

TECHNISCHE, ARBEITS- UND BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE DER AUTOMATISCHEN LENKUNG VON HACKGERÄTEN

TECHNICAL, WORK ECONOMIC AND ECONOMIC ASPECTS OF THE AUTOMATIC GUIDANCE SYSTEMS FOR ROW CROP CULTIVATORS

**Franz Handler
Manfred Nadlinger**

Dezember 2005

Impressum

Franz Handler
Manfred Nadlinger
HBLFA Francisco Josephinum
BLT Biomass – Logistics – Technology
A 3250 Wieselburg

Als Manuskript gedruckt und herausgegeben von



Dezember 2005

Endbericht zum Forschungsprojekt BLT 2003/2277 „TECHNISCHE, ARBEITS- UND
BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE DER AUTOMATISCHEN LENKUNG VON
HACKGERÄTEN“

Der Nachdruck, die Entnahme von Abbildungen, die photomechanische oder
xerographische Vervielfältigung und auch die auszugsweise Wiedergabe sind
nur unter Quellenangabe gestattet.

Mit dem Agrarrechtsänderungsgesetz 2004 (BGBl. Nr. 83/2004) wurden die Höhere
landwirtschaftliche Bundeslehranstalt Francisco-Josephinum in Wieselburg und die Bundesanstalt für
Landtechnik in Wieselburg mit 1. Jänner 2005 zur „Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für
Landwirtschaft, Landtechnik und Lebensmitteltechnologie Francisco Josephinum in Wieselburg“ zu-
sammengeführt. Die Kurzbezeichnung „BLT“ steht für den F & E Bereich Biomass – Logistics –
Technology der HBLFA Wieselburg. Der Aufgaben- und Wirkungsbereich hat sich gegenüber der
ehemaligen Bundesanstalt für Landtechnik (BLT) nicht verändert.

Rottenhauser Straße 1
AT 3250 Wieselburg
AUSTRIA

Tel.: +43 (0)7416 52175 - 0
Fax: +43 (0)7416 52175 - 45
E-Mail: blt@josephinum.at

Liste aller bisherigen Forschungsberichte der BLT Wieselburg:
<http://www.blb.bmlfuw.gv.at/vero/Veroeff-Forschungsberichte.htm>

Inhalt

1. Einleitung	4
2. Zielsetzung	5
2.1 Grenzen des Einsatzes beim Hacken von Reihenkulturen bei der Lenkung über die digitale Farbkamera	5
2.1.1 Einfluss der Größe der Kulturpflanzen	5
2.1.2 Bedeckungsgrad des Bodens durch Beikräuter	5
2.2 Arbeitswirtschaftliche Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Betrieben	5
2.3 Betriebswirtschaftliche Beurteilung.....	5
3. Material und Methode.....	6
3.1 Beschreibung des untersuchten Gerätes.....	6
3.2 Untersuchungen auf Praxisbetrieben	8
3.3 Untersuchungen mit dem A-Rahmen von ECO-DAN an der Bundesanstalt für Landtechnik (BLT)	8
3.3.1 Größe der Kulturpflanzen.....	9
3.3.2 Bedeckungsgrad des Bodens mit Beikräutern	9
3.3.3 Mögliche Fahrgeschwindigkeit	9
4. Ergebnisse	12
4.1 Ergebnisse auf den Praxisbetrieben	12
4.1.1 Ergebnis der Arbeitszeiterhebung.....	12
4.1.2 Auswertung der Erhebungsblätter.....	15
4.2 Ergebnisse der Untersuchungen mit dem A-Rahmen von ECO-DAN an der BLT	19
4.2.1 Größe der Kulturpflanzen.....	19
4.2.2 Bedeckungsgrad des Bodens mit Beikräutern	20
4.2.3 Mögliche Fahrgeschwindigkeit.....	22
4.3 Betriebswirtschaftliche Ergebnisse	26
5. Zusammenfassung.....	33
6. Abstract	35
7. Literatur	37
8. Anhang 1	38

1. Einleitung

In Dänemark wurden Lenkungen für Traktoranbaugeräte entwickelt, die beispielsweise Hack- oder Bandspritzgeräte in Reihenkulturen automatisch entlang der Pflanzenreihe führen können. Das heißt, sie können innerhalb einer bestimmten Bandbreite Lenkbewegungen des Traktorfahrers mit Hilfe einer opto-elektronischen Regelung ausgleichen. Untersuchungen in Dänemark und Deutschland haben gezeigt, dass die erzielte Führungsgenauigkeit der eines manuell gesteuerten Hackgerätes entspricht.

Die erwarteten Hauptvorteile der Systeme sind die Einsparung einer Arbeitskraft zur Lenkung des Hackgerätes, eine höhere Flächenleistung durch höhere Fahrgeschwindigkeiten, eine Entlastung des Traktorfahrers und in der konventionellen Landwirtschaft eine Reduktion des Herbizideinsatzes.

2. Zielsetzung

2.1 Grenzen des Einsatzes beim Hacken von Reihenkulturen bei der Lenkung über die digitale Farbkamera

2.1.1 Einfluss der Größe der Kulturpflanzen

Auf Grund der Entwicklung der Beikräuter ist es erforderlich, dass möglichst bald nach der Aussaat gehackt werden kann. Deshalb ist das Entwicklungsstadium, ab dem die Kulturpflanzenreihe von der Farbkamera erkannt wird, sehr wichtig. Es wird untersucht, ab welcher Pflanzengröße die Reihen erkannt werden.

2.1.2 Bedeckungsgrad des Bodens durch Beikräuter

Der Prozessrechner kann nicht zwischen Kulturpflanzen und Beikräutern unterscheiden. Er errechnet aus den insgesamt vorhandenen grünen Bildpunkten zum Unterschied des andersfarbigen Bodens die Mitte der Kulturpflanzenreihen. Sind zu viele Beikräuter vorhanden, kann er die Kulturpflanzenreihe nicht mehr erkennen. Versuche sollen zeigen, ab welcher Beikrautdichte keine Reihen erkannt werden können.

