentietijd van de bodem in de vrijloopstal is weergegeven in Tabel 10.

### 4.3 Kwaliteit van structuur

De berekende mechanische sterkte – de weerstand tegen inklinking – is weergegeven in Tabel 8. Hoewel de verwachting is dat mechanische sterkte afneemt met het toenemen van het vochtgehalte en het afnemen van organische stofgehalte (met het voortgang van de aerobe afbraak), weerspiegelen de resultaten een toename van de mechanische sterkte met de toename van mesttoevoeging aan de bodemmaterialen. Dit is een verrassend resultaat en toont aan dat de mechanische sterkte voornamelijk afhangt van de aerobe afbraak en niet van het DS-gehalte.

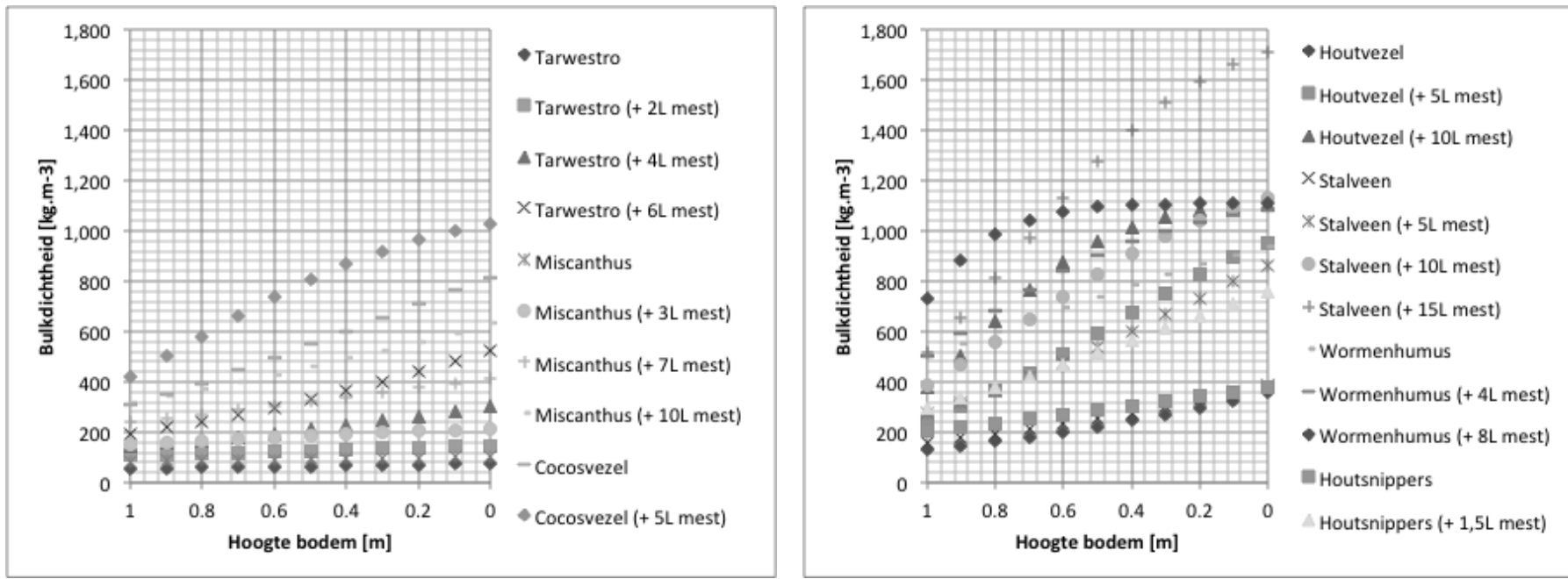


Tabel 8

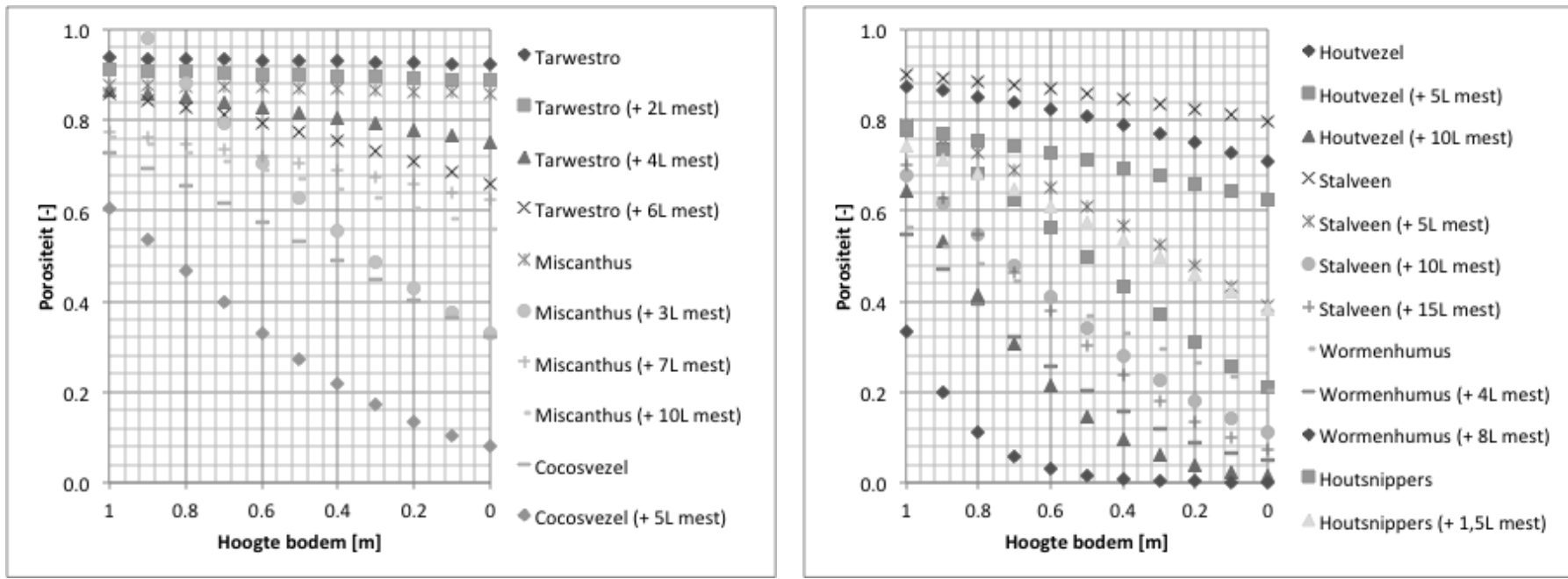
*Mechanische sterkte van de onderzochte materialen en mestbodemmengsels (eerste meting).*

