

Sebastian Götz, Heinz Bernhardt

Produktionsvergleich von Gleichstandsamt und Normalsamt bei Silomais

In einer 2008 begonnenen Versuchsreihe werden die Auswirkungen der Quadratverbandsamt, als Vertreter der Gleichstandsamt, vergleichend der Normalsamt im Silomaisanbau gegenübergestellt. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf die Faktoren Ertrag, Bodenschutz, Unkrautregulation sowie Rentabilität gelegt. Die Quadratverbandsamt mit einem Reihen- und Pflanzenabstand von 33 cm ermöglicht durch GPS-Steuerung eine zweidimensionale mechanische Unkrautregulation und verbessert gleichzeitig die Standraumverteilung der Pflanzen. Hierdurch steigt die beim Hacken bearbeitete Fläche von 66 auf 90 % der Gesamtfläche an.

Schlüsselwörter

Maisanbau, Gleichstandsamt, Hacken, Unkrautregulation

Keywords

Maize cultivation, spaced seed, hoeing, weed control

Abstract

Götz, Sebastian and Bernhardt, Heinz

Procedure comparison between cross compound and normal sowing with silo maize

Landtechnik 65 (2010), no. 2, pp. 107-110, 2 figures, 2 tables, 9 references

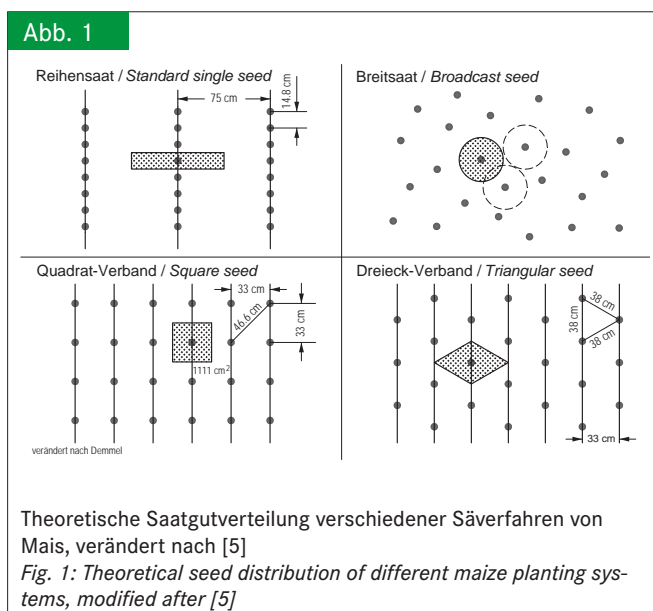
The following paper describes a field test carried out in 2008 to compare square planting and normal sowing with silo maize under special consideration of the effect on yield, weed regularisation, as well as work economy and profitability. So cross compound should be examined in the investigation as a new cultivation technology. The cross compound particularly stand out due to its sowing in a square compound of 33 by 33 cm. On this occasion, the single sowing rows connect precisely with each other. This idea to create cross compounds makes it possible to hoe in two different directions: in the machine direction and also in a cross direction and consequently the weed free space is raised from about 66 % up to 90 %.

■ Mit zunehmender Nachfrage nach Bioenergie und verbesserten Rahmenbedingungen für die Biogasproduktion nimmt der Anbauumfang von Silomais in den letzten Jahren zu. Durch den Anbau auch in suboptimalen Lagen zeigen sich die Schwächen der Maispflanze bezüglich Erosionsschutz und Unkrautunterdrückung. Der vermehrte Anbau ruft eine öffentliche Diskussion hervor, in der es in erster Linie um den Herbizideinsatz sowie eine nachhaltige und erosionsmindernde Bodennutzung geht. Dennoch ist ertragsorientierter Pflanzenbau, besonders bei Mais, ohne die Regulation der Unkrautflora nicht möglich. Im Maisanbau sind, insbesondere bei Mulch- und Direktsamt und unzureichendem Herbizideinsatz, extrem hohe Ertragseinbußen durch Unkräuter zu verzeichnen, die durch die geringe Konkurrenzkraft der Kulturpflanze begründet sind. Bezogen auf Mais wurden in den USA Ertragsverluste zwischen 40 und 80 % nachgewiesen [1]. Anders als bei Getreide ist bei Mais eine nahezu totale Unkrautfreiheit im 4- bis 8-Blatt-Stadium der Maispflanze erforderlich. Eine Verunkrautung vor diesem Stadium bzw. ein Neuauflaufen von Unkräutern nach dem 8-Blatt-Stadium führten dagegen zu keinen wirtschaftlichen Schäden. Obwohl die mechanische Unkrautregulation, bedingt durch die höhere Flächenleistung der Feldspritze, in der Vergangenheit durch den chemischen Pflanzenschutz abgelöst worden ist, führen veränderte Rahmenbedingungen zu einer Wiederbelebung des Verfahrens. Ein zunehmender Einsatz mechanischer Unkrautregulation ist zukünftig durch die Ausbreitung der Resistenzen bei Unkräutern [2] oder durch das Auslaufen von Herbizidzulassungen sowie den zunehmenden ökologischen Anbau vorstellbar. Ein wesentliches Problem der bisherigen Anbausysteme und der entsprechenden Einzelkornsäegeräte ist der große Teil unbehandelter Fläche im kulturnahen Bereich, welcher nicht von der Hacke erreicht wird. Weiterhin wird dem