2.2 Arbeitswirtschaftliche Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Betrieben

Søgaard und Jørgensen (2002) sind bei ihren Untersuchungen auf arbeitswirtschaftliche Aspekte nicht eingegangen. *Eichberg und Müller (2001)* machen nur Angaben zu Rotkohl und Salat, berücksichtigen aber die Wendezeiten nicht. Vorversuche im Jahr 2002 haben gezeigt, dass bei Sojabohnen mit der automatischen Regelung höhere Fahrgeschwindigkeiten möglich sind als bei manueller Steuerung des Hackgerätes. Deshalb werden bei Soja, Mais, Ackerbohne und Kraut in den verschiedenen Vegetationsstadien der Kulturen mittels der Zeitelementmethode Arbeitszeiterhebungen mit automatischer und manueller Lenkung durchgeführt.

2.3 Betriebswirtschaftliche Beurteilung

Aufbauend auf den Ergebnissen der Arbeitszeiterhebung wird ein Vergleich zwischen automatischer und manueller Lenkung auf Basis der Maschinenkosten und der Kosten für die Arbeitskraft durchgeführt.

3. Material und Methode

3.1 Beschreibung des untersuchten Gerätes

Von der dänischen Firma ECO-DAN A/S wurde eine opto-elektronische Lenkung für Traktoranbaugeräte für Arbeiten in Reihenkulturen entwickelt. Aus den von einer digitalen Farbkamera (siehe Abbildung 2) erfassten grünen Bildpunkten errechnet der Prozessrechner die Mitte der Pflanzenreihe. Pro Sekunde werden 25 Bilder verarbeitet. Weicht die Mitte der Pflanzenreihen von der Bildmitte ab, korrigiert die Regelung die Stellung des Hackgerätes am Führungsrahmen mittels eines Hydraulikzylinders (siehe Abbildung 4). Dieser wird von der Regelung über ein elektromagnetisch betätigtes Hydraulikventil angesteuert. Der Führungsrahmen ist an den Dreipunktanbaupunkten des Traktors montiert (siehe Abbildung 1). Erkennt das System keine Reihe oder erreicht der Hydraulikzylinder den Endanschlag ertönt ein akustisches Warnsignal. In Notfällen kann das Hackgerät über das Bedienterminal (siehe Abbildung 3) auch manuell gesteuert werden. Über das Bedienterminal können auch die notwendigen Einstellungen vorgenommen werden.

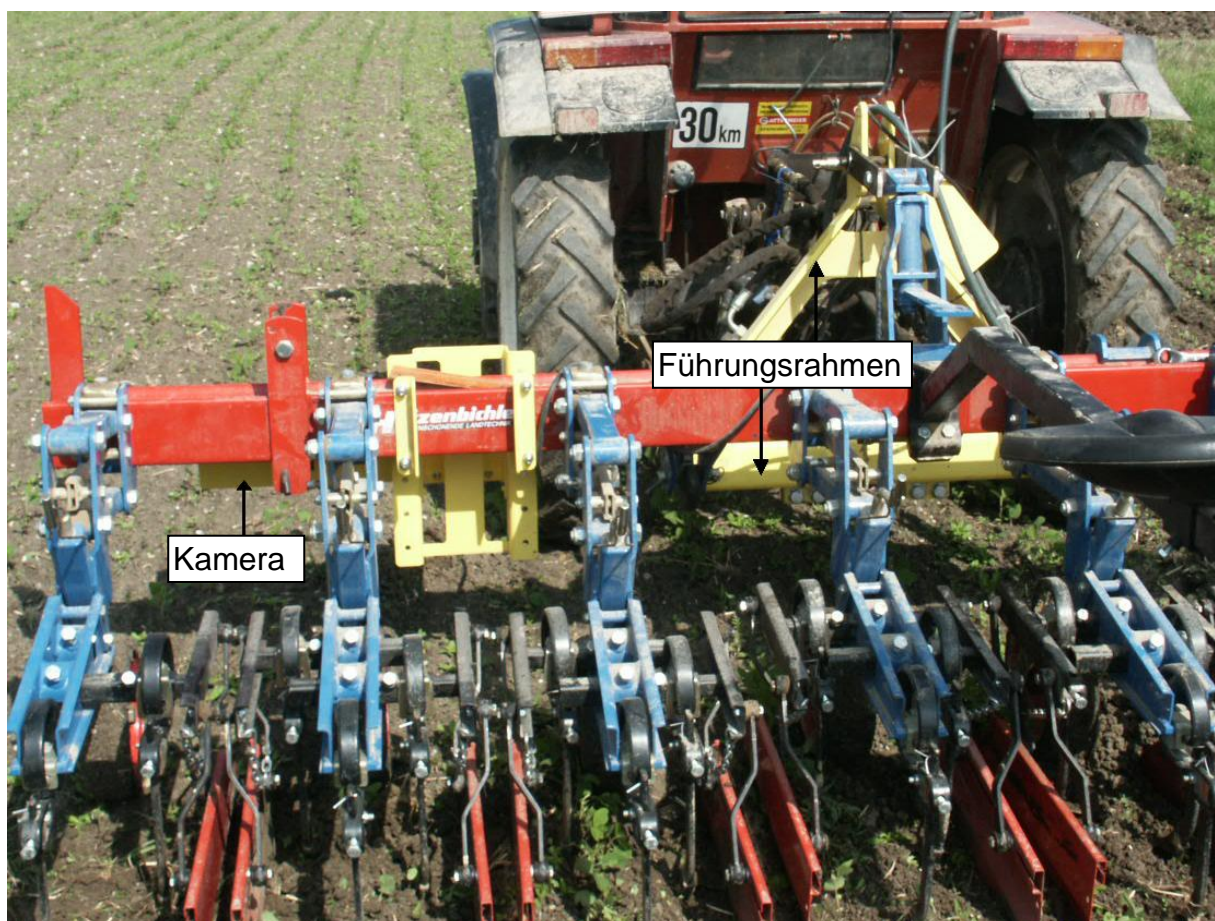


Abbildung 1: Hackgerät am Steuerrahmen (A-Rahmen von ECO-DAN)



