

Björn Bohne und Oliver Hensel

Mesophiles Kompaktieren von Komposten zur Verbesserung der Ausbringbarkeit

Kompost gilt schon seit geraumer Zeit wegen seines Nährstoffgehaltes und des verhältnismäßig günstigen Preises als wertvolles Substrat für den Einsatz im Ackerbau. Seine nachgewiesenen suppressiven Wirkungen machen ihn darüber hinaus interessant für den Pflanzenschutz im Kartoffel- und Körnerleguminosenanbau. Ein grundlegendes Problem bei der Ausbringung von losen Komposten sind die speziellen Materialeigenschaften, die eine optimale Dosierung erschweren. Der folgende Beitrag untersucht die Herstellung von Kompostpresslingen bei moderaten Temperaturwerten als Grundlage für eine präzise Reihenausbringung. Die Konditionierung zielt darauf ab, definierte Materialeigenschaften unter Beibehaltung der suppressiven Wirkung zu schaffen. Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, einen Kompostpressling herzustellen, welcher sowohl mit üblicher Dosiertechnik ausgebracht werden kann als auch über suppressive Eigenschaften verfügt. Darüber hinaus kann die Form der Presslinge an die des Saatguts angepasst werden, um z.B. homogene Mischungen mit Acker- und Sojabohnensaatgut zu erreichen. Das Zusammenspiel von mechanischer Festigkeit und der Löslichkeit der Presslinge im Boden bietet noch Potenzial für Verbesserungen.

eingereicht 11. Dezember 2013

akzeptiert 17. Januar 2014

Schlüsselwörter

Kompost, organischer Dünger, suppressive Wirkung, Leguminosen, Kompaktierung

Keywords

Compost, organic fertilizer, suppressive effect, legumes, compaction

Abstract

Bohne, Björn and Hensel, Oliver

Compost conditioning by the use of low temperature compaction for better dosing behaviour

Landtechnik 69(1), 2014, pp. 19–24, 5 figures, 2 tables, 17 references

For some time compost is due to the nutrient content and attractive costs a valuable substrate in agriculture. In ad-

dition, the application to preserve potato and grain legume crops is interesting because of the proven suppressive effects. Fundamental problems by applying bulk compost are the special material properties and the problems with a precise application. The following article analyses the shape of compacted compost as a basis for a precise in-row application. The objective of this investigation is the creation of defined material properties while retaining the suppressive effects. The results show that it is possible to produce compost pellets in a mesophilic region which can be applied with commercial equipment while maintaining suppressive properties. In addition, the shape of the pellets can be adapted to the shape of seeds to produce homogeneous mixtures. The interaction of the mechanical strength and the solubility of the pellets in the soil still have potential for additional improvements.

Die positiven Wirkungen von in loser Form ausgebrachtem Kompost sind bei der Unterdrückung von verschiedenen Pathogenen schon seit längerer Zeit bekannt. Um den Ertrag abzusichern, müssen Schaderreger, insbesondere Pilze, unterdrückt werden. In vielen Untersuchungen, u.a. bei Körnerleguminosen wie Erbse und Ackerbohne, sind diese suppressiven

Effekte schon nachgewiesen worden [1; 2; 3]. Der Einsatz von Kompost leistet hier einen wichtigen Beitrag. So konnten durch die suppressiven Wirkungen von Kompost gegenüber *Pythium ultimum* signifikant höhere Frischmasseerträge bei Erbsen nachgewiesen werden [4].

Um diese Wirkungen zu erreichen, müssen 5 t TM/ha Kompostsubstrat möglichst präzise innerhalb der Pflanzreihen ausgebracht werden. Für die Reihenapplikation von losem Kompost ist die Konstruktion einer speziellen Dosiereinrichtung erforderlich [5; 6], die allerdings aufgrund der starken Brückenbildung und des ungünstigen Rieselverhaltens des Materials technisch aufwendig ist. Durch eine Verdichtung des Substrates (Pelletierung) könnten die physikalisch-mechanischen Materialeigenschaften wie die Fließ- und Dosierfähigkeit des Kompostes entscheidend verbessert werden, zudem ließe sich so das mitzuführende Materialvolumen deutlich verringern. Wichtig ist jedoch, dass die suppressive Wirkung erhalten bleibt, was im Falle von *Phoma medicaginis* bereits nachgewiesen werden konnte [3]. In der zitierten Untersuchung konnte zusätzlich noch eine verzögerte Nährstofffreisetzung beobachtet werden, was zukünftig unter dem Aspekt eines optimierten Nährstoffmanagements von Interesse sein kann.