Maisanbau, wie dem Rüben- und Kartoffelanbau, auf ungünstigen Standorten eine erhöhte Erosionsgefahr angelastet. Auf Flächen mit Hanglage bietet das Zusammentreffen starker Niederschläge im Sommerhalbjahr und eine schwach entwickelte Vegetationsdecke ein erhebliches Erosionspotenzial und damit verbunden einen Verlust an Bodenmächtigkeit und Nährstoffen. Die Förderung der pflanzenbedingten Schutzwirkung und die Ermöglichung einer ganzflächigen mechanischen Unkrautregulation ist Ziel der Gleichstandsaat, einer Sonderform der Reihenengsaat. Die technische Umsetzung der spurübergreifenden Gleichstandsaat wird erst mit dem Einsatz von GPS möglich.

Begriffsbestimmung der Gleichstandsaat

Im Unterschied zur Reihenengsaat (37,5 cm Reihenabstand), welche Stand der Technik ist, wird bei der Gleichstandsaat nicht nur der Reihenabstand im Vergleich zur Normalsaat (75 cm Reihenabstand) reduziert, sondern auch die Ablage benachbarter Maiskörner synchronisiert. Die Saatgutverteilung kann, wie in **Abbildung 1** dargestellt, wahlweise in Form von Quadraten oder gleichseitigen Dreiecken erfolgen. Bei einem Reihenabstand von 33 cm und einem Abstand von 38 cm zwischen den Pflanzen ergibt sich im Dreieckverband eine Bestandesdichte von 9 Pflanzen pro Quadratmeter. Im Quadratverband muss sowohl der Abstand in der Reihe als auch zwischen den Reihen auf 33 cm eingestellt werden. Hierdurch steigt die beim Hacken bearbeitete Fläche von 66 auf 90 % der Gesamtfläche an [3; 4].



Material und Methode

Ziel der Untersuchung ist eine qualitative und quantitative Aussage über die Wirkung der GPS-gestützten Gleichstandsaat im Bezug auf Unkrautmanagement und Bodenschutz im Vergleich zur Reihenengsaat und zur Normalsaat mit 75 cm Reihenabstand. In den Jahren 2008 und 2009 wurden Vorversuche in Kleinparzellen und ein Praxisversuch mit einem mechanisch synchronisierten Einzelkornsägerät auf rund 2 ha durchgeführt.

Ab dem Jahr 2010 ist ein pneumatisches Einzelkornsägerät Versuchsgegenstand, welches über einen elektrischen Antrieb jedes einzelnen Säorgans verfügt. In Kombination mit einem hochpräzisen RTK-DGPS-Signal kann jedes Zellenrad der Säeinheit vom Prozessrechner so angesteuert werden, dass spurübergreifend synchrone Quadrat- und Dreieckverbände etabliert werden können.

Die Versuchsfläche (2008/2009) liegt auf 290 m ü. NN in Neu-Anspach, Hessen. Die Jahresniederschläge betragen im Durchschnitt 700 mm. Die durchschnittliche Jahrestemperatur liegt bei 7,8 °C. Die Varianten wurden jeweils auf ca. 2500 m² großen Langparzellen mit drei Wiederholungen ausgesät und in betriebsüblicher Intensität bewirtschaftet. In der Variante 1 wurde das pneumatische Einzelkornsägerät auf einen Reihenabstand von 75 cm und einen Abstand der Pflanzen in der Reihe von 13 cm eingestellt. Zur Unkrautregulation wurde ein marktübliches Herbizid eingesetzt. In Variante 2 wurde ein Quadratverband von 33 cm etabliert und eine mechanische Unkrautregulation durchgeführt.