Materiaal	Mechanische sterkte
	[J.kg <sup>-1</sup> ]
Cocosvezel	1,5E-04
<i>Cocosvezel (+ 5L mest)</i>	2,7E-04
Houtsnippers	8,1E-05
<i>Houtsnippers (+ 1,5L mest)</i>	1,3E-04
Houtvezel	9,5E-05
<i>Houtvezel (+ 5L mest)</i>	2,2E-04
<i>Houtvezel (+ 10L mest)</i>	4,4E-04
Miscanthus	2,4E-05
<i>Miscanthus (+ 3L mest)</i>	6,6E-04
<i>Miscanthus (+ 7L mest)</i>	6,8E-05
<i>Miscanthus (+ 10L mest)</i>	6,9E-05
Tarwestro	2,4E-05
<i>Tarwestro (+ 2L mest)</i>	2,1E-05
<i>Tarwestro (+ 4L mest)</i>	6,8E-05
<i>Tarwestro (+ 6L mest)</i>	7,9E-05
Stalveen	4,9E-05
<i>Stalveen (+ 5L mest)</i>	1,3E-04
<i>Stalveen (+ 10L mest)</i>	2,3E-04
<i>Stalveen (+ 15L mest)</i>	1,9E-04
Wormenhumus	1,4E-04
<i>Wormenhumus (+ 4L mest)</i>	2,8E-04

Omdat er aanzienlijk veel mest toegevoegd was aan de droge monsters in de pycnometer, zorgde het extra vocht voor meer vochtig, dus niet-samenpersbaar materiaal. Dit is van belang voor het gebruik van bodemmateriaal in de stal. Met een geleidelijke toevoeging van materiaal in een bodem waar het regime toegespitst is op vochtopname, kunnen boeren voordeel hebben van de blijvende of zelfs toenemende mechanische sterkte op de korte termijn. Echter, met een afnemende structuur als gevolg van afbraak is deze trend van verbetering op de lange termijn niet waarschijnlijk.



**Figuur 4.2** Bulkdichtheid in het verticale profiel van de onderzochte vrijloopbodems (berekend op een bodemhoogte van 1 m).



**Figuur 4.3** Porositeit in het verticale profiel van de onderzochte vrijloopbodems (berekend op een bodemhoogte van 1m).

In de Figuren 4.2 en 4.3 zijn de verticale profielen van bulkdichtheid en porositeit in de bodems weergegeven. Stalveen, wormenhumus en, houtvezel tonen een sterk groeiende bulkdichtheid naar de onderkant van de bodem toe. De grootste groei hoort bij de stalveenmestmengsel (+15L). Dit bereikt al vanaf een diepte van 30 cm een bulkdichtheid van ca.1000 kg.m<sup>-3</sup>. Alleen houtsnippers, miscanthus en tarwestro blijven onder 800 kg.m<sup>-3</sup> over het hele diepteprofiel heen. De waarden van kokosvezelmix laten uiteenlopende waarden zien, maar zelfs hier wordt 800 kg.m<sup>-3</sup> nauwelijks overschreden op de onderkant van de bodem (bij 0 cm). Vooral bij passieve beluchting is dat een gewenste zone.

Tarwestro, miscanthus en houtsnippers hebben hoge porositeitswaarden en ze verliezen weinig daarvan in het verticale profiel van de bodems. Dit heeft vooral te maken met de lage bulkdichtheid van deze drie materialen. Dit toont een goede benutbaarheid in vrijloopstallen voor een aerob composteringproces. Het is wel belangrijk om te waarschuwen dat een afbraakproces – gecombineerd met de gewichtsbelasting van de melkkoeien – voor een veel slechtere porositeit zorgt in de onderlaag van de bodems. De grootste verliezen in porositeit zijn te zien bij houtvezel, en vooral bij wormenhumus. Deze laatste wordt al bij een diepte van 40 cm bijna volledig compact (porositeit = 0).

## 4.4 Verwachte retentietijd

Een scenario-analyse is uitgevoerd met de basisparameters van Tabel 9 om de te verwachten jaarlijkse materiaalbehoefte te kwantificeren. Er is uitgegaan van een vochtbelasting van 75 L per koe per dag op een oppervlakte van 15 m<sup>2</sup> bij een 60 cm hoge bodem. Om het scenario overzichtelijk en de materialen vergelijkbaar te houden, werd de verdamping vanuit de stalbodems berekend met een constante waarde van 50%. (aangenomen is dat 50% van het dagelijks toegevoegd vocht binnen 24 uur verdampt.) Ook werd aangenomen dat slechts 50% van de dagelijkse mest- en urinebelasting op de (an)organische bodem terecht komt. Volgens het scenario komt de rest van de feces en urine terecht op de roostervloer/in de mestkelder.