Unter Pelletierung versteht man das Zusammenlagern von einzelnen Teilchen zu größeren Körpern, bei dem das Material in einen Presskanal hineingedrückt wird. Im Normalfall entsteht durch die Reibung im Presskanal Wärme, die zu einer Erhitzung der Pellets $> 60\text{ °C}$ führt [7]. Da die suppressiven Effekte bei Kompost durch Mikroorganismen hervorgerufen werden, welche den Kompost nach der Hygienisierung bei Temperaturen von $35\text{ bis }40\text{ °C}$ besiedeln [4; 8; 9], dürfen beim Pressen 40 °C nicht überschritten werden. Eine nochmalige Überschreitung dieser Temperatur würde die Mikroorganismen inaktivieren und damit die Wirkung zerstören. Deshalb muss die Presseneinstellung so gewählt werden, dass diese kritische Temperatur nicht überschritten wird und die Herstellung der Presslinge im mesophilen Bereich von $20\text{ bis }40\text{ °C}$ stattfindet.

Eine Abhängigkeit der suppressiven Wirkung vom Durchmesser der Presslinge konnte bisher nicht nachgewiesen werden [3]. Folglich kann die Ausformung an vorhandene Dosiereinrichtungen, z.B. in Sämaschinen oder Düngerstreuern, angepasst werden. Zur Ausbringung von Mischungen aus Presslingen und Saatgut ist ebenso eine Anpassung an die Form des Saatgutes denkbar.

Material und Methode

Der verwendete Kompost wurde aus Grünschnitt hergestellt. Die Absiebung des Kompostsubstrates betrug 10 mm . Auf den Zusatz von Presshilfsmitteln wie Stärke, Paraffin oder Melasse wurde verzichtet. Zur Pelletierung wurden zwei Flachmatrizenpressen verwendet:

- 6 mm Presskanaldurchmesser ($7,5\text{ kW}$ Antriebsleistung, 230 mm Matrizen Durchmesser, 30 mm Presskanallänge),
- 8 mm Presskanaldurchmesser (75 kW Antriebsleistung, 800 mm Matrizen Durchmesser, 40 mm Presskanallänge).

Dabei wurde der Auflagedruck des Kollers so niedrig eingestellt, dass das Material noch in die Presskanäle gedrückt wurde, ohne dass es zu Betriebsstörungen kam. Die Temperatur der Matrize wurde kontinuierlich mit einem Thermoelement-Anlegefühler gemessen. Die aufgezeichnete Temperatur lag im Mittel bei 35 °C und überschritt nie 40 °C .

Folgende Parameter wurden bei den hergestellten Pellets untersucht:

Trockensubstanzgehalt

Die Ermittlung des Trockensubstanzgehaltes erfolgte gravimetrisch nach der Trocknung im Trockenschrank bei 105 °C über 24 Std.

Schüttdichte

Zur Bestimmung der Schüttdichte wurde ein Behälter mit einem Volumen von 2209 cm^3 verwendet, dessen Inhalt durch drei Stöße verdichtet wurde [10].

Korngrößenverteilung

Der Anteil der Größenfraktionen wurde mittels eines Siebturmes und Rüttler bestimmt (Siebabstufung 8; 6,3; 4; 3,15; 2 und 1 mm) Siebzeit: 15 min , 4 Wiederholungen [11].

Mechanische Festigkeit

Die mechanische Festigkeit wurde bestimmt, indem die Presslinge mit einem Analysensieb ($3,15\text{ mm}$) gesiebt wurden und danach der Anteil $> 3,15\text{ mm}$ in einem Abriebkasten (nach ASAE Standard S269.4) 10 min bei 50 U/min rotiert wurde. Nach der Rotation wurde die Probe wieder durch ein Sieb $> 3,15\text{ mm}$ gesiebt und der Durchgang (Abrieb) gewogen [12; 13].

Abmessungen

Zur Abschätzung der Mischfähigkeit wurden die Abmessungen von Presslingen und Saatgut bestimmt. Dazu wurde bei den Presslingen je eine Materialprobe von 100 g entnommen und bei dem Saatgut eine Menge von 25 g (Erbsen) bis 45 g (Ackerbohne). Bei diesen Proben wurde an jedem Einzelkörper Länge und Durchmesser durch eine kreuzweise Messung ermittelt [14].