Die Hackmaßnahme erfolgte 2008 mit einer sechsreihigen Gänsefußhacke. Zunächst wurde der Unkrautbestand vor der Hackmaßnahme an 20 Stellen jeder Variante erfasst. Nachdem im 4- und im 8-Blatt-Stadium gehackt worden war, wurden die verbliebenen Unkrautpflanzen erneut ausgezählt und die Reduktion berechnet. Während der Vegetationszeit wurde die Wirkung der Aussaat auf die Entwicklung der Kultur, die Unkrautregulation, die Erosion sowie die Ertrags- und Kostenunterschiede dokumentiert und ausgewertet. Die Erosionsschutzwirkung der Prüfvarianten wurde vom Bodenbedeckungsgrad abgeleitet, daher wurden digitale Bilder vom Bestand gemacht und am PC der Deckungsgrad berechnet. Die Ermittlung des Ertrages wurde auf Quadratmeter-Ebene vorgenommen, da so eine Ausdünnung der Maispflanzen beim Hacken am besten berücksichtigt werden konnte. Aus jeder Versuchsparzelle wurden jeweils 4 mal 1 Quadratmeter per Hand geerntet. Die Pflanzen wurden zunächst insgesamt gewogen und anschließend in Blatt-, Kolben- und Stängelanteile zerlegt, um diese einzeln zu wiegen.

Ergebnisse

Das im Quadratverband verwendete mechanische Sägerät wurde sowohl auf einen Reihenabstand als auch auf einen Pflanzenabstand von 33 cm eingestellt. Als Ergebnis bleibt festzuhalten, dass der Abstand der Pflanzen im Durchschnitt 32,30 cm (Standardabweichung 5,3 cm) und der Abstand zwischen den Reihen 33,06 cm (Standardabweichung 2,0 cm) betrug. Die erhöhte Standardabweichung in Variante 2 und das gehäufte Auftreten von Pflanzenverlusten am Übergang zwischen zwei Saatspuren weisen auf eine zu unpräzise Saatgutablage bei der Aussaat mit einem mechanisch synchronisierten Gerät hin. Diese Ungenauigkeit wird durch den mechanischen Antrieb und Schlupf der Antriebsräder verursacht. Daher muss die Saatgutablage zukünftig über einen elektrischen Antrieb in Kombination mit einer RTK-GPS-Steuerung erfolgen. Deshalb

Tab. 1

Durchschnittliche Unkrautreduktion (%) ausgewählter Unkräuter durch Hacken

Table 1: Average weed reduction (%) of well-chosen weeds by hoeing

Unkraut Species	Reduktion Reduction (%)
Windenknöterich (<i>Fallopia convolvulus</i>)	75
Weißer Gänsefuß (<i>Chenopodium album</i>)	72
Taubnessel (<i>Lamium purpureum</i>)	79
Hirtentäschel (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	65
Ackerhellerkraut (<i>Thlaspi arvense</i>)	69
Bluthirse (<i>Digitaria sanguinalis</i>)	67
Raps (<i>Brassica napus</i>)	63
Gänsedistel (<i>Sonchus oleraceus</i>)	67

muss vor dem eigentlichen Feldversuch in einem Prüfstandsversuch die Präzision der Saatgutablage bei einem elektrischen Antriebskonzept überprüft werden. Als zentrales Qualitätskriterium sollen im Versuchsjahr 2010 mittels Lichtschranke die Längs- und Querverteilung überprüft werden. Im Feldversuch sollen die Abstände zwischen den Pflanzen und den Reihen nach Auflaufen der Maispflanzen insbesondere am Übergang zwischen zwei Arbeitsbreiten vermessen werden.