Abbildung 2: Doppelkamera mit integriertem Rechner



Abbildung 3: Bedienterminal am Traktor

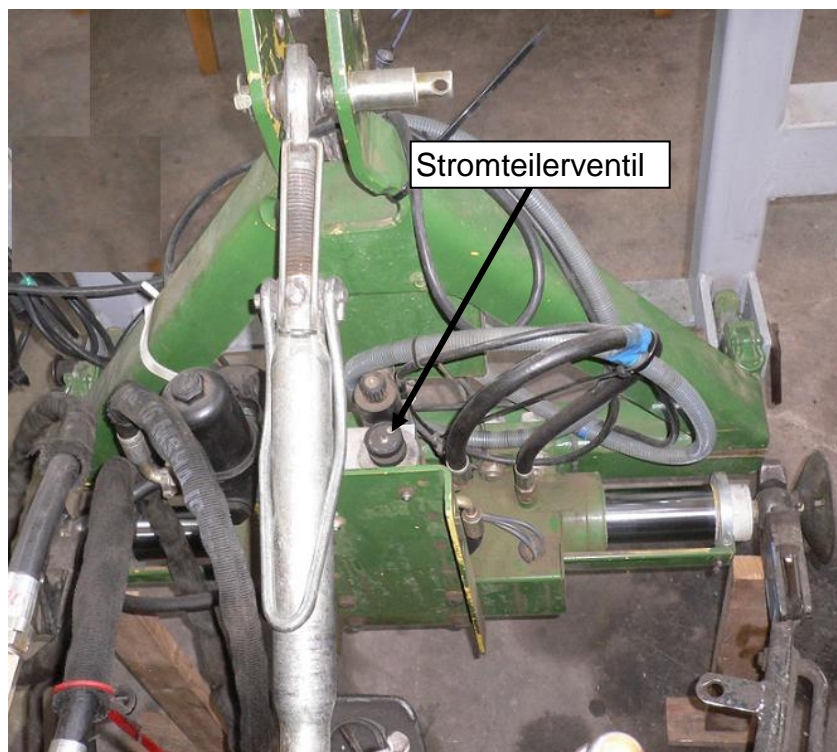


Abbildung 4: Lenkrahmen mit Hydraulikzylinder und integrierten Positionssensoren (Endanschlag links, Endanschlag rechts, Mittelstellung)

Das untersuchte System verfügt über zwei Kameras, die in einem Gehäuse untergebracht sind (Doppelkamera). Dadurch wird sichergestellt, dass das System auch weiterarbeitet, wenn in einer Reihe mehrere Pflanzen ausgefallen sind. Der Abstand der Kameras muss dem Reihenabstand genau angepasst werden. Der maximal mögliche Abstand der Kameras beträgt 45 cm. Bei Kulturen mit größerem Reihenabstand kann nur mit einer Kamera gearbeitet werden. Dies ist kein Nachteil, solange die Reihe keine Fehlstellen von über 2 m Länge aufweist.

Die Geschwindigkeit, mit der die Position des Hackgerätes verstellt wird, kann über ein Stromteilverventil (siehe Abbildung 4), mit dem der Hydraulikölstrom zum Verstellzylinder am Lenkrahmen manuell verändert wird, den Arbeitsbedingungen angepasst werden.

Während der Arbeit müssen die Unterlenker seitlich fixiert werden, da ansonsten durch den Hydraulikzylinder des Lenksystems nicht das Hackgerät positioniert wird, sondern nur die Unterlenker verschoben werden.

3.2 Untersuchungen auf Praxisbetrieben

Auf vier Praxisbetrieben, die einen A-Rahmen der Firma ECO-DAN im Einsatz hatten, wurden Arbeitszeiterhebungen beim Hacken von Ackerbohne, Mais, Sojabohne und Kraut durchgeführt. Dabei wurden die Zeiten für das Hacken und das Wenden gestoppt. Das Hacken umfasst die Zeitspanne zwischen dem Wegfahren mit dem abgesenkten Hackgerät am Beginn der Reihe und dem Beginn des Aushebens am Ende der Reihe. Das Wenden enthält die Zeitspanne vom Beginn des Aushebens des Hackgerätes am Ende der Reihe bis zum Wegfahren mit dem abgesenkten Hackgerät am Beginn der nächsten Reihen. Aus der Wegstrecke zwischen dem Punkt an dem das Hackgerät abgesenkt und an dem es ausgehoben wurde sowie der Zeit für das Hacken wurde die mittlere Fahrgeschwindigkeit errechnet. Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS 12.0.

Neben den Arbeitszeiterhebungen füllten die Landwirte für jede bearbeitete Fläche ein Erhebungsblatt aus, in dem sie die Zufriedenheit mit der Arbeitsqualität der Lenkung bewerteten (siehe Anhang 1).

3.3 Untersuchungen mit dem A-Rahmen von ECO-DAN an der Bundesanstalt für Landtechnik (BLT)

An der BLT wurden vor allem Untersuchungen zum Themenbereich Grenzen des Einsatzes beim Hacken von Reihenkulturen durchgeführt. Wobei dem Einfluss der Größe der Kulturpflanzen, dem Bedeckungsgrad des Bodens durch Beikräuter und der möglichen Fahrgeschwindigkeit besonderes Augenmerk geschenkt wurde.

3.3.1 Größe der Kulturpflanzen

Die Betriebsanleitung fordert einen minimalen Pflanzendurchmesser von 3 cm. Zur Überprüfung dieser Vorgabe wurden Versuchsflächen mit Schwarzkümmel, Pferdebohne und Mais angelegt. Nach dem Auflaufen der Kulturen wurden Hackversuche durchgeführt. Diese wurden sofort wieder abgebrochen, wenn das System keine Reihen erkennen konnte. Dies wurde am Display durch die Meldung „Schwachtes Signal“ angezeigt. Musste ein Versuch abgebrochen werden, wurde am nächsten Tag ein neuer Versuch gestartet. Diese Vorgehensweise wurde wiederholt bis das System die Reihen einwandfrei erkennen konnte. Das Vegetationsstadium des Pflanzenbestandes wurde durch Fotos dokumentiert.