In Tabel 10 is een theoretische scenario-analyse berekend. Omdat er geen bulkdichtheid bekend was voor de monsters uit de tweede reeks, werd aangenomen dat de bulkdichtheden overeen kwamen met de waarden uit de metingen van de eerste reeks. Dit maakt de berekening van de tweede reeks materialen enigszins minder betrouwbaar. Gezien de heterogeniteit van zowel bodemmaterialen als het plaatselijke bodembeheer kunnen de waarden uit Tabel 10 dienen als relatief goede indicatoren voor de praktijk, maar gebruik van deze waarden vereist waakzaamheid.

Tabel 9

*Basisgegevens voor de scenarioanalyse.*

Parameter	Waarde	Eenheid
Dagelijkse toevoeging vocht uit koemest	75	L
Fractie mest op de organische bodem*	50	%
Verdamping toegevoegde vocht	50	%
Ruimte per koe op bodem	15	m <sup>2</sup>
Diepte bodem	0,6	m
Volume bodem per koe	9	m <sup>3</sup>
Dagelijks toegevoegde vocht	2,08	L.m <sup>-3</sup> bodem.d <sup>-1</sup>

\* De resterende fractie is verzameld van de roostervloer.

In de Tabellen 10 en 11 zijn de verwachte retentietijd en de jaarlijkse materiaalbehoefte aangegeven volgens onderstaande berekeningen. De *maximum vochtopname* van 1 m<sup>3</sup> bodemmateriaal [kg H<sub>2</sub>O.m<sup>-3</sup>] is berekend op basis van de gemeten *vochtopname* [g H<sub>2</sub>O.g<sup>-1</sup>] en de *bulkdichtheid* van het materiaal [kg.m<sup>-3</sup>].

$$\text{Maximum vochtopname} = \text{vochtopname} * \text{bulkdichtheid}$$

Hieruit is de *verwachte retentietijd* (periode van verblijf in de stal; in aantal dagen) van 1 m<sup>3</sup> bodemmateriaal in de stal te berekenen als:

$$\text{Verwachte retentietijd} = \frac{\text{Maximum vochtopname}}{\text{Dagelijks vochtbelasting}}$$

Het dagelijks toegevoegde vocht is weergegeven in L.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup> (zie Tabel 9). *Jaarlijks materiaalbehoefte* [d] is berekend op basis van de te *verwachte retentietijd*. In de vergelijking staat '365' voor het aantal dagen per jaar.

$$\text{Jaarlijks materiaalbehoefte} = \frac{365}{\text{verwachte retentietijd}}$$

Tabel 10

*Geschatte jaarlijkse behoefte voor diverse bodemmaterialen (eerste meting).*

Materiaal	Maximum vochtopname* [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> bodem]	Verwachte retentietijd [d]	Jaarlijks materiaalbehoefte [m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> bodem.jaar <sup>-1</sup> ]
kokosvezelmixl	0,54	257,82	1,42
Houtsnippers	0,58	277,83	1,31
Houtvezel	0,64	306,47	1,19
Miscanthus	0,55	263,99	1,38
Tarwestro bewerkt	0,76	364,36	1,00
Stalveen	0,54	257,58	1,42
Wormenhumus	0,70	338,00	1,08

\* Volgens WHC1, oftewel de 'emmer-methode'.

De op WHC 1 gebaseerde resultaten in Tabel 10 geven aan dat zelfs zonder verdamping alle bodems een capaciteit van minstens 257 staldagen hebben (ongeveer 8,5 maanden). Tarwestro blijkt de langste retentietijd te hebben met 364 dagen, gevolgd door wormenhumus met ook bijna een heel jaar. Omdat alle bodems een redelijk vergelijkbare materiaalbehoefte vertonen (ca. 1,0-1,42 m<sup>3</sup>), wegen beschikbaarheid en kosten van materiaal zwaar bij de uiteindelijke bodemkeuze. (NB. de WHC1, oftewel emmermethode is minder nauwkeurig dan de later uitgevoerde WHC2 (Collins) procedure.)

Tabel 11

*Geschatte jaarlijkse behoefte voor de diverse bodemmaterialen.*

Materiaal	Maximum vochtopname	Verwachte retentietijd*	Jaarlijks materiaalbehoefte**
<i>WHC1 (emmer-methode)</i>			
	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]	[d]	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> bodem.jaar <sup>-1</sup> ]
Tarwestro II – onbewerkt	1,19	568,84	0,64
Tarwestro II – bewerkt	0,57	274,50	1,33
Miscanthus II – onbewerkt	0,39	185,98	1,96
Miscanthus II – bewerkt	0,43	208,66	1,75
Legro I	0,48	230,17	1,59
Legro II	0,52	249,35	1,46
Legro III	0,38	182,22	2,00
<i>WHC2 (Collins-methode)</i>			
	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ]	[d]	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> bodem.jaar <sup>-1</sup> ]
Tarwestro II – onbewerkt	0,21	98,89	3,69
Tarwestro II – bewerkt	0,25	120,05	3,04
Miscanthus II – onbewerkt	0,24	117,03	3,12
Miscanthus II – bewerkt	0,25	120,66	3,03
Legro I	0,69	328,95	1,11
Legro II	0,61	294,43	1,24
Legro III	0,51	242,64	1,50

\*Op basis van de bulkdichtheidwaardes (Tabel 5) van tarwestro, miscanthus en stalveen (voor de Legro monsters).

\*\* Op basis van de vochtopnamewaardes van de WHC2 metingen.

