

Präzisionsunkrautkontrolle in Reihenkulturen

Effizienteres Hacken mit sensor- und satellitenbasierten Steuerungen und Lenksystemen

Juni 2016

Inhaltsverzeichnis

Techniküberblick	2
Verfahrenstechnische Untersuchungen	3
Betriebswirtschaftliche Aspekte	4
Weitergehende Informationen	4
Literaturverzeichnis	4
Impressum	4

Autoren

Martin Holpp¹
 Thomas Anken¹
 Thomas Stehle²
 Dimitri Martin³
 Matthias Hatt¹

¹ Agroscope, Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH

² Universität Hohenheim, Fakultät Agrarwissenschaften

³ ETH Zürich, Departement Umweltsystemwissenschaften



Foto: Garford

Hacken, die mit automatisierten Steuerungen ausgerüstet sind, wie dieses Modell mit kamerageführtem, hydraulischem Querverschieberahmen reduzieren den Arbeitszeitbedarf.

Das Hacken von Reihenkulturen war bis zur Einführung von Herbiziden eines der Standardverfahren zur Unkrautkontrolle. Aus verfahrenstechnischen und arbeitswirtschaftlichen Gründen verschwanden die Hackgeräte von den meisten Betrieben. Im Vergleich zur Pflanzenschutzmittelapplikation ist das Pflegezeitfenster für eine Bearbeitung des Bodens kleiner, die Flächenleistung aufgrund geringerer Arbeitsbreiten niedriger und der Arbeitszeitbedarf, vor allem wenn eine zusätzliche Steuerperson benötigt wird, wesentlich höher. Lange Zeit hackten nur noch biologisch wirtschaftende Betriebe. Aktuell gewinnt das Verfahren vor dem Hintergrund herbizidresistenter Beikräuter, der

Verringerung zugelassener Wirkstoffe sowie wegen des Gewässerschutzes wieder an Bedeutung. Für eine arbeitseffiziente Durchführung stehen heute sensor- und satellitenbasierte Steuerungen und Lenksysteme zur Verfügung, die die Leistungsfähigkeit des Verfahrens steigern und die Kosten senken können. Dieser Bericht gibt einen Überblick über die zur Verfügung stehenden Technologien, zeigt ihre Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzgrenzen auf und behandelt betriebswirtschaftliche Aspekte.



Schweizerische Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederazione Svizzera
 Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
 Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope



Abb. 1: Die Kamera detektiert zwei Pflanzenreihen und steuert den Querverschieberahmen dynamisch nach. (Foto: Einböck GmbH)

Techniküberblick

Das ideale Hackverfahren hat eine hohe Arbeitsqualität bei gleichzeitig hoher Arbeitsleistung und lässt sich durch eine Person durchführen, die durch die Technik von der Gerätesteuerung entlastet wird. Hierfür werden kamera-, satelliten- und ultraschallgesteuerte Hackgeräte angeboten. Diese sind in der Regel an einen hydraulisch angelenkten Querverschieberahmen angebaut, der die Hackwerkzeuge präzise an der Pflanzenreihe entlangführt.

Kamerabasierte Steuerungen

Bei den Kameras gibt es heute zwei Hersteller, die einen Grossteil des Marktes abdecken. Während das Claas-System über die verschiedenen Hackgeräteanbieter vertrieben wird, hat Garford auch eigene Hacken im Angebot. Die verschiedenen Geräte funktionieren nach demselben Grundprinzip: Die Kamera hat zwei Pflanzenreihen im Sichtfeld, analysiert deren Verlauf und steuert den Querverschieberahmen. Die Geschwindigkeiten können 10 km/h übersteigen (Abb. 1). Die Regelungsqualität hängt stark von der Sichtbarkeit der Reihen ab. Es braucht eine minimale Pflanzengrösse, damit die Kameras die Pflanzen erkennen. Lange Fehlstellen auf den detektierten Pflanzenreihen sowie starke Verunkrautung führen dazu, dass die Reihen nicht mehr zuverlässig erfasst werden. Seitenwind und geringe Beleuchtung können die Regelungs-genauigkeit zusätzlich beeinträchtigen. Es ist also auch mit Kamerasteuerungen wichtig, die Bearbeitung im richtigen Zeitfenster durchzuführen.