3.3.2 Bedeckungsgrad des Bodens mit Beikräutern

Das System unterscheidet bei der Erkennung der Pflanzenreihen zwischen grünen und nicht grünen Bildpunkten. Erreicht der Bedeckungsgrad des Bodens mit Beikräutern ein kritisches Ausmaß, kann das System die Kulturpflanzenreihe nicht mehr erkennen und ein Lenken des Hackgerätes wird unmöglich.

Zum Erkennen der Einsatzgrenzen bei unterschiedlichem Beikrautbesatz wurden Versuche auf Flächen mit stark schwankender Beikrautdichte durchgeführt. Konnte das System keine Reihen erkennen, was am Display durch die Meldung „Schwachtes Signal“ angezeigt wurde, wurden die Versuche abgebrochen. Der Beikrautbestand bei Abbruch des Versuches wurde durch Fotos dokumentiert.

3.3.3 Mögliche Fahrgeschwindigkeit

Zur Ermittlung der möglichen Fahrgeschwindigkeit wurden zur Simulation von Pflanzen auf einem Förderband alle 200 mm Blechwinkel mit einer Breite von 25 mm und einer Höhe von 100 mm montiert. An ihrer Basis wurde grünes Klebeband aufgeklebt (siehe Abbildung 6). Die Geschwindigkeit des Förderbandes konnte zur Simulation unterschiedlicher Fahrgeschwindigkeiten durch einen vorgeschalteten Frequenzumformer zwischen 3 und 11 km/h stufenlos verstellt werden.

Zur Simulation unterschiedlich starker Lenkbewegungen oder Kurven in den Reihen wurden die Blechwinkel bei den verschiedenen Versuchen in unterschiedlichen Abweichungen von der Mitte des Förderbandes montiert.

Die Abweichung des Hackgerätes von der Reihenmitte wurde mit einem Lasersensor gemessen und mit dem Datenerfassungssystem Spider Mobil aufgezeichnet.

Neben der Fahrgeschwindigkeit wurde auch der Ölstrom zum Verstellzylinder durch das am Lenkrahmen montierte Stromteilverventil verstellt. Dadurch konnte die Lenkgeschwindigkeit angepasst werden. Für die Versuche wurde ein Traktor der Type „Steyr 8100“ verwendet.

Die statistische Auswertung erfolgte in Microsoft Excel. Dazu wurden das arithmetische Mittel und die Standardabweichung errechnet. Aufbauend auf der Standardabweichung wurde die mögliche minimale Breite des unbearbeiteten Bandes berechnet.



Abbildung 5: Versuchsanordnung zur Bestimmung der möglichen Fahrgeschwindigkeit



Abbildung 6: Förderband mit montierten Blechwinkeln und grünen Klebestreifen zur Simulation von Pflanzen



Abbildung 7: Lasersensor zur Messung des Abstandes von Pflanzenreihe

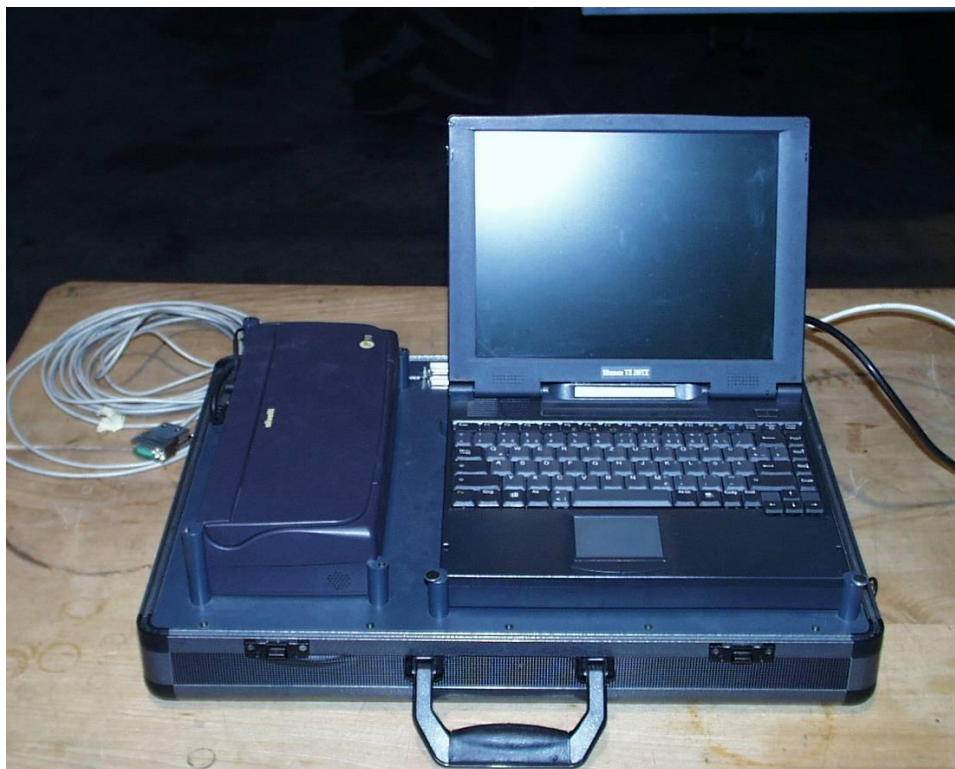


Abbildung 8: Spider Mobil zur Datenaufzeichnung

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse auf den Praxisbetrieben

4.1.1 Ergebnis der Arbeitszeiterhebung

Die Arbeitszeiterhebungen mit Stoppuhr wurden bei Mais, Sojabohne, Ackerbohne und Kraut durchgeführt.