Bruchfestigkeit (Löslichkeit)

Zur abschließenden Untersuchung der Auflösungs geschwindigkeit der Presslinge wäre ein Perkolationsversuch sehr geeignet. Hier können Zeitpunkt und Dauer der Lösung der einzelnen Körper am genauesten nachgewiesen werden. Da aber für Kompostpresslinge keinerlei Voruntersuchungen vorliegen, wäre hier eine eigene Grundlagenuntersuchung notwendig. Um eine erste Abschätzung der potenziellen Löslichkeit der unterschiedlichen Presslinge durchführen zu können, wurde die Bruchfestigkeit im trockenen und im angefeuchteten Zustand mit einem Penetrometer mit mechanischem Schleppzeiger, Messbereich $0,5\text{ bis }60\text{ kg}$, und 40-facher Wiederholung überprüft. Der Durchmesser des plangeschliffenen Druckstempels betrug 4 mm ($12,57\text{ mm}^2$). Die notwendige Dauer

des Wasserkontaktes für eine deutliche Erweichung wurde in Vorversuchen ermittelt und betrug einheitlich 15 min. Um abschätzen zu können, wie sich eine vorherige Vermahlung des Kompostsubstrates auf die Löslichkeit der Presslinge auswirkt, wurden in diesen Versuch auch 6-mm-Presslinge miteinbezogen, welche aus gemahlenem Grünschnittkompost (Korngröße = 4 mm) bei unveränderter Presseneinstellung hergestellt wurden.

Tab. 1

Schüttdichte und Trockensubstanzgehalt von losem Kompost und den Kompostpresslingen

Table 1: Bulk density and dry matter content of bulk compost and compost pellets

Material/Material	Schüttdichte Bulk density [kg/m ³]	Trockensubstanz Dry matter [%]
Loser Grünschnittkompost Bulk greenwaste compost	390	65,8
Kompostpresslinge Compost pellets	690	79,4

Ergebnisse

Schüttdichte und Trockensubstanz

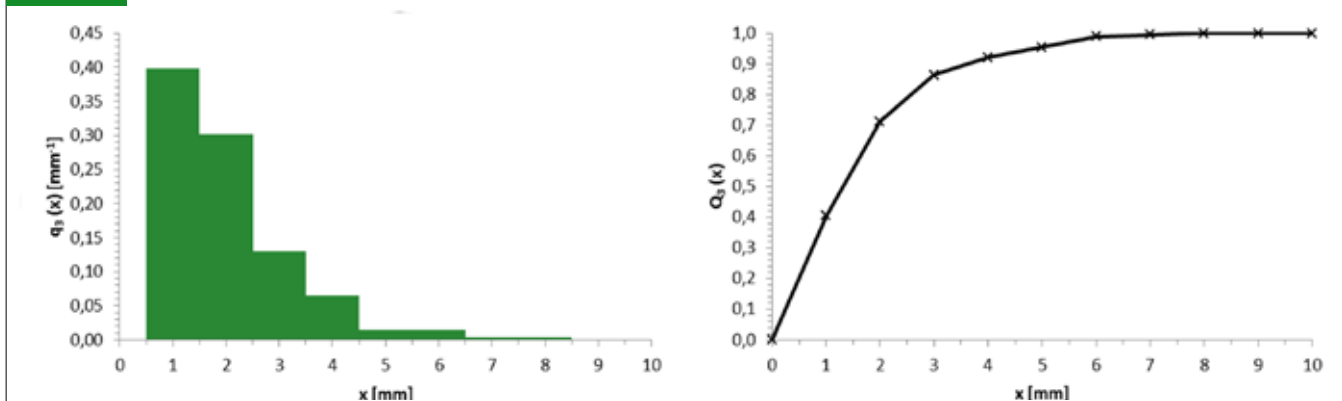
Durch den Prozess der Pelletierung veränderte sich die Schüttdichte des Kompostes von 390 auf 690 kg/m³ (Tabelle 1). Der Trockensubstanzgehalt stieg von 65,8 auf 79,4 %.