Im Gegensatz zur manuellen Steuerung können mittels mehrerer Kameras mehrere Säarbeitsbreiten gleichzeitig gehackt werden (Abb. 2).



Abb. 2: Mit einzelnen Kameras separat angesteuerte Hackfelder für das Hacken über mehrere Säarbeitsbreiten hinweg. (Foto: Schmotzer)



Abb. 3: Hacken innerhalb der Pflanzenreihen. Links der Garford-In-Row-Weeder, rechts der Poulsen-Robovator. (Foto links: Garford, rechts: Poulsen)



Kamera-Spezialanwendung: Hacken innerhalb der Reihe

Neben Steuerungen für das klassische Hacken zwischen den Pflanzenreihen gibt es auch Geräte für das Hacken zwischen den Pflanzen innerhalb der Pflanzenreihe. Diese sind vor allem für Gemüsebaubetriebe interessant, bei denen in gepflanzten Kulturen wie Salaten auch die Kontrolle in der Reihe wichtig ist (Abb. 3).

Ultraschallbasierte Steuerung

Bei diesem System von Reichhardt orientieren sich die Ultraschallsensoren an Strukturen im Feld wie Pflanzenreihen oder Pflanzdämmen. Es gibt Ausführungen, die direkt am Hackgerät montiert werden oder über einen universell verwendbaren Querverschieberahmen das Hackgerät steuern (Abb. 4). Die Einsatzgrenzen sind mit Ausnahme der Beleuchtungsanforderungen ähnlich wie bei den kamerabasierten Steuerungen.

Satellitenbasierte Steuerung

Wurden die Saat oder das Pflanzen mit einem satellitenge-lenkten Traktor durchgeführt, dann kann beim Hacken den aufgezeichneten Saatspuren gefolgt werden. Diese sehr gerade angelegten Pflanzenreihen haben den Vorteil, dass das Hackgerät wesentlich geringeren Abweichungen zu folgen hat als bei manuell gelenkter Saat. Die Regelung des Querverschieberahmens ist mit einem Satellitenempfänger ausgestattet, der dafür sorgt, dass das Hackgerät exakt der Säspur nachfährt. Dieses Konzept wird von Reichhardt (Abb. 4, rechts oben im Bild) und Geo-Konzept angeboten. Im Vergleich zu kamera- und ultraschallgesteuerten Geräten beeinflussen die Bestandes-eigenschaften dieses Verfahren kaum. Fehlende Pflanzen, stärkere Verunkrautung, Seitenwind und Beleuchtung spielen keine Rolle. Die Arbeitsgänge Saat und Hacken bauen allerdings aufeinander auf und müssen entsprechend koordiniert werden.



Abb. 4: Ultraschallbasiertes Regelsystem, links an der Hacke, rechts am Querverschieberahmen. (Foto: Reichhardt)

Verfahrenstechnische Untersuchungen

In den Jahren 2014 und 2015 führte Agroscope zwei Studienarbeiten zur Präzisionsunkrautkontrolle im Mais durch. In der einen wurden in Zusammenarbeit mit der Uni Hohenheim die Einsatzgrenzen einer kamerabasierten Hackgerätsteuerung mit Querverschieberahmen erhoben. In der anderen wurde in Kooperation mit der ETH Zürich die Frage untersucht, ob sich die nötige Hackgenauigkeit auch ohne hydraulischen Querverschieberahmen erreichen lässt, indem bei Saat und Hacken ein präzise satellitengelenkter Traktor eingesetzt wird und die Hacke dann der bei der Saat aufgezeichneten Fahrspur folgt.

Versuchsergebnisse der kamerabasierten Steuerung

In der Arbeit wurde die Regelgenauigkeit eines Robocrop-Kamerasystems von Garford in einer Feldversuchsanlage bei Fahrgeschwindigkeiten von 4, 8 und 12 km/h, bei Bestandslücken und bei Verunkrautung untersucht.