Bei Ackerbohne und Soja wurde mit einem 7-reihigen Hackgerät gearbeitet. Der Reihenabstand betrug 45 cm. Mais wurde 4- bzw. 6-reihig mit einem Reihenabstand von 70 cm gehackt. Kraut wurde 4-reihig mit einem Reihenabstand von 70 cm gehackt. Die Messungen wurden handgelenkt und unter Verwendung des Lenksystems durchgeführt. Das unbearbeitete Band¹ betrug in allen Fällen 8 cm. Die Felder waren annähernd rechteckig. Für die Bestimmung der Anzahl der Messungen wurde in Anlehnung an *Auernhammer (1976)* ein Epsilon² von 10 % festgelegt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Arbeitszeitmessungen auf den Praxisbetrieben

Lenkungsart	Element	Kultur	Anzahl der Messungen	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Manuelle Lenkung	Wendezeit [min]	Ackerbohnen, Mais, Sojabohnen, Kraut	88	0,59	0,04	0,47	0,67
	Fahrgeschwindigkeit [km/h]	Ackerbohnen, Mais, Sojabohnen, Kraut	85	4,3	0,5	3,3	5,7
Mit Lenksystem	Wendezeit [min]	Ackerbohnen, Mais, Sojabohnen	124	0,52	0,05	0,42	0,63
		Kraut	34	0,68	0,04	0,50	0,78
	Fahrgeschwindigkeit [km/h]	Ackerbohnen, Mais, Sojabohnen, Kraut	152	6,1	0,4	4,9	6,8

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Messungen zusammengefasst. Die Anzahl der durchgeführten Messungen war ausreichend, um das vorgegebene Epsilon von 10 % zu unterschreiten.

¹ Abstand der Hackorgane für den Durchgang der Kulturpflanzen

² Epsilon wird auch als relativer Vertrauensbereich bezeichnet.

Bei der Lenkung des Hackgerätes durch eine eigene Person am Hackgerät (manuelle Lenkung) konnten mittels Bonferroni-Test zwischen den einzelnen Kulturen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Wendezeit und Fahrgeschwindigkeit gefunden werden. Aus diesem Grund wurden in Tabelle 1 die Ergebnisse zusammengefasst.

Bei der Lenkung mit dem Lenksystem war bei Kraut das Auffinden der Reihe beim Absenken des Hackgerätes aufgrund des größeren Abstandes der Pflanzen schwieriger als bei den anderen Kulturen. Es musste häufiger manuell über das Bedien-terminal nachgeregelt werden. Deshalb war die mittlere Wendezeit beim Hacken von Kraut mit 0,68 min signifikant höher (Bonferroni-Test) als bei den anderen Kulturen. Zwischen den anderen Kulturen gab es keine signifikanten Unterschiede, weshalb sie in Tabelle 1 zusammengefasst wurden. Das *KTBL (2000)* gibt als Richtwert für die Wendezeit beim Hacken von Mais 0,5 min an. Die Fahrgeschwindigkeiten unterschieden sich beim Einsatz des automatischen Lenksystems zwischen den einzelnen Kulturen nicht signifikant (Bonferroni-Test).

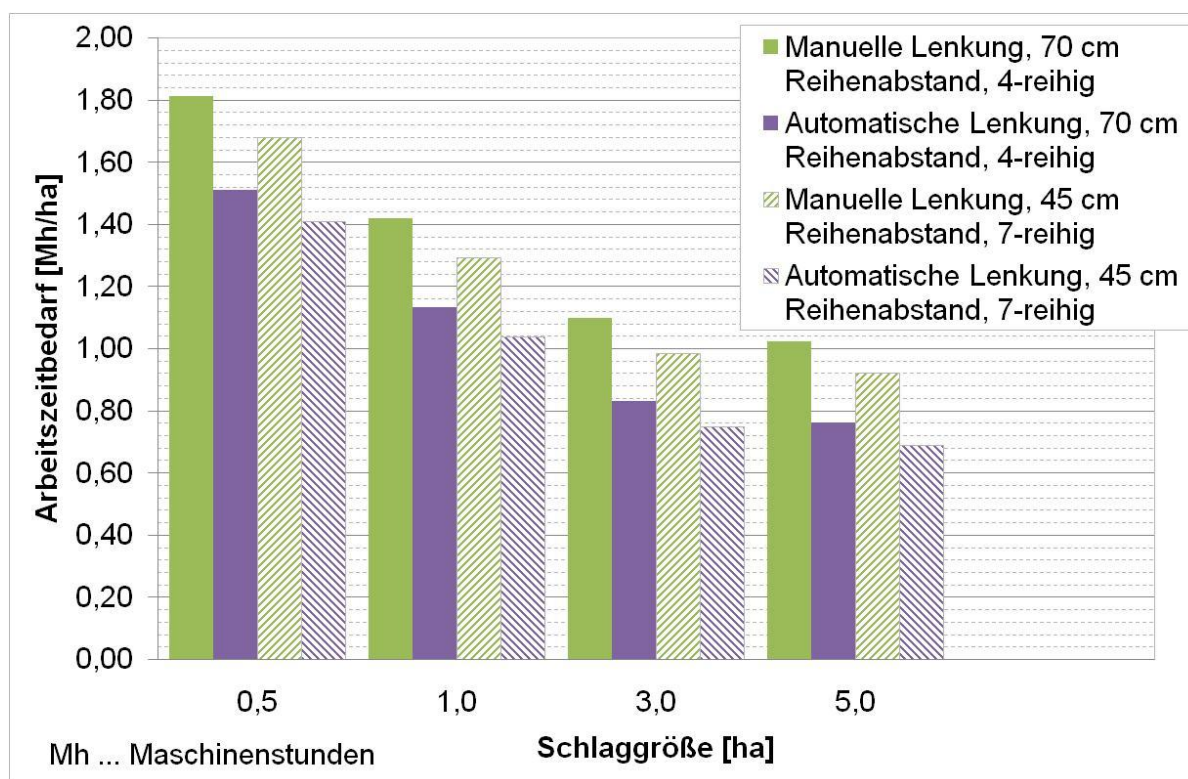


Abbildung 9: Zeitbedarf des Hackgerätes für das Hacken in Abhängigkeit von der Schlaggröße, der Arbeitsbreite und der Lenkungsart³

Bei der manuellen Lenkung war im Vergleich zur automatischen Lenkung die Fahrgeschwindigkeit signifikant höher (t-Test, $\alpha=0,05$). Die Wendezeit war bei Ackerbohnen, Mais und Sojabohnen auf Grund der geringeren Fahrgeschwindigkeit bei

³ Unterstellte Fahrgeschwindigkeiten und Wendezeiten siehe Tabelle 1 (Ackerbohnen, Mais, Sojabohnen), Verhältnis Schlaglänge zu Schlagbreite: 2:1; Feld-Hofentfernung 1 km, Feld-Feld-Entfernung 0,5 km, unbearbeitetes Band 8 cm

der manuellen Lenkung höher, da von den Fahrern für das Wenden der Gang meist nicht gewechselt wurde.