Korngrößenanalyse

In **Abbildung 1** zur Korngrößenanalyse ist auf der Abzisse die Maschenweite des Siebes in mm (x [mm]) und auf der Ordinate die relative Massenhäufigkeitsdichte ($q_3(x)$ [mm⁻¹]) bzw. die relative Massensummenhäufigkeit [$Q_3(x)$] abgetragen. Betrachtet man nun die Größenfraktionen der Materialien anhand der zu Verteilungsdichten und Verteilungssummen zusammengeführten Mittelwerte der verschiedenen Chargen vor und nach der Konditionierung, so wird deutlich, dass in losem Kompostsubstrat über 90 % der Menge aus Partikeln der Klasse < 1 mm besteht [15]. Partikel > 6 mm machen nur 2 % der Gesamtmasse aus (**Abbildung 1**).

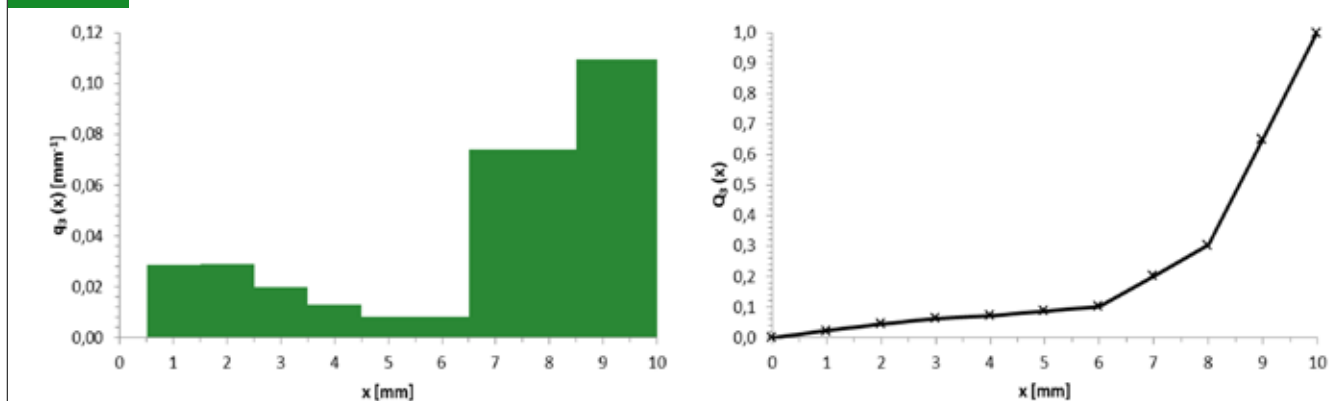
Wird das Ausgangsmaterial mit einer Flachmatrizenpresse in ein Agglomerat von 8 mm Durchmesser überführt, so bestehen über 90 % der Masse aus Partikeln > 8 mm und 15 % der Masse aus Partikeln < 1 mm (**Abbildung 2**). Zu be-

Abb. 1



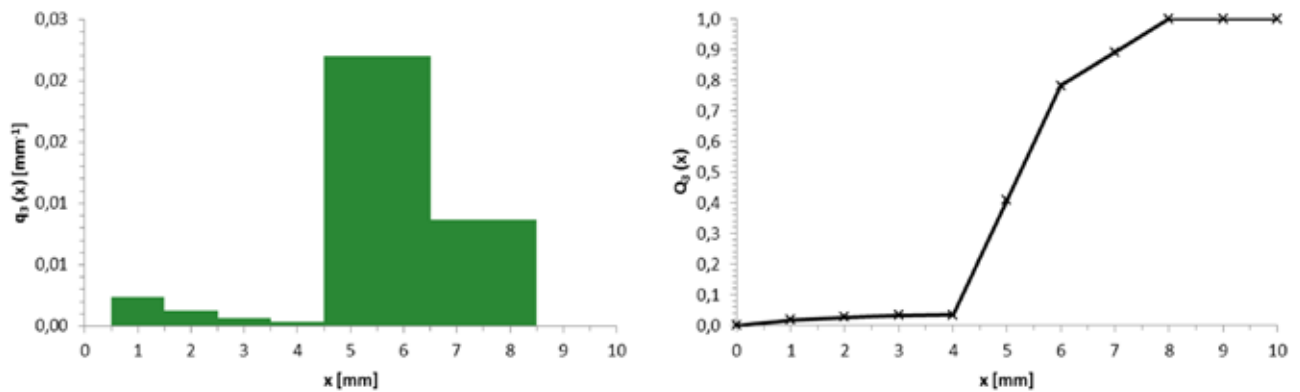
Verteilungsdichte und Verteilungssumme von losem Kompost
Fig. 1: Distribution density and distribution sum of bulk compost