De twee vochtbepalingsmethoden (WHC1 én WHC2) leveren een zeer afwijkend beeld voor de vochtopnamecapaciteit van de potentiële bodemmaterialen. De lagere vochtopname bij de WHC2-methode resulteren in veel kortere retentietijden van de materialen. Dat betekent een hogere

materiaalbehoefte per jaar. Jaarlijks eist zowel tarwestro als miscanthus >3 m<sup>3</sup> materiaal per m<sup>3</sup> bodemvolume per jaar. De resultaten van de Legro monsters tonen een veel gunstiger beeld waar de jaarlijkse materiaalbehoefte niet hoger is dan 1,5 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup> bodem.jaar<sup>-1</sup>. De relatief minder positieve waarden van tarwestro en miscanthus in vergelijking met de resultaten van WHC1 zijn mogelijk een oorzaak van het ingesloten vocht in de tussenruimtes van de stengels van de twee materialen.

## 4.5 Geschiktheidsanalyse

### 4.5.1 Bepalen van het classificatiekader

In deze paragraaf wordt een eerste versie van een nieuwe classificatiesysteem beschreven. Dit systeem heeft het doel praktische indicaties te geven over de geschiktheid van diverse organische materialen voor een composterende of vochttopnemende vrijloopstal. Geschiktheid van bodems in vrijloopstallen hangt sterk af of ze benut worden als absorberende (vochttopnemende) of als stabiliserende (afbrekende) bodem. Het beoordelingsschema en de beschreven methode is bedoeld (i) om een indicatie te geven over bodemgeschiktheid in de praktijk en (ii) als een discussiestuk voor verdere verbetering van het analyseren van bodems in het kader van het lopende onderzoek naar vrijloopstallen.

Tabel 12 geeft aan hoe de geschiktheid van bodemmateriële wordt beoordeeld.

Tabel 12

*Basiswaardes voor bodemclassificatie.*

Kwaliteit	C/N	Afbraak	Porositeit*	Bodembehoefte**
	[-]	[mmol O <sub>2</sub> .kg OS <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> ]	[-]	[m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> bodem.jaar <sup>-1</sup> ]
+ (geschikt)	>35	>10	>0,6	<1,5
0 (matig geschikt)	20-35	5-10	0,4-0,6	1,5-2
- (mogelijk ongeschikt)	<20	<5	<0,4	>2
Composteren	<b>meegenomen</b>	<b>meegenomen</b>	<b>meegenomen</b>	<i>niet meegenomen</i>
Absorberen	<i>niet meegenomen</i>	<i>niet meegenomen</i>	<b>meegenomen</b>	<b>meegenomen</b>

\*Bij porositeit wordt zowel toevoeging van mest en inklinking bij een diepte van 60 cm meegenomen. De basis van beoordeling is Figuur 4.3.

\*\*Bodembehoefte is bepaald op basis van de staltijd van bodemmateriële volgens de bij het materiaal onderzochte vochttopnamecapaciteit.

Uit tabel 12 blijkt dat onderscheid wordt gemaakt tussen bodemmateriële die gebruikt worden om mest te composteren voor een droge top-bodem en bodemmateriële die gebruikt worden voor het absorberen en opslaan van alle vocht uit feces en urine. Bij het C/N gehalte wordt ervan uitgegaan dat een waarde van 35 of hoger een efficiënte (lees: ammoniakemissie-arme) compostering bevordert. Onder een C/N van 20 wordt er significante ammoniakemissie verwacht. In geval van lage respiratiesnelheden (<5 mmol O<sub>2</sub>.kg OS<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) wordt verondersteld dat het bodemmateriële onvoldoende organische C levert voor de aerobe afbraak. Ammoniakemissie is zeer waarschijnlijk. (De 'Afbraak' categorieën maken gebruik van de Emis/VITO (2012) classificatie; zie bijlage 7.3). Bij porositeit wordt er uitgegaan van een bodem met een diepte van 60 cm. Dit deel van de analyse gebruikt Figuur 4.3 als basis (in de regio 1-0,4 m). De uiteindelijke geschiktheid voor composteren of absorberen wordt bepaald door verschillende karakteristieken van de bodemmateriële (zie Tabel 12). Als een waarde zich op of zeer dichtbij een classificatiegrens bevindt, wordt dat met een dubbele categorie aangeduid. Hetzelfde geldt voor waarden die afwijken van typische waarden voor een bodemmateriële. Voorbeeld: C/N waarde voor miscanthus wijkt af van de typische miscanthuswaarden; daarom wordt de kwaliteit met een 0/+ in plaats van 0 aangegeven (Tabel 13).

Als laatste moet gemeld worden dat een hoog materiaalgebruik in de stal (voor absorptie) niet noodzakelijk leidt tot ongeschiktheid van het bodemmateriële. Afhankelijk van de huidige stalpraktijk kan een behoefte van >2 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup> bodem.jaar<sup>-1</sup> mogelijk nog steeds gezien worden als (economisch) acceptabel.

## 4.5.2 Analyse bodemgeschiktheid

Tabel 13 geeft de resultaten weer van de bodembeoordeling. Voordat de geschiktheid van bodems voor compostering óf absorptie besproken kan worden, is het belangrijk om te weten dat door focus op één bepaald bodemproces andere processen niet aan de orde komen. Ongeacht de focus op een absorberend of een afbraakgericht regime, zullen bodemmateriële altijd beide eigenschappen vertonen. Het onderscheid laat alleen zien wat het primaire doel van de bodem is in een vrijloopstal. Om een voorbeeld te geven: compostierende bodems in een koude (winter)periode kunnen als vochtopnemende bodems functioneren, ook als het bodemregime gericht is op afbraak.

In tabel 13 moet onderscheid gemaakt worden tussen de eerste (standaard lettertype) en tweede reeks bodemmateriële (cursief lettertype). Dit onderscheid is nodig vanwege het beperkt aantal gemeten parameters voor de tweede reeks materiële. Vanwege het gebrek aan parameters (het pycnometersonderzoek is bij de tweede reeks materiële niet uitgevoerd) is het niet mogelijk om de afbraak-gerelateerde geschiktheid van de tweede reeks materiële te schatten. Voor deze bodemmateriële is de geschiktheid geschat voor een regime met de focus op vochtopname.