Aufbauend auf den in Tabelle 1 zusammengefassten Ergebnissen wurde mittels Modellrechnungen der Arbeitszeitbedarf für das Hacken mit manueller und automatischer Lenkung berechnet.

In Abbildung 9 ist der erforderliche Zeitbedarf für das Hackgerät mit Traktor dargestellt. In Abhängigkeit von der Schlaggröße und der Arbeitsbreite des Hackgerätes ergibt sich auf Grund der höheren Fahrgeschwindigkeit und der geringeren Wendezeit eine Zeitersparnis durch die Verwendung des automatischen Lenksystems von 20 bis 25 %.

Durch den Wegfall einer Person für das Lenken des Hackgerätes kann das automatische Lenksystem rund 60 % der erforderlichen Arbeitskraftstunden einsparen (siehe Abbildung 10).

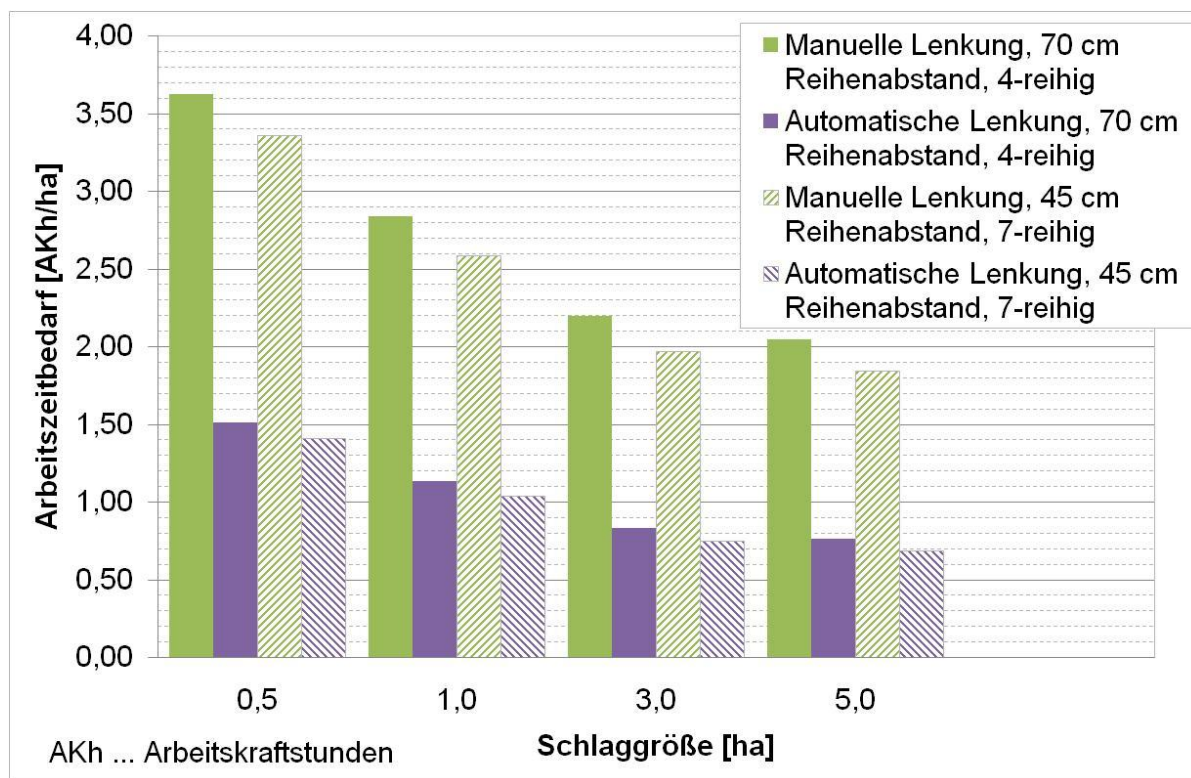


Abbildung 10: Arbeitszeitbedarf für das Hacken in Abhängigkeit von der Schlaggröße, der Arbeitsbreite und der Lenkungsart⁴

⁴ Rahmenbedingungen wie für Abbildung 9

4.1.2 Auswertung der Erhebungsblätter

Auf vier Praxisbetrieben wurde die automatische Lenkung beim Hacken von Ackerbohnen, Mais, Sojabohnen und Kraut eingesetzt. Bei Ackerbohne und Soja wurde mit einem 7-reihigen Hackgerät gearbeitet. Der Reihenabstand betrug 45 cm. Rüben wurden 4-reihig mit einem Reihenabstand von 45 cm gehackt. Bei Mais wurde 4- bzw. 6-reihig mit einem Reihenabstand von 70 cm bzw. 75 cm gearbeitet. Bei Kraut wurde 4-reihig mit einem Reihenabstand von 70 cm gehackt. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Größe und Anzahl der bearbeiteten Flächen. Mit Ausnahme einer Fläche mit Ackerbohnen, die dreimal gehackt wurde, wurden alle Flächen zweimal gehackt. In der Spalte Gesamtfläche ist das mehrmalige Hacken der einzelnen Flächen bereits berücksichtigt.

Der überwiegende Anteil der bearbeiteten Flächen waren Mais (43 %), Ackerbohne (24 %) und Soja (24 %). Die Feldstückgröße schwankte zwischen 0,60 und 9,90 ha. Auf Grund dieser großen Schwankungsbreite und der unterschiedlichen Gesamtarbeitsbreite zwischen Ackerbohne, Zuckerrübe und Soja auf der einen Seite sowie Mais und Kraut auf der anderen Seite ist ein unmittelbarer Vergleich der Flächenleistungen zwischen den Kulturen nicht zulässig (siehe Tabelle 3).