Abb. 2



Verteilungsdichte und Verteilungssumme der 8-mm-Presslinge
Fig. 2: Distribution density and distribution sum of 8 mm pellets

Abb. 3



Verteilungsdichte und Verteilungssumme der 6-mm-Presslinge
 Fig. 3: Distribution density and distribution sum of 6 mm pellets

merken ist hier noch, dass aufgrund der notwendigen Stabilität der Presslinge bei einem Presskanaldurchmesser vom 8 mm eine mittlere Länge von 9 mm notwendig ist. Diese Presslinge blieben auf dem Sieb der Maschenweite 8 mm liegen und sind somit der Klasse > 8 mm zuzuordnen. Wird für die Konditionierung ein Presskanaldurchmesser von 6 mm gewählt, so verbleibt über 70 % der Masse auf dem Sieb der Klasse > 4 bis $< 6,3$ mm. Hier ist das Verhältnis von Durchmesser und Länge mit $1 : 1,65$ ebenso ungleichmäßig, jedoch konnte ein Teil der Presslinge das Sieb $< 6,3$ mm noch passieren (**Abbildung 3**).

Mechanische Festigkeit

Als Ergebnis der Untersuchung zur mechanischen Festigkeit hatten im Mittel die 6-mm-Presslinge einen Anteil unbeschädigter Körper von 95,2 % und damit 4,8 % Abrieb (TS-Gehalt 84,9 %). Die 8-mm-Presslinge hatten einen Anteil unbeschädigter Körper von 90,4 % und somit 9,6 % Abrieb (TS-Gehalt 86,5 %).

Abmessungen

Das Verhältnis von Durchmesser und Länge der 8-mm-Presslinge liegt im Mittel bei $1 : 1,4$. Die 6-mm-Presslinge weisen ein

Verhältnis von $1 : 1,65$ auf. Bei Sommer- und Wintererbse sind Durchmesser und Länge gleichmäßig ausgeprägt, bei der Sojabohne beträgt das Verhältnis $1 : 1,31$ und bei der Ackerbohne $1 : 1,49$ (**Tabelle 2**).

Bruchfestigkeit (Löslichkeit)

Die Mittelwerte für die Bruchfestigkeit der Presslinge im trockenen Zustand reichten von 35,11 kg/cm² bei den Presslingen mit 6 mm Durchmesser bis zu 82,55 kg/cm² bei den 8-mm-Presslingen (**Abbildung 4**). Die 6-mm-Presslinge aus gemahlenem Kompost lieferten keine signifikant unterschiedlichen Ergebnisse. Im Boxplot-Diagramm werden die Werte der Stichproben anhand von Rechtecken (Box) und Whisker dargestellt. Der untere und obere Rand der Box entsprechen dem unteren und oberen Quartil. Die Ränder der Box begrenzen somit die zentralen 50 % der Stichprobenwerte (= Interquartilabstand). Die Whisker enden am kleinsten bzw. größten Wert der Stichprobe. Ausreißer oder Extremwerte werden in der Grafik mit einem Sternchen oder Kreis dargestellt [16].

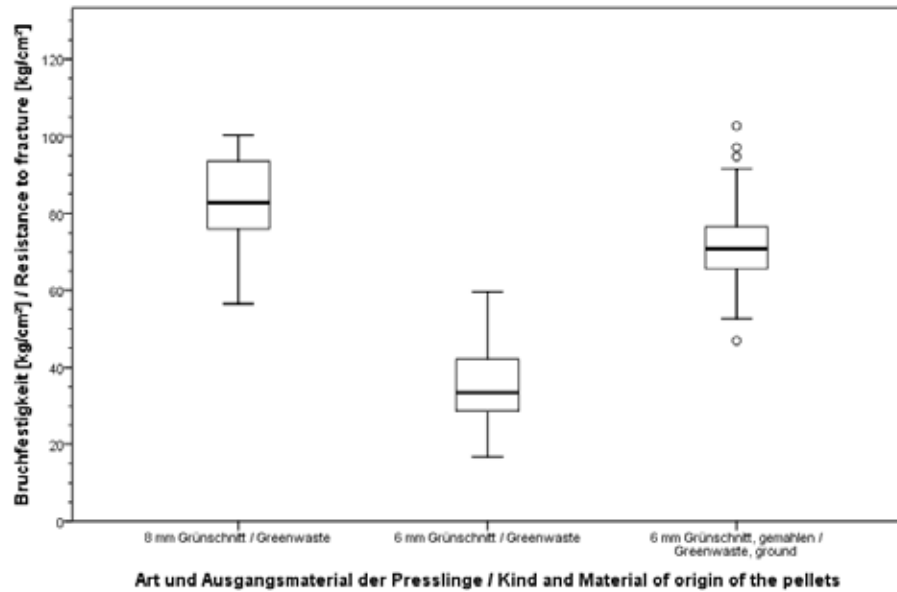
Nach der Wasserbenetzung lieferte die Untersuchung der Bruchfestigkeit als Mittelwert die folgenden Ergebnisse: Der