Es zeigte sich keine signifikante Veränderung der Arbeitsgenauigkeit bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten, aber ein leichter Trend zu einer besseren Funktionsweise bei höherer Geschwindigkeit. Bestandslücken zeigten einen hoch signifikanten Einfluss mit niedrigerer Arbeitsqualität in Form eines geringeren Bekämpfungserfolges und höheren Kulturpflanzenschäden. Die Senfeinsaat, mit der für die Kamera der Effekt von Unkrautnestern erzeugt wurde, zeigte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Arbeitsqualität, hier auch in Form eines geringeren Bekämpfungserfolgs.

Aufgrund der ermittelten Ergebnisse konnten in Abhängigkeit von den Bedingungen vor Ort Abstände von 5–13 cm zwischen Hackwerkzeug und Kulturpflanzenreihe abgeleitet werden. Die Abweichungen zu Herstellerangaben und Ergebnissen anderer Untersuchungen waren durch die bezüglich Hackzeitpunkt und Bodenverhältnisse suboptimalen Versuchsbedingungen erklärbar. Wenn diese auch nicht ideal waren, so lagen sie aber vermutlich nah an der Praxis, besonders im Hinblick auf Verunkrautungssituationen im Ökolandbau.

Zusammenfassend zeigte sich, dass die Kamerasteuerung bei entsprechenden Einsatzbedingungen eine starke Steigerung der Fahrgeschwindigkeit auf über 10 km/h ermöglicht und sich diese hohen Geschwindigkeiten auch kontinuierlich bei hoher Arbeitsqualität halten lassen.



Abb. 5: Links Bestandslücken in einer Parzelle mit Fehlstellen. Die Pflanzen wurden in den zwei Reihen, die von der Kamera erfasst werden, auf 2 m Länge entfernt. Rechts eine Parzelle mit Senfeinsaat zur Simulation von Verunkrautung. (Fotos: Thomas Stehle, Universität Hohenheim)

Versuchsergebnisse der satellitenbasierten Traktorlenkung

Bei der Prüfung der satellitenbasierten Traktorlenkung wurde entlang der aufgezeichneten Säspuren gehackt. Im ersten Teil der Arbeit wurde untersucht, mit welcher Art der Unterlenkeranhängung das Hackgerät beim ersten und zweiten Hackdurchgang am genauesten der mit blockierten Unterlenkern angelegten Säfahrspur nachfolgt. Die Säfahrspuren wurden mit einem Traktor, der mit einem Lenksystem der höchsten Genauigkeitsstufe von $\pm 2,5$ cm Genauigkeit ausgestattet war, und der Einzelkornsämaschine gezogen. Da die Arbeit ausserhalb der Mais-saison stattfand, wurde ohne Kornablage gefahren und zur Simulation von Maispflanzen wurden Markierungsstöcke in die Säfahrspuren gesetzt. Im ersten Durchgang auf ebener, gesetzter Bodenoberfläche war die blockierte Unterlenkeranhängung vorteilhaft für die Hackwerkzeugführung. Im zweiten Durchgang orientierten sich die Hackwerkzeuge an den während des ersten Durchganges entstandenen, leichten Dämmen und die freien Unterlenker dämpften die Lenkkorrekturen des Traktors.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden die Hackgeschwindigkeiten 6, 8 und 10 km/h getestet. Der maschinenseitig vorgegebene Abstand zwischen den Sternhackwerkzeugen betrug 25 cm. Bei einer Breite der Sälinie von 5 cm blieb auf beiden Seiten der Pflanzenreihe ein Abstand von 10 cm zwischen Pflanzen und Hackwerkzeugen. In allen untersuchten Kombinationen bewegten sich die Hackwerkzeuge in einem Bereich von ± 5 cm Standardabweichung um die Ideallinie herum. Es wurden nie Stöcke herausgehackt – die Lenkung war sehr zuverlässig.