Tabelle 2: Bearbeitete Flächen auf den vier Praxisbetrieben

Kultur	Gesamtfläche ⁵ [ha]	Anzahl der Feldstücke	Mittlere Fläche pro Feldstück [ha]	Fläche pro Feld- stück [ha] von - bis
Ackerbohne	27,44	15	1,83	0,65 - 3,40
Mais	50,12	16	3,13	1,20 - 9,90
Zuckerrüben	5,70	2	2,85	2,50 - 3,20
Sojabohne	28,23	12	2,35	0,60 - 4,35
Kraut	3,78	4	0,95	0,60 - 1,26
Gesamt	115,27	49	2,35	0,60 - 9,90

Die höchste mittlere Arbeitsgeschwindigkeit wurde bei Pferdebohnen erreicht (siehe Tabelle 3). Die höchste und niedrigste Arbeitsgeschwindigkeit wurde bei Maisflächen beobachtet. Bei Mais war auch das unbearbeitete Band⁶ mit 9 bzw. 11 cm relativ groß. Bei Kraut wurde generell mit einem unbearbeiteten Band von 11 cm gearbeitet. Auf einem Betrieb wurde die Ackerbohne dreimal gehackt, wobei bei der ersten und zweiten Hackung das unbearbeitete Band zwischen 7 und 9 cm lag. Bei der dritten Hackung bewegte es sich zwischen 8 und 11 cm. Bei den anderen Flächen bewegte sich das unbearbeitete Band ebenfalls zwischen 8 und 11 cm.

⁵ Das mehrmalige Hacken der Flächen ist bereits berücksichtigt.

⁶ Das unbearbeitete Band ist der Abstand zwischen dem äußeren Rand der Hackwerkzeuge links und rechts der Pflanzenreihe.

Bei jeder Kultur wurde die Arbeitsqualität von den Landwirten bei der höchsten Fahrgeschwindigkeit mit sehr gut beurteilt. Gab es Probleme mit der automatischen Lenkung, wurde die Fahrgeschwindigkeit vermindert.

Insgesamt betrug der Anteil der Bewertungen mit „sehr gut“ 53 % und jener mit „gut“ 39 %. Jeweils einmal wurde die Bewertung 3,5 bzw. 4 vergeben (siehe Abbildung 11).

Stark verunkrautete Stellen auf den Feldern verursachten auf den Versuchsbetrieben kaum Probleme, da das Lenksystem zwischendurch immer wieder die Reihe erkannte.

Ein Landwirt berichtete, dass bei jungem Kraut auf Grund des großen Abstandes der Pflanzen in der Reihe (40 cm) erst bei Fahrgeschwindigkeiten von über 5 km/h ein reibungsloses Hacken möglich war.

Tabelle 3: Mittlere Fahrgeschwindigkeit, Flächenleistung und Bewertung der Arbeit durch den Fahrer

Kultur	Ausgewertete Fragebögen	Mittlere Fahrgeschwindigkeit [km/h]	Fahrgeschwindigkeit [km/h] von - bis	Mittlere Flächenleistung [ha/h]	Flächenleistung [ha/h] von - bis	Mittlere Bewertung der Arbeitsqualität ⁷	Bewertung Arbeitsqualität von - bis
Ackerbohne	15	7,5	5,5 - 9,0	1,2	0,6 - 1,9	1,9	1,0 - 3,5
Mais	16	7,2	5,0 - 10,0	2,2	1,1 - 3,1	1,6	1,0 - 4,0
Rüben	2	6,5	6,0 - 7,0	0,9	0,8 - 1,0	1,5	1,0 - 2,0
Sojabohne	12	7,3	6,0 - 8,0	1,7	1,0 - 1,9	1,3	1,0 - 2,0
Kraut	4	7,3	6,0 - 8,0	0,7	0,6 - 0,8	1,3	1,0 - 2,0
Gesamt	49	7,3	5,0 - 10,0	1,6	0,6 - 3,1	1,6	1,0 - 4,0

⁷ - sehr gut (1) Gerät funktioniert problemlos, gewünschte Fahrgeschwindigkeit konnte ohne Beschädigung von Pflanzen erreicht werden,
- gut (2) Gerät funktioniert problemlos, durch geringfügige Reduktion der Fahrgeschwindigkeit (<1 km/h) konnte Beschädigung von Pflanzen vermieden werden,
- befriedigend (3): Gerät liefert Fehlermeldungen, trotz geringfügiger Reduktion der Fahrgeschwindigkeit (<1 km/h) werden vereinzelt Pflanzen beschädigt,
- genügend (4): Gerät liefert Fehlermeldungen, trotz deutlicher Reduktion der Fahrgeschwindigkeit (<3 km/h) werden vereinzelt Pflanzen beschädigt,
- nicht genügend (5): Gerät liefert Fehlermeldungen, trotz deutlicher Reduktion der Fahrgeschwindigkeit (<3 km/h) werden zahlreiche Pflanzen beschädigt.

Für die Bewertung der Zufriedenheit mit der Arbeitsqualität mit „gut“ wurden von den Landwirten folgende Gründe genannt:

- Beim Einfahren in den Baumschatten kam es zu Regelfehlern. Trotzdem ertönte kein akustisches Signal.
- Zweimal sorgte Seitenwind, der die Pflanzen bewegte, für Irritation der Regelung.
- Bei Blaukraut wurden die Pflanzenreihen mangelhaft erkannt.
- Auf Grund zu grober Saatbettbereitung verschütteten Schollen beim Hacken teilweise die Pflanzen. Dadurch wurde für den Landwirt die Beurteilung der Führungsgenauigkeit während des Arbeitens erschwert, was zu einer Verunsicherung und zur Verringerung der Fahrgeschwindigkeit führte. Nach Abschluss der Hackarbeiten stellte sich heraus, dass die Führungsgenauigkeit in Ordnung war.
- Am Vorgewende waren Ackerbohnen mangelhaft aufgegangen. Daher fand die Regelung keine Pflanzenreihen, was ein Hacken mit der automatischen Lenkung am Vorgewende unmöglich machte.