Tab. 2

Abmessungen der untersuchten Presslinge und des Saatgutes
 Table 2: Dimension of the measured pellets and seeds

Material/Material	Durchmesser/Diameter [mm]	Länge/Length [mm]	Verhältnis von Durchmesser zu Länge Ratio of diameter to length
8-mm-Pressling/8 mm pellet	7,5	10,5	1 : 1,4
6-mm-Pressling/6 mm pellet	5,9	9,7	1 : 1,65
Sommererbse ‚Casablanca‘/Summerpea ‚Casablanca‘	7,3	7,3	1 : 1
Wintererbse ‚EFB 33‘/Winterpea ‚EFB 33‘	5,6	5,6	1 : 1
Ackerbohne ‚Bilgo‘/Field bean ‚Bilgo‘	7,0	10,3	1 : 1,49
Sojabohne ‚Gallec‘/Soybean ‚Gallec‘	5,2	6,8	1 : 1,31

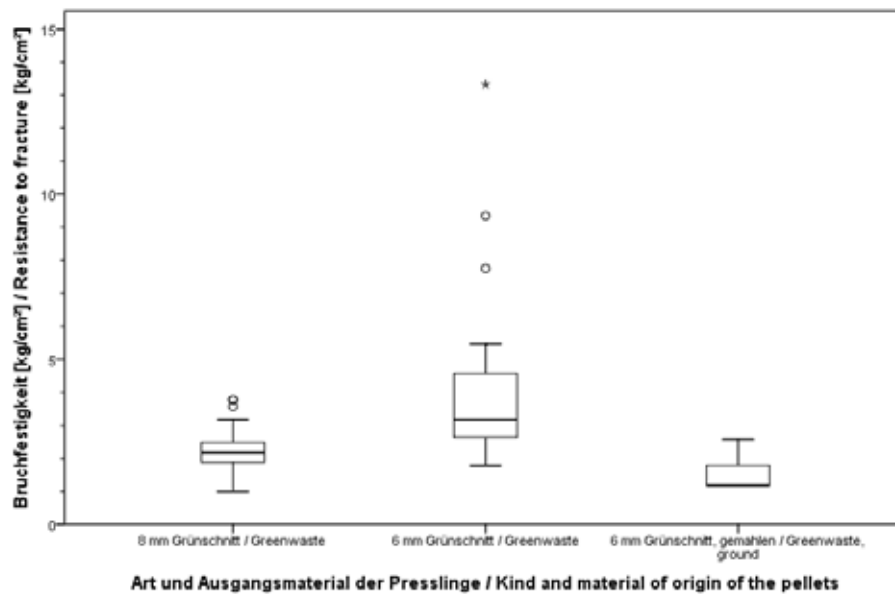
Abb. 4



Bruchfestigkeit der Presslinge im trockenen Zustand (> 80 % TS)

Fig. 4: Resistance to fracture in dry condition (> 80 % DM)

Abb. 5



Bruchfestigkeit der Presslinge im gewässerten Zustand (Zeit: 15 min)

Fig. 5: Resistance to fracture in wet condition (time: 15 min)

6-mm-Pressling aus gemahlenem Grünschnittkompost hatte mit 1,59 kg/cm² den geringsten Widerstand und der 6-mm-Pressling aus Grünschnitt hatte mit 3,97 kg/cm² den höchsten Bruchwiderstand (**Abbildung 5**). Im gewässerten Zustand liegen die Messwerte aller Proben näher beieinander als im trockenen Zustand.