In de paragraaf 4.4 is aangegeven dat bijna alle monsters van de eerste reeks een lage tot matige respiratiesnelheid vertonen. Voor tarwestro is er een sterke indicatie voor een beperkte rol in het remmen van ammoniakemissies in vrijloopstallen. Dat neemt niet weg dat via absorptie een significante hoeveelheid vocht (en NH<sub>3</sub>) ingesloten kan worden in de vaste matrix van de materiële; het biedt wel minder kansen om deze materiële te benutten voor een afbraak-georiënteerd bodembeheer volgens het RAV-beleid.

De geschiktheid voor een afbraak-georiënteerd bodembeheer wordt bepaald door combinatie van de waarderingen van de categorieën C/N, afbraak en porositeit. De geschiktheid van een bodem voor een mestopvang-georiënteerd bodemregime wordt bepaald door de waardering voor porositeit en vochtopname te combineren. Bij gebrek aan C/N, afbraak en porositeitswaardes, wordt bij de tweede reeks materiële alleen naar het absorberende vermogen gekeken.

**Tabel 13**

*Overzicht bodemkwaliteit en geschiktheid voor afbraak en opvang-regime.*

Materiaal	C/N	Afbraak	Porositeit	Vochtopname		Beheer-kwaliteit	
				Emmer-methode	Collins-methode	Composteren	Absorberen
Kokosvezelmix	+	-	0	+	onbekend	0	0
Houtsnippers	+*	0	+	+	onbekend	0/+	+
Houtvezel	-	-	0	+	onbekend	0	0
Miscanthus	0/+*	0/+	+	+	onbekend	0/+	+
Tarwestro	+	+	+	+	onbekend	+	+
Stalveen	-	-	-	+	onbekend	-	0
Wormenhumus	+	onbekend	-	+	onbekend	0	0
<i>Tarwestro II – onbewerkt</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	+	-	<i>Geen indicatie</i>	<i>-/0</i>
<i>Tarwestro II – bewerkt</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	+	-	<i>Geen indicatie</i>	<i>-/0</i>
<i>Miscanthus II – onbewerkt</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	0	-	<i>Geen indicatie</i>	-
<i>Miscanthus II – bewerkt</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	0	-	<i>Geen indicatie</i>	-
<i>Legro I</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	0	+	<i>Geen indicatie</i>	0/+
<i>Legro II</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	0	+	<i>Geen indicatie</i>	0/+
<i>Legro III</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	<i>onbekend</i>	0	+	<i>Geen indicatie</i>	0/+

\*Typische C/N waardes van materiaal ook met de gemeten waardes meegenomen in toekennen waarde.

Volgens de eerste scenario-analyse (Tabel 13) zijn tarwestro, houtsnippers en miscanthus technisch gezien de meest geschikte bodems om te gebruiken in vrijloopstallen. Dit geldt zowel voor composteringsgerichte als voor absorberende regimes. In geval van kokosvezelmix en houtvezel is de absorberende kwaliteit beoordeeld met 0 in plaats van 0/+. Dit heeft te maken met de kwaliteit van de WHC1 metingen. Doordat een te hoge absorptiecapaciteit gemeten is in WHC1, wordt het oordeel voor 'Absorberen' naar beneden bijgesteld. In deze paragraaf blijkt tarwestro de beste kandidaat te zijn voor een compostierende bodem.



---

Uit deze analyse blijken houtsnippers, houtvezel en miscanthus beperkt nuttig als absorberende bodemmaterialen (volgens de WHC2 methode), omdat deze materialen jaarlijks meer dan 1,5 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> bodemruimte gebruiken. Gezien het relatief kleine verschil met de Legro resultaten wordt aanbevolen om zowel Legro als tarwestro en miscanthus mee te nemen in een eventuele keuzeproces.

De conclusie luidt dat:

- de Collins-methode (WHC2-methode) de meest betrouwbare vochttopnamemethode is, ook voor de praktijk. Dit resulteert in een betrouwbare vaststelling van het materiaalgebruik per melkkoe per jaar;
- tarwestro, miscanthus of houtsnippers zijn te gebruiken als beste composterende bodemmaterialen; veenmosveen (of Legro veenmosveen) als beste absorberende bodemmaterialen.

---

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Tien potentiële bodemmaterialen zijn geëvalueerd op toepasbaarheid in vrijloopstallen in Nederland. Het onderzoek heeft waarden van samenstelling, respiratiesnelheid, vochtopname en fysieke eigenschappen van deze materialen vastgesteld. De resultaten geven aan dat de geselecteerde bodemmaterialen – met uitzondering van tarwestro – een beperkte functie hebben als meecomposterende materialen met de geproduceerde koemest. Naast tarwestro zijn houtsnippers en miscanthus ook redelijk geschikt voor bodembeheer waar het mestbodemmengsel een ammoniakemissiearme conversie mogelijk moet maken. Hoewel tarwestro een laag C/N gehalte in dit onderzoek liet zien, liggen de typische waarden van dit materiaal in de optimale zone voor emissiebeperking.

Dit onderzoek werkte met twee verschillende vochtopnamemethoden. De metingen geven geen duidelijke trend weer tussen de 'emmer-' (WHC1) en de 'Collins-methode' (WHC2). Dit heeft mogelijk te maken met het verschil tussen vochtbehoud *in* (absorberen) of *tussen* de vaste deeltjes (vochttopslag in de tussenruimtes van stengedelen) van de bodemmaterialen. Gezien de meer consistente waarden van de meetprocedure wordt aanbevolen om met de Collins-methode te werken in de toekomst.