Beide Hackmaßnahmen zusammen erreichten eine durchschnittliche Unkrautreduktion von 73 % und die angestrebte Unkrautunterdrückung im empfindlichen 2- bis 10-Blatt-Stadium der Maispflanze. Bezogen auf das vorgefundene Artenspektrum der Unkräuter zeigt die Analyse keinen signifikanten Einfluss des Hackens auf einzelne Unkrautarten (**Tabelle 1**). Weiterhin zeigt die statistische Auswertung, dass die Signifikanz der Unkrautreduktion mit $p \leq 0,05$ und teils deutlich darunter bei allen Unkräutern gegeben ist.

Tab. 2

Vergleich der bearbeiteten Fläche im Reihenhackverfahren (RHV) und im Kreuzhackverfahren (KHV)

Table 2: Comparison of worked cropland in the inter-row hoeing (IRH) and in the cross-compound hoeing (CCH)

Sicherheitsabstand (cm) Clearance distance (cm)		1	2	3	4	5
Bearbeitete Fläche (%) Worked cropland (%)	RHV IRH	97,33	94,67	92	89,33	86,67
	KHV CCH	99,68	98,72	97,12	94,88	92

Bei einem Sicherheitsabstand zur Kulturpflanze von 3 cm beträgt der Standraum der Kultur beim Kreuzhackverfahren 36 cm^2 . Ausgehend von einer Bestandesdichte von 9 Pflanzen pro Quadratmeter können 324 cm^2 nicht bearbeitet werden, was 3,24 % entspricht. Im Umkehrschluss liegt der Anteil der bearbeiteten Fläche bei 96,76 %. **Tabelle 2** zeigt den Vergleich der bearbeiteten Flächen im Kreuzhackverfahren und im Reihenhackverfahren. Im Mittel der betrachteten Sicherheitsabstände liegt der Anteil an bearbeiteter Fläche im Kreuzhackverfahren um rund 4,5 % höher als im Reihenhackverfahren. Dies führt auch zu einer gesteigerten Wirksamkeit in der Unkrautunterdrückung im Vergleich zum Reihenhackverfahren.

Die Bonitierung des Kulturschadens durch die Hackmaßnahme in Variante 2 ergab bei einer Aussaatstärke von 9,5 Pflanzen pro Quadratmeter einen Kulturschaden von 6,3 %. Die Aufteilung des Schadens zeigt einen Schadensanteil von 35 % beim Hacken in Aussaatrichtung und 65 % beim Arbeiten quer zur Saatrichtung. Die computergestützte Auswertung der Vegetationsaufnahmen ergab am Aufnahmetag 10. Juli 2008 einen Deckungsgrad von 40,46 % in der Normalsaat ($\pm 9,02$ %). Unter Berücksichtigung der Restverunkrautung erreicht der Mais im Quadratverband also einen Deckungsgrad von 61,83 % ($\pm 6,81$ %). Der Unterschied des Deckungsgrades zwischen Normalsaat und Quadratverband ist nach einer ONEWAY-ANOVA-Analyse mit $p \leq 0,001$ hoch signifikant. Eine Schutzwirkung beginnt bei mehr als 30 % gleichmäßig verteilter Bodenbedeckung [6]. Die Normalsaat erreicht 2 Monate nach der Aussaat einen Deckungsgrad der nur rund 10 % über den empfohlenen 30 % zur Erosionsminderung liegt, wohingegen der Quadratverband bereits den doppelten Deckungsgrad der Empfehlung vorweisen kann. In Abhängigkeit von Vegetationsart und -stadium wirkt der Pflanzenbewuchs durch Reduzierung der Niederschlagsenergie, Verringerung der Bodenverschlammung, Zunahme der Infiltrationsleistung und Abbremsen des Oberflächenabflusses erosionsmindernd [7].

Sowohl die Gewichte der einzelnen Pflanzenteile Blatt, Kolben und Stängel als auch das Gesamtgewicht der Maispflanzen im Quadratverband waren den Vergleichsteilen der Normalsaat gewichtsmäßig überlegen ($p \leq 0,005$). Als nicht signifikant hat sich die Auswirkung des Kulturverfahrens auf den Trockensubstanzgehalt erwiesen. Die Ertragsermittlung auf Quadratmeterebene hat gezeigt, dass die Quadratsaat einen höheren Ertrag erwarten lässt als die Normalsaat. Der relative Mehrertrag zur Basis Normalsaat beläuft sich bei dem Gesamtgewicht auf rund 24 %. In Feldversuchen wurden bei Engsaat Ertragssteigerungen von 7–21 % bzw. 9 % festgestellt [8]. Die einzelnen Ergebnisse sind jedoch nur bedingt vergleichbar, da Jahres-, Sorten- und Witterungseinflüsse eine Rolle spielen.