Diskussion

Die Verdichtung des Kompostsubstrates durch die mesophile Pelletierung verringert das Volumen beträchtlich und führt zu einer Trocknung des Substrats; im Versuch stieg der TS-Gehalt

um 13,6 %. Ein höherer Trockensubstanzgehalt verbessert zum einen die Lagerfähigkeit, weil die Gefahr der Schimmelbildung verringert wird und erhöht zum anderen die Dosierfähigkeit des Materials, weil Verklebungen der einzelnen Presslinge vermindert werden. Die Überprüfung der mechanischen Festigkeit zeigte, dass über 90 % der Presslinge ihre Form beibehalten. Der Feinanteil von 4,8 bis 9,6 % scheint zunächst hoch, mit der gleichen Prüfmethode ergab jedoch eine andere Untersuchung zweier handelsüblicher pelletierter Düngerarten (Standardpelletierung), dass das Handelsprodukt Maltaflor® einen Feinanteil von 4,76 % aufwies und das Handelsprodukt

Solafert® einen Feinanteil von 0,89 % [17]. Somit ist die Abriebmenge der Kompostpresslinge mit denen von Düngerpellets vergleichbar.

Aus den Ergebnissen der Untersuchung der Verteilungsdichte und der Verteilungssummen wird eine deutliche Änderung der Materialeigenschaften durch den Pelletierprozess sichtbar. Von besonderem Interesse sind die Ähnlichkeiten der Abmessungen der 6- und 8-mm-Presslinge mit denen des Ackerbohnen- und des Sojabohnensaatgutes (**Tabelle 2**). Aufgrund der geometrischen Form wäre eine Vermischung beider Stoffe für die Ausbringung mit handelsüblicher Technik möglich. Da die Schüttdichte des Saatgutes nur halb so groß ist wie die der Presslinge, ist allerdings eine Entmischung zu befürchten, was durch Röhreinrichtungen verhindert werden könnte. Zusätzlich ist zu bedenken, dass durch die Mischung mit einem erhöhten Auftreten von Fehlstellen in der Saatreihe zu rechnen ist.

Der Löslichkeit der Presslinge im Boden kommt eine große Bedeutung zu, da zum einen die Mikroorganismen den Wurzelraum für eine optimale suppressive Wirkung besiedeln müssen und zum anderen die Aufnahme der in den Presslingen enthaltenen Nährstoffe durch die Pflanzen möglich sein muss. In den Versuchen zur Bruchfestigkeit zeigte sich, dass im trockenen Zustand feste, gut lager- und dosierfähige Presslinge nach einer Wiederbefeuchtung eine um den Faktor 10 bis 20 verringerte Druckfestigkeit aufweisen, womit potenziell eine gute Löslichkeit gegeben ist. Bei der praktisch zu erwartenden Löslichkeit im Boden, ergeben sich jedoch einige Einschränkungen. Zum einen sind mechanische Einwirkungen auf die Presslinge nach der Ablage gering, zum anderen fehlt zu bestimmten Zeiten im Frühjahr die Feuchtigkeit zum Aufweichen. Dafür müsste eine Einrichtung konstruiert werden, die es ermöglicht, den Presslingen während der Ausbringung eine bestimmte Menge Feuchtigkeit zuzusetzen bzw. die Presslinge vor der Ablage zu zerkrümeln, um unabhängig vom Bodenzustand eine ausreichende Löslichkeit zu erreichen.

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Ausgangssubstrate und Konditionierungen feststellen zu können, müsste der Lösungsbeginn und die Lösungsgeschwindigkeit der verschiedenen Presslinge im Boden genau bestimmt werden. Dazu wäre ein Perkulationsversuch denkbar, in dem die Inhaltsstoffe des Kompostes umgehend nach der Lösung nachgewiesen werden können.

Schlussfolgerungen

Die Konditionierung von Kompost kann eine interessante Alternative zur losen Ausbringung darstellen. Eine aufwendige Konstruktion von speziellen Dosiereinrichtungen wird überflüssig, da das pelletierte Material mit handelsüblichen Geräten, z.B. mit Sämaschinen oder Düngerstreuern, ausgebracht werden kann. In Zusammenarbeit mit den Disziplinen Bodenkunde, Phytopathologie, Pflanzenbau und Agrartechnik muss das Zusammenspiel von technischer Umsetzung, schneller Löslichkeit der Presslinge und sicherer pflanzenbaulicher Wirkung optimiert werden.