Zusammenfassend zeigte sich, dass es möglich ist, das Hacken auch ohne separat angesteuerten Querverschieberahmen allein auf Basis eines satellitenbasierten Traktorlenksystems durchzuführen. Voraussetzung sind Kulturen, bei denen die Hackwerkzeuge in einem Abstand von etwa 10 cm zu den Pflanzen geführt werden können, was bei Mais, Zuckerrüben und vermutlich weiteren Kulturen realisierbar ist.

Gegenüber sensorbasierten Steuerungen eines Querverschieberahmens hat der Einsatz satellitenbasierter Traktorlenksysteme zudem den Vorteil, dass sie für weitere Arbeitsgänge bei Saat, Pflege und Ernte eingesetzt werden können und dadurch eine höhere Gesamtauslastung des Systems wie auch Fahrerentlastung resultiert.



Abb. 6: Mit dem maschinenseitig vorgegebenen Abstand von 25 cm zwischen den Hackwerkzeugen blieben alle Markierungsstöcke stehen, keiner wurde herausgehackt. (Fotos: Martin Dimitri, ETH Zürich)

Betriebswirtschaftliche Aspekte

Im Rahmen der Untersuchung des kameragesteuerten Hackgeräts wurden auch arbeitswirtschaftliche Erhebungen durchgeführt. Im bei Agroscope verwendeten arbeitswirtschaftlichen Modellkalkulationssystem PROOF wurden vorhandene Datensätze von Hackverfahren um die bei der kamerabasierten Steuerung spezifischen Rüstzeiten ergänzt.

Geschwindigkeit in km/h	Flächenleistung in ha/h	
	manuelle Steuerung	Kamera- steuerung
4	0,38	0,36
8	0,57	0,52
12	0,68	0,61

Tab. 1: Theoretische Flächenleistungen von Hackgeräten mit 3m Arbeitsbreite und manueller Steuerung bzw. Kamerasteuerung in Abhängigkeit der Geschwindigkeit auf Basis einer Fläche von einem Hektar.

Tab. 1 zeigt die aus der Modellrechnung resultierenden theoretischen Flächenleistungen beim Hacken mit 3m Arbeitsbreite mit manueller Steuerung und Kamerasteuerung mit einer zu bearbeitenden Fläche von einem Hektar. Die etwas geringeren Flächenleistungen der Kamerasteuerung sind auf die Rüstzeiten auf dem Feld zurückzuführen. Die Kamerasteuerung muss auf dem Feld gestartet und auf die Pflanzenreihen ausgerichtet werden. Steigt die zu bearbeitende Fläche, dreht sich das Verhältnis zugunsten der Kamerasteuerung. Mit Blick auf die Arbeitsbelastung und die Arbeitssicherheit sind bei manueller Lenkung Geschwindigkeiten von 8–12 km/h kritisch, sodass die Flächenleistungen 0,57 ha/h und 0,68 ha/h ausschliesslich theoretischer Natur sind. Aus diesem Grund werden die beiden Varianten nur auf der Stufe 4 km/h verglichen. Abb. 7 zeigt den Arbeitszeitbedarf und die benötigte Maschinenzeit der manuell gesteuerten Hacke mit einer Geschwindigkeit von 4 km/h. Es ist deutlich zu sehen, dass der Arbeitszeitbedarf durch die zweite Arbeitskraft nahezu doppelt so hoch ist wie die benötigten Maschinenstunden. Zudem ist sowohl beim Arbeitszeitbedarf als auch bei der Maschinenzeit eine Degression mit zunehmender Fläche zu erkennen. Der Arbeitszeitbedarf fällt von 7,1 AKh/ha (3,4 Mh/ha) für eine Fläche von 0,5 ha auf 3,8 AKh/ha (1,9 Mh/ha) für eine Fläche von 10 ha.