Een belangrijk resultaat van dit onderzoek betreft bewerkte bodemmaterialen die een significant andere vochtopnamecapaciteit vertonen ten opzichte van niet-bewerkte materialen. Dit verschijnsel verdient verder onderzoek, evenals de potentiële combinatie van vochtopnemende en composterende materialen om adequate mengsels te ontwikkelen voor zomer- en wintergebruik in vrijloopstallen.

Heterogeniteit van organische materialen bemoeilijkt een classificatie omdat afwijkende waarden mogelijk een afwijkend oordeel betekenen. Dit is te omzeilen met het verzamelen van bodeminformatie zowel uit onderzoek als uit de praktijk. Daarom dient deze eerste opzet van de bodembeoordelingsprocedure – wellicht in gesprek met vrijloopboeren en bodemexperts – nog verder ontwikkeld te worden. In de huidige staat kan deze classificatie al een indicatie geven over materiaalgeschiktheid voor composterende of absorberende bodemregimes, maar het wordt aanbevolen om voorzichtig om te gaan met de uiteindelijke materiaalkeuze.

Dit onderzoek heeft belangrijke informatie opgeleverd over alternatieve bodemmaterialen zowel voor Nederlandse melkveehouders met een vrijloopstal als voor het recent ontwikkelde VRIJLOOP-model. Hoewel de resultaten een duidelijke indicatie geven van het nut van de onderzochte materialen voor verschillende bodemregimes, is het belangrijk om de kansrijke bodems ook procesmatig te testen op melkveebedrijven. Dergelijk onderzoek kan niet alleen de huidige resultaten versterken of verfijnen, maar ook een beter beeld geven van de consequenties (NH<sub>3</sub>-emissies en droging) van een verslechterende bodemstructuur ten gevolge van de aerobe afbraak en/of het verhoogde vochtgehalte.

---

## 6 Literatuur

- Collins, B.L. (2012) Viable Alternative Bedding Materials for Compost Bedded Pack Barns. *Kaleidoscope*: Vol. 10, Article 6. At: <http://uknowledge.uky.edu/kaleidoscope/vol10/iss1/6>
- CRC (1978) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 58<sup>th</sup> edition. Ed: RC Weast. CRC Press Publishing, West Palm Beach, FL, USA.
- Emis/VITO (2012) *Anorganische analysemethoden/Compost - Stabiliteit met gesloten respirometer*. Belgische Ministeriele resolutie CMA/2/IV/25 – Belgisch Staatsblad, 27-01-2012.
- Kasper, G.J. (2010) *Praktijkonderzoek Miscanthusteelt voor energie*. Rapport 433, Wageningen UR Livestock Research, 13 pp.
- NEN (2011) *NEN-EN 16087-1; Soil Improvers and growing media – Determination of the aerobic biological activity – Part 1: Oxygen uptake rate (OUR)*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Richard, TL, Veeken, AHM, Wilde, W de, Hamelers, HVM (2004) Air-filled porosity and permeability relationships during solid-state fermentation. *Biotechnol. Prog.* 20, p1372-1381.
- Rynk *et al.* (1992) *On-Farm Composting Handbook*. NRAES.
- Smits, MCJ, Blanken, K, Bokma, S, Galama, P, Dooren, HJ van (2011) *Bodemmaterialen voor vrijloopstallen; eigenschappen in relatie tot compostering en gasvormige emissies bij menging met mest en urine*. ISSN 1570 – 8616, Wageningen University - Livestock Research Group, Wageningen, The Netherlands.
- Szanto, GL, Dooren, HJ van, P. Galama (2015) *VRIJLOOP-programma - eindrapport*. Wageningen UR Livestock Research Group, Wageningen, The Netherlands.
- Szanto, GL, Hamelers, HVM, Rulkens, WH, Veeken, AHM (2007) *NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions during passively aerated composting of straw-rich pig manure*, 98 (14), p2659-70.
- Veeken, AHM, Szanto, GL (2002) *Extensieve compostering van varkensmest uit de biologische varkenshouderij op bedrijfsniveau*. Sectie Milieutechnologie, Wageningen Universiteit, Wageningen, Nederland.
- Veeken A.H.M., Wilde de V., Hamelers H.V.M., Moolenaar S.W., Postma R. (2003) *Oxitop Measuring System for Standardised Determination of the Respiration Rate and N-Mineralisation Rate of Organic Matter in Waste Material, Compost and Soil*, Wageningen University & NMI, 13 pp.

---

# 7 Bijlage

## 7.1 Berekening fysieke parameters voor bodemmaterialen

[in het Engels; van Szanto *et al.* (2015) gebaseerd op Veecken en Szanto (2002)]

### Compaction

Physical structure of the bedded pack dairy barn bedding is a crucial group of parameters to determine. The compaction (and the related bulk density) (Equation 1), porosity (Equation 2), permeability (Equation 3-6) and particle size (Equation 7) of the bedding materials and manure-bedding mixtures largely define the characteristics of organic matter conversion, aerobicity and bedding lifetime in the barn.

Compaction is defined as the reduction of bedding volume under any given weight load:

$$\rho(\sigma) = \rho_{max} - (\rho_{max} - \rho_i) \exp\left(-\frac{\sigma}{M}\right) \quad (\text{Equation 1}),$$

where  $\rho(\sigma)$  represents the bulk density ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) at a given weight-induced pressure  $\sigma$  and is expressed as dependent on the initial bulk density  $\rho_i$  (at zero weight load), the maximum bulk density  $\rho_{max}$  (at zero porosity) and  $M$ , the mechanical strength ( $\text{m}^2\cdot\text{N}^{-1}$ ) of the material (the ability to withstand compaction under load).