Betriebswirtschaftliche Ansätze zur Gleichstandsart

Die Einführung des Kulturverfahrens in die Praxis hängt von pflanzenbaulichen Aspekten, den anfallenden Kosten und der benötigten Arbeitszeit ab. Die Berechnung der Kosten zeigt, dass die Engsaat von Mais für die Beispielflächen von 1–20 ha

Schlaggröße im Durchschnitt etwa 17,50 € pro ha teurer als die konventionelle Aussaat ist.

Werden neben den Kosten pro Überfahrt (12–26 € pro ha) auch die Kosten für das Herbizid von rund 81 € pro ha berücksichtigt, so liegen die Gesamtkosten zwischen 92,67 und 106,69 € pro ha. Bei Einsatz einer Hackmaschine liegen die Kosten pro Überfahrt deutlich höher als bei der Pflanzenschutzspritze; dafür entfallen jedoch die Kosten für Herbizide. Verrechnet man nun die höheren Kosten der Überfahrt mit der Einsparung des Herbizides, zeigt sich, dass die mechanische Variante ab einer Schlaggröße von 5 ha günstiger ausfällt als die chemische Alternative. Weiterhin zeigen die Berechnungen, dass die benötigte Arbeitszeit für den Hackeneinsatz auf allen untersuchten Schlaggrößen mit einer bis drei Stunden deutlich über dem Zeitbedarf der Feldspritze liegt. Auch im Vergleich zum normalen Reihenhackverfahren liegt das Kreuzhackverfahren, bedingt durch die zwei Arbeitsrichtungen, ungefähr um den Faktor zwei höher im Arbeitszeitbedarf.

Durch einen zeitlichen Versatz der beiden Überfahrten in unterschiedliche Richtungen könnte der Arbeitszeitbedarf in etwa auf den des Reihenhackverfahrens (RHV) gesenkt werden. Gleichzeitig erhöht sich die Wirksamkeit der Unkrautregulation, da der mehrfach bearbeitete Bereich (**Abbildung 2**) nicht im Abstand weniger Stunden, sondern im Abstand mehrerer Tage bearbeitet wird, so dass anschließend keimende Unkräuter bei der zweiten Überfahrt erfasst werden.

Die Verrechnung des Mehrertrages mit den Mehrkosten des Kreuzhackverfahrens (KHV) zeigt für die untersuchten Schlaggrößen von 1–5 ha einen nötigen Mehrertrag durch das KHV in der Größenordnung von 2–6 %, um einen positiven Deckungsbeitrag zu erhalten. Schon ab etwa 4 ha liegen die Kosten des KHV niedriger als beim chemischen Pflanzenschutz, allerdings ist immer der Mehrbedarf an Arbeitszeit zu berücksichtigen.

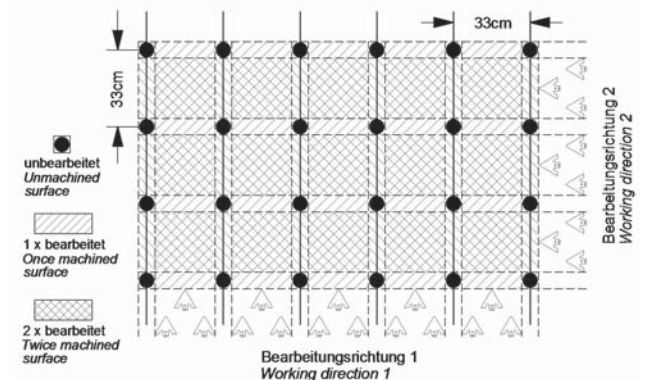
Schlussfolgerungen

In zahlreichen Versuchen wurde nachgewiesen, dass eine Engsaat nicht nur Ertragsvorteile bringt, sondern auch unter Umweltaspekten – schnellere Beschattung des Bodens, bessere N-Ausnutzung und damit geringere N_{\min} -Werte nach der Ernte – klar den weiteren Reihenabständen vorzuziehen ist. Diese Ergebnisse konnten auch in der Gleichstandsaaat bestätigt werden.