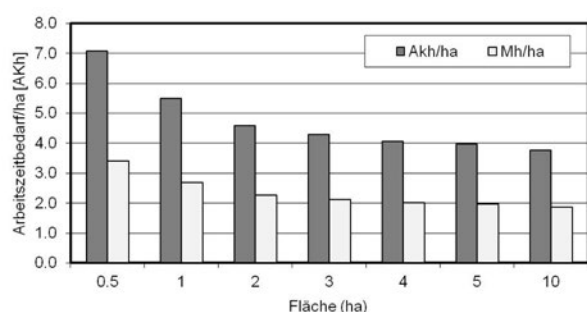


Abb. 7: Arbeitszeitbedarf (AKh) und Maschinenstunden (Mh) je Hektar (ha) einer Hacke mit manueller Lenkung, 3m Arbeitsbreite und 4 km/h Fahrgeschwindigkeit.

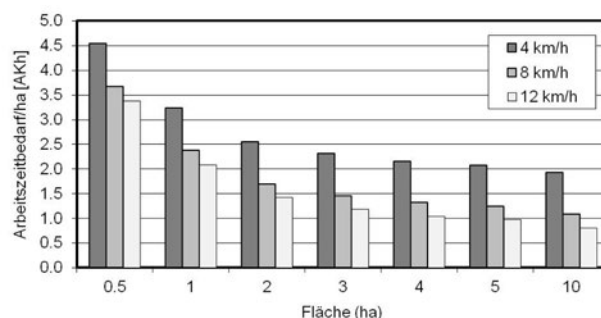


Abb. 8: Vergleich des Arbeitszeitbedarfs kameragesteuerter Hackgeräte mit 3m Arbeitsbreite bei unterschiedlichen Arbeitsgeschwindigkeiten.

Abb. 8 zeigt den Arbeitszeitbedarf der Hacke mit Kamerasteuerung in den drei Geschwindigkeitsstufen und nach Parzellengrößen von 0,5–10 ha. Alle drei Geschwindigkeitsstufen zeigen eine Degression mit zunehmender Parzellengröße. Zudem ist die Reduktion des Arbeitszeitbedarfs zwischen den Geschwindigkeitsstufen 4 und 8 km/h grösser als zwischen 8 und 12 km/h. Mit steigender Parzellengröße sinkt der Zeiteinsparungseffekt zwischen den drei Geschwindigkeitsstufen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass eine Kamerasteuerung aus arbeitswirtschaftlicher Sicht vor allem sinnvoll ist, wenn sich der Arbeitszeitbedarf durch die Einsparung einer Arbeitskraft deutlich reduzieren lässt und mit höheren Fahrgeschwindigkeiten höhere Flächenleistungen realisiert werden können. Diese Effekte gelten sinngemäss ebenso beim Einsatz eines satellitenbasierten Traktorenlenksystems, bei dem die Hackvorgänge entlang der Säspur erfolgen.

Die Anschaffungskosten für Sensorsteuerungen von Hackgeräten liegen je nach Ausstattungsgrad zwischen etwa Fr. 10 000.– und Fr. 30 000.–. Präzise satellitenbasierte Lenkssysteme liegen bei etwa Fr. 15 000.– bis Fr. 25 000.–, wobei Zusatzkosten für Korrektursignale anfallen.

Weitergehende Informationen

www.bioaktuell.ch > Pflanzenbau > Präzisionslandwirtschaft

Literaturverzeichnis

- Stehle T., 2015. Kameragesteuertes Hacken; Betrachtung von Einflussfaktoren, Verfahrenstechnik und Arbeitswirtschaft. Masterarbeit, Uni Hohenheim.
- Martin D., 2015. Utilisation d'un tracteur équipé d'un système d'autoguidage haute précision par satellite avec une sarcluse non dirigée. Bachelorarbeit, ETH Zürich.

Impressum

Herausgeber	Agroscope, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, www.agroscope.ch
Auskünfte	Thomas Anken, E-Mail: thomas.anken@agroscope.admin.ch
Redaktion	Erika Meili
Satz und Druck	Sonderegger Publish AG, Weinfelden
Download	www.agroscope.ch/transfer
Copyright	© Agroscope 2016
Adress- änderungen	Bundesamt für Bauten und Logistik BBL, Bern E-Mail: verkauf.zivil@bbl.admin.ch (bitte Abonnementsnummer angeben, die sich auf der Adressetikette befindet)
ISSN	2296-7206 (print), 2296-7214 (online)