### Porosity

Porosity is the main parameter to express whether a bedding structure is likely to exhibit aerobic conversion. The extent of gaseous volume in the solids-matrix is a good indication of aerobic or anaerobic conversion. This parameter depends largely on the composition of the manure-bedding mixture and fractionation of water, organic matter (volatile solids) and ash content.

$$\epsilon = 1 - \rho_b \left[ \frac{(1-TS)}{\rho_{water}} + \frac{TS*VS}{\rho_{VS}} + \frac{TS(1-VS)}{\rho_{ash}} \right] \quad (\text{Equation 2}),$$

where the  $TS$  and  $VS$  (both in  $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and the bulk densities (in  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) of the fractions of water ( $\rho_{water}$ ), organic matter ( $\rho_{VS}$ ) and ash ( $\rho_{ash}$ ) determine porosity ( $\epsilon$ ;  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ ).

### Permeability

Permeability defines the resistance of a porous material to a flow of air or another gaseous flow through its pores. It largely depends on porosity and particle size (and form) and on the velocity of air through the solids-matrix. Permeability is described in detail in Veecken and Szanto (2002) and in Richard *et al.* (2004). In this section, only the determination of permeability is given for airflows at higher velocities. This so-called Ergun approach offers a direct relation between permeability, porosity and the physical characteristics of particles (size, form and the Reynolds number). The importance of permeability and the related decrease in air-pressure is confirmed as most bedded pack dairy barns use forced aeration to enhance organic matter conversion and regulate bedding temperature.

The pressure drop can be defined as

$$\frac{dP}{dx} = C_1 * v + C_2 * v^2 \quad \text{and also as} \quad \frac{dP}{dx} = \frac{\mu}{\kappa} * v \quad (\text{Equations 3 \& 4}),$$

where the pressure drop  $dP/dx$  ( $\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$ ) is expressed with the air velocity  $v$  ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and with  $\mu$ , the dynamic viscosity of air ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ). ( $C_1$  and  $C_2$  are constants.) Permeability is typically defined as

$$\kappa = \frac{\epsilon d_p^2}{K(1-\epsilon)} * \frac{1}{150(1-\epsilon) + 1.75Re} \quad (\text{Equation 5}),$$

where the permeability index  $\kappa$  (in  $\text{m}^2$ ) is expressed by porosity  $\epsilon$ , particles size  $d_p$  (m),  $K$  (form factor of average particle (-)) and the  $Re$ , the Reynolds-number. This number can be described as

$$Re = \frac{\rho v d_p}{\mu} \quad (\text{Equation 6}),$$

where  $\mu$  is the dynamic viscosity of air (Pa.s),  $g$  the gravitational constant ( $9.81 \text{ m.s}^{-1}$ ),  $\rho$  the bulk density of air ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) and  $v$  the velocity of the airflow ( $\text{m.s}^{-1}$ ).

### Particle size

Substituting  $Re$  of equation 6 in equation 5 and then subsequently  $\kappa$  in equation 4 allows the reorganization of equation 3 into equation 7 ( $C_1$  and  $C_2$ ):

$$\frac{dP}{dx} = \frac{150 * K * \mu}{d_p^2} * \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} * v + \frac{1.75 * K * \rho}{\mu * d_p} * \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} * v^2 \quad (\text{Equation 7}).$$

## 7.2 Kenmerken van de onderzochte bodemmateriële voor vrijloopstallen

Materiaal	Algemene kenmerken	Beschikbaarheid	Eenheidsprijs (EUR)	Opmerkingen
Kokosvezelmix	?	-(?)	?	het grote bereik van drogestofgehalten bij de verkoop kan problematisch zijn voor het berekenen van de vochtopname
Houtsnippen	Algemeen beschikbaar, goedkoop, zeer wisselende samenstelling	+	30-40/t; (350 kg/m <sup>3</sup> )	Rindensmulch middel grof
Houtvezel	?	?	?	?
Miscanthus	Olifantsgras, wordt ook gebruikt in de bouwsector en de chemische industrie	+/-	80-150/t; (90% DS)	zeer hoge N-gehalte (7x t.o.v. normale) als resultaat van januari oogst en hoge N-bemesting (80 kg.ha <sup>-1</sup> )
Tarwestro	Algemeen beschikbaar en wordt benut in biologische veehouderij	+	80-100/t; 90% ds	hoge N-gehalte (t.o.v normale)
Stalveen (veenmosveen)	Commerciële veen-product	+/-	25/m <sup>3</sup> (250 kg/m <sup>3</sup> )	niet duurzaam(?)
Natuurgras	Natuur- en bermgras	++	0-80/t DS	mogelijke verontreiniging met zware metalen
Wormenhumus	Speciale door wormen verwaardigde compost	+/-	15-35/m <sup>3</sup>	beschikbaarheid is mogelijk knelpunt
Legro (veenmosveen)	Turf/veen mengsel	+	25/m <sup>3</sup> ; (250 kg/m <sup>3</sup> )	niet duurzaam (?)