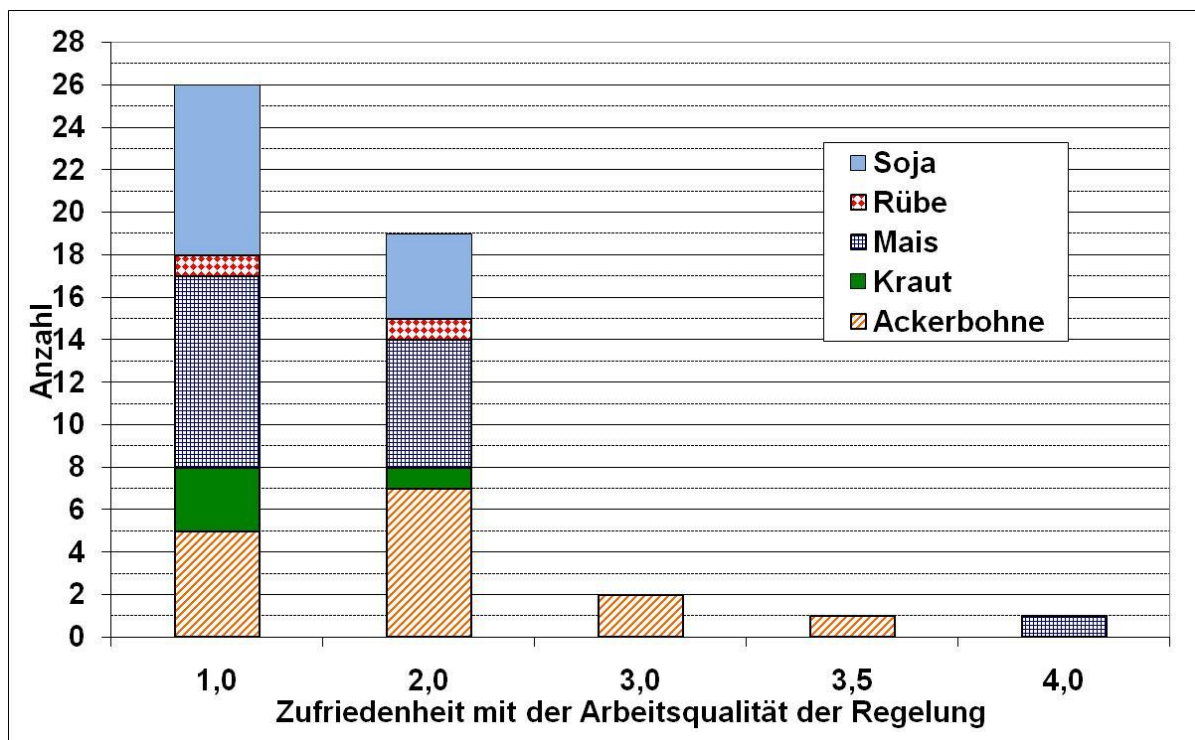


Abbildung 11: Bewertung der Zufriedenheit mit der Arbeitsqualität

Eine Bewertung der Zufriedenheit mit der Arbeitsqualität mit „drei“ erfolgte wegen:

- Der Ackerbohnenbestand war auf Grund der Trockenheit sehr uneinheitlich. Dadurch war die Wahl der richtigen Kamerahöhe schwierig. Zum Teil war der Bestand bereits fast geschlossen. Deshalb war die Führungsgenauigkeit für den Landwirt nur befriedigend. Die manuelle Nachregelung am Bedienterminal war aufwändig.

Der Grund für die Bewertung der Zufriedenheit mit der Arbeitsqualität mit „drei bis vier (3,5)“ war:

- Die Ackerbohnen waren bereits 30 cm hoch. Wegen des starken Windes war die Führungsgenauigkeit mangelhaft. Das Nachregeln über die Einstellung am Display war nicht zufriedenstellend.

Für die Bewertung der Zufriedenheit mit der Arbeitsqualität mit „genügend (4)“ wurde folgender Grund genannt:

- Beim Hacken von Mais im Dreiblattstadium wurden in der Zeit von rund 10:00 Uhr bis rund 14:00 Uhr keine Reihen erkannt. Als Ursache wurde die starke Sonneneinstrahlung vermutet, die starke Reflexionen auf der Blattoberfläche verursachte. Vor und nach dem genannten Zeitraum traten auf der Fläche keine Probleme auf. Durch das Anbringen einer weißen Siloplane zwischen Kotflügel und Kamera konnte das Problem behoben werden.

4.2 Ergebnisse der Untersuchungen mit dem A-Rahmen von ECO-DAN an der BLT

4.2.1 Größe der Kulturpflanzen

Die durchgeführten Versuche bei Schwarzkümmel, Pferdebohne und Mais ergaben, dass die Pflanzenreihen bei dem in der Betriebsanleitung geforderten minimalen Pflanzendurchmesser von 3 cm zuverlässig erkannt wurden. Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen, dass das System die Reihen auch schon bei Pflanzendurchmessern von unter 3 cm erkannte.



Abbildung 12: Mindestpflanzengröße bei Mais



Abbildung 13: Mindestpflanzengröße bei Schwarzkümmel

4.2.2 Bedeckungsgrad des Bodens mit Beikräutern

Das System unterscheidet bei der Erkennung der Pflanzenreihen zwischen grünen und nicht grünen Bildpunkten. Erreicht der Bedeckungsgrad des Bodens mit Beikräutern ein kritisches Ausmaß, kann das System die Kulturpflanzenreihe nicht mehr erkennen und ein Lenken des Hackgerätes wird unmöglich.

Bei den Beständen in Abbildung 14 und Abbildung 15 konnte das Lenksystem auf Grund des dichten Beikrautbesatzes keine Reihen erkennen. Am Display wurde dies durch die Meldung „Schwachtes Signal“ angezeigt und der Hydraulikzylinder am Führungsrahmen zum Lenken des Hackgerätes blieb in der Position stehen, in der er zum Zeitpunkt der Meldung war. Handelte es sich um Beikrautnester von wenigen Metern Länge, konnte die Arbeit fortgesetzt werden, wenn die Pflanzenreihen gerade waren und keine Lenkbewegungen mit dem Traktor ausgeführt wurden. Sobald das System nach dem Passieren des Beikrautnestes wieder Reihen erkannte, nahm es die Lenkfunktion wieder auf (siehe Abbildung 16). Besondere Probleme verursachten Beikrautnester am Beginn der Reihe, da sie dort das korrekte Ansetzen des Hackgerätes erheblich erschwerten.

Wäre in Abbildung 16 die Kamera auf der rechten Seite des