Literatur

- [1] Chen, W.; Hoitink, H. A. J.; Schmitthenner, A. F.; Tuovinen, O. L. (1988): The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology* 78, pp. 314–322
- [2] Schüler, C.; Biala, J.; Bruns, C.; Gottschall, R.; Ahlers, S.; Vogtmann, H. (1989): Suppression of root rot on peas, beans and beetroots caused by *Pythium ultimum* and *Rhizoctonia solani* through the amendment of growing media with composted organic household waste. *J. Phytopathology* 127, pp. 227–238.
- [3] Werren, D. (2011): Suppressiv Wirkung von lose und pelletiert angewendeten Grüngutkomposten im Biotest mit den Schaderregern *Phoma medicaginis* und *Pythium ultimum* bei Erbsen. Diplomarbeit, Universität Kassel, FB 11, S. 36ff
- [4] Bruns, C. (1998): Suppressiv Effekte von Komposten aus der getrennten Sammlung organischer Abfälle und von Rindermistkompost gegenüber bodenbürtigen Schaderregern. Dissertation, Universität Kassel
- [5] Bohne, B.; Hensel, O.; Bruns, C. (2011): Reihenapplikation von Komposten im Kartoffelbau. *Kartoffelbau* 4, S. 42–45
- [6] Bohne, B.; Hensel, O.; Bruns, C. (2013): Reihenapplikation von Komposten zur Kontrolle bodenbürtiger Krankheiten – technische Lösungen für Kartoffeln und Körnerleguminosen. Beitrag zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau 5.-8.3.2013, Bonn, <http://www.uni-kassel.de/fb11/agrar/fileadmin/datas/fb11/Agrartechnik/Dokumente/Forschung/2012-1130-wita-beitrag-Kompost-Bohne.pdf>, Zugriff am 20.1.2014
- [7] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage, Springer-Verlag, Dordrecht, S. 267ff.
- [8] Hadar, Y.; Papadopoulou, K. K. (2012): Suppressiv composts: Microbial ecology links between abiotic environment and healthy plants. *Ann. Rev. Phytopathol.* 50, pp. 133–153
- [9] Hoitink, H. A. J., Fahy, P. (1986): Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Annu. Rev. Phytopathol.* 24, pp. 93–114
- [10] Normenausschuss Materialprüfung (NMP) (2010): DIN EN 15103 Feste Biobrennstoffe – Bestimmung der Schüttdichte
- [11] Normenausschuss Materialprüfung (NMP) (2011): DIN EN 15149-1/-2 Feste Biobrennstoffe – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung – Teil 1: Rüttelsiebverfahren mit Sieb-Lochgrößen von 1 mm und darüber (EN 15149-1:2010) und Teil 2: Rüttelsiebverfahren mit Sieb-Lochgrößen von 3,15 mm und darunter (EN 15149-2:2010)
- [12] Normenausschuss Materialprüfung (NMP) (2010): DIN EN 15210-1 Feste Biobrennstoffe – Bestimmung der mechanischen Festigkeit von Pellets und Briketts – Teil 1: Pellets
- [13] Hartmann, H.; Böhm, T. (2001): Bestimmung des Wassergehaltes und der physikalisch-mechanischen Brennstoffeigenschaften. In: *Eigenschaften biogener Festbrennstoffe – Bestimmung, Beeinflussung, Standardisierung*, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 17, Landwirtschaftsverlag, Münster
- [14] Normenausschuss Materialprüfung (NMP) (2012): DIN EN 16127 Feste Biobrennstoffe – Bestimmung der Länge und des Durchmessers von Pellets
- [15] Normenausschuss Bauwesen (NAB) (2004): DIN ISO 9276-1 Darstellung der Ergebnisse von Partikelgrößenanalysen – Teil 1: Grafische Darstellung (ISO 9276-1:1998)
- [16] Cleff, T. (2009): *Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse*, Gabler-Verlag, Wiesbaden, S. 202
- [17] Kubach, M. (2010): Untersuchungen zur Agglomeration von Kompost und die Prüfung verschiedener Kompostagglomerate auf ihre technisch-physikalischen Eigenschaften. Interdisziplinäre Projektarbeit, Universität Kassel, FB 11, S. 31

Autoren

MSc. agr. Björn Bohne ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Agrartechnik (Leitung: **Prof. Dr. Oliver Hensel**) am Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen, E-Mail: ackerbohne@uni-kassel.de

Danksagung

Die Untersuchungen fanden im Rahmen des Projektes „Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebaute Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit“ statt. Geschäftszeichen 08OE008. Die Förderung des Projektes erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Bundesprogramms ökologischer Landbau.