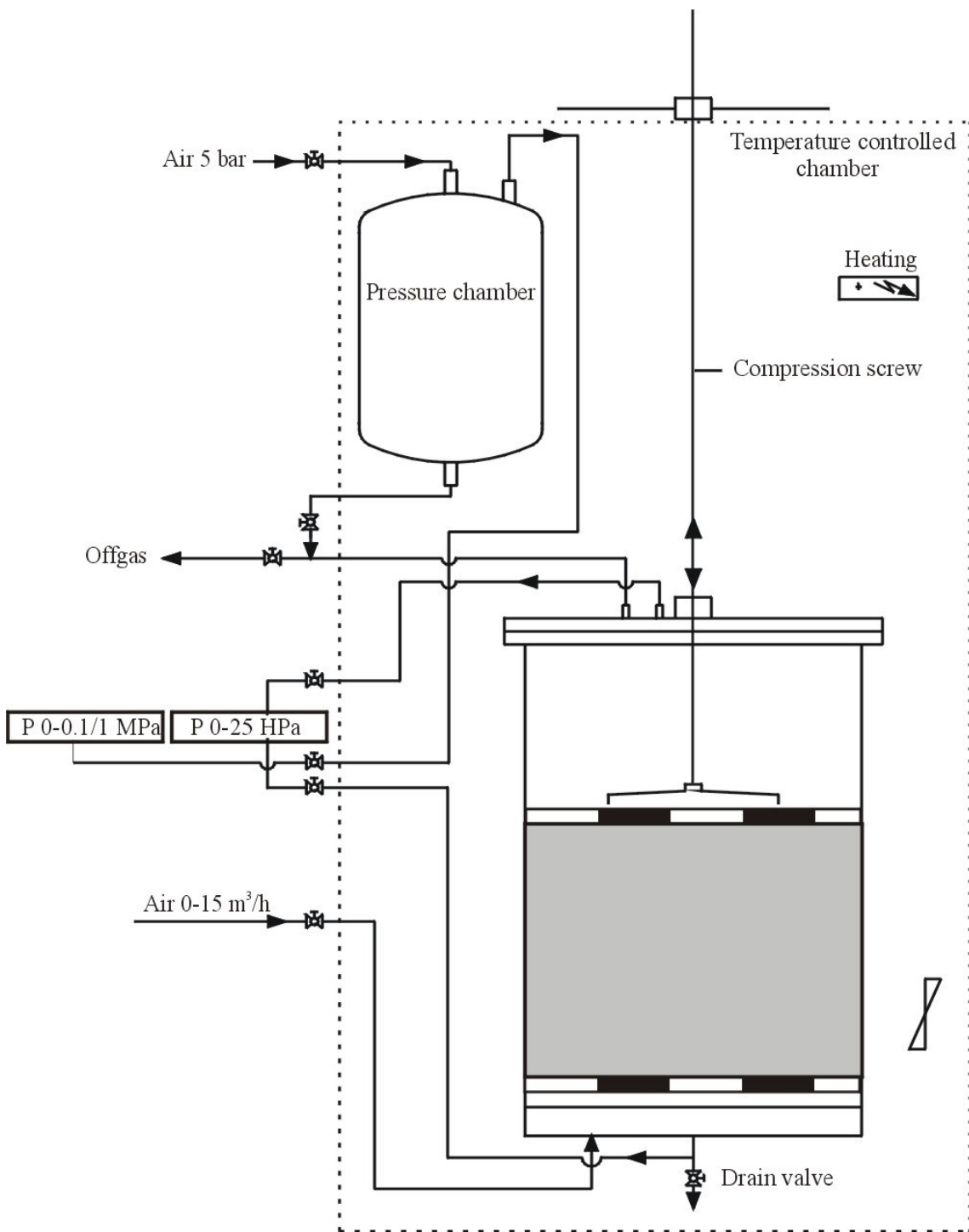
---

## 7.3 Stabiliteitsindeling van compostproducten

[in het Engels; van Emis/VITO (2012)]

Oxygen consumption	Classification type
[mmol O <sub>2</sub> .kg VS <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> ]	[-]
< 5	Very stable, little activity
5 - 10	Stable, limited activity
10 - 15	Moderately stable, active
15 - 25	Relatively young, enhanced activity
> 25	Young, very active, unstable

## 7.4 Pycnometer design





## 7.5 Voorbeeld van een BLGG analyserapport

### Kwaliteitsonderzoek Compost cocos vezelmix

Uw klantnummer: 8055823

WUR Livestock Research  
G.J. Kasper  
De Elst 1  
6708 WD WAGENINGEN



BLGG AgroXpertus  
Postbus 170  
NL - 6700 AD Wageningen

T monstername: Herman Dorresteyn: 0652002114  
T klantenservice: +31 (0)88 876 1010  
E klantenservice@blgg.agroxpertus.nl  
I blgg.agroxpertus.nl

<b>Onderzoek</b>	Analyse-/ordernummer: 2014930383/003475767	Datum verslag: 07-01-2015	
	Type monster: Compost (overig)	Datum monstername: 18-12-2014	Datum ontvangst: 22-12-2014

Resultaat	Eenheid	Resultaat	Toetswaarde	Conclusie	Resultaat in produkt (g/kg)
bepaald in het monster volgens de op de hieronder vermelde normen	Droge stof	g/kg product	946		
	Ruw as	g/kg ds	94		
	Org. stof	% van de ds	90,6		
	Respiratiesnelheid	mmol O2/kg OS/uur	3,7		

**Contact & info** Monster genomen door: Derden  
Contactpersoon monstername: Herman Dorresteyn: 0652002114

Na verzending van dit verslag wordt, indien de aard en de onderzoeksmethode van het monster dit toelaat, het monster nog twee weken bij BLGG AgroXpertus voor u bewaard. Binnen deze tijd kunt u eventueel reclameren en/of aanvullend onderzoek aanvragen.

<b>Methode</b>	Droge stof	En: LGS2
	Ruw as	En: VAS1
	Org. stof	En: VAS1
	Respiratiesnelheid	En: SBC2.BRLKC/8VOR

Q Methode geaccrediteerd door RvA  
En: Eigen methode, Gw: Gelijkaardig aan, Cf: Conform  
Alle verrichtingen zijn binnen de gestelde houdbaarheids termijn tussen monstername en analyse uitgevoerd.  
De gerapporteerde resultaten hebben uitsluitend betrekking op het aan BLGG AgroXpertus aangeleverde materiaal.

To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 48 39 53  
E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wageningenUR.nl/livestockresearch](http://www.wageningenUR.nl/livestockresearch)

Wageningen UR Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