Die Genauigkeit der Pflanzenposition ist abhängig von Genauigkeit der Ablage, Roll-Wirkung des Saatgutes und vom aufrechten Wachstum der Pflanze. Nach Auswertungen von Schulze Lammers verursachen diese Faktoren eine Ungenauigkeit von 2 cm [9]. Somit ermöglicht es die heute verfügbare Präzisionstechnik Maissaatgut so exakt zu platzieren, dass hohe Pflanzenverluste beim Hacken nicht in Kauf genommen werden müssen. Die eigentliche Herausforderung der Quadratverbandssaat besteht in der spurübergreifenden Synchronisierung der Saatgutablage, als Voraussetzung einer Hackmaßnahme quer zur Aussaatrichtung (**Abbildung 2**).

Einerseits ist die Witterungsabhängigkeit beim Hacken im Vergleich zur chemischen Unkrautregulation geringer, da kei-

Abb. 2



Bearbeitungshäufigkeit bei zwei Überfahrten

Fig. 2: Treatment frequency with two crossings

ne Pflanzenschäden durch Sonne, Temperatur oder fehlende Wachsschicht zu befürchten sind. Andererseits muss der Boden trocken sein, um Strukturschäden durch die Hackwerkzeuge und den Traktor zu vermeiden. Der Erfolg der mechanischen Unkrautregulation wird maßgeblich von der Folgewitterung bestimmt, da bei trockener, warmer Witterung ein zügiges Vertrocknen der Unkräuter gewährleistet wird, wohingegen Niederschlag ein Wiederanwachsen begünstigt. Das Zeitfenster zur Behandlung wird sowohl beim chemischen als auch beim mechanischen Pflanzenschutz von unkontrollierbaren äußeren Einflüssen bestimmt und ist bei beiden Alternativen vergleichbar groß.

Literatur

- Bücher sind durch ● gekennzeichnet
- [1] ● Zscheischler, J.: Handbuch Mais – Umweltgerechter Anbau, Wirtschaftliche Verwertung. BLV Buchverlag GmbH & Co., München, 1997
 - [2] ● Dirauer, H. U.: Unkrautregulierung ohne Chemie. In: H.-U. Dirauer und H. Stöppler-Zimmer: Direkte Maßnahmen zur Unkrautregulierung. Ulmer Verlag, Stuttgart, 1994, S. 62 f.
 - [3] Auernhammer, H.; M. Rothmund und G. Steinberger: Das Kreuzhackverfahren – Zweidimensionale mechanische Unkrautbekämpfung im Maisanbau durch Einzelkornsaaat im spurübergreifenden quadratischen Verband. 15. Arbeitswissenschaftliches Seminar des VDI-MEG-Arbeitskreises Arbeitswissenschaften im Landbau, Wien, 2007
 - [4] Götz, S. Verfahrenstechnischer Vergleich der Normalsaat zur Kreuzverbandssaat bei Mais unter Berücksichtigung pflanzenbaulicher und ökonomischer Aspekte. Gießen, unveröffentlicht, 2008
 - [5] Demmel, M. et al.: Gleichstandsaaat bei Silomais. Landtechnik 55 (2000), H. 3, S. 210–211
 - [6] Wischmeier, W. and Smith, D.: Predict rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. United States Department of Agriculture, Washington D.C., 1965
 - [7] Dikau, R.: Experimentelle Untersuchungen zu Oberflächenabfluß und Bodenabtrag von Messparzellen und landwirtschaftlichen Nutzflächen. Reihe Heidelberger geographische Arbeiten, Hrsg. Barsch, D.; W. Fricke und P. Meusburger, Heft 81, Selbstverlag des Geographischen Institutes der Universität Heidelberg, Heidelberg, 1986
 - [8] Peyker, W. H.: Umsetzung des Maisengreihenbaus im Einzugsgebiet Trinkwassertalsperrensyste Weida-Zeulenroda-Lössau. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 2000
 - [9] Schmittmann, O. und P. Schulze Lammers: Position steered sowing of Row Crops – Parallel sowing of sugar beet. International Conference on Agricultural Engineering AgEng 2008, Hersonissos

Autoren

Prof. Dr. Heinz Bernhardt ist Ordinarius und M.Sc. Sebastian Götz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Lehrstuhls für Agrarsystemtechnik der technischen Universität München, Am Staudengarten 2, 85354 Freising-Weihenstephan, E-Mail: sebastian.goetz@wzw.tum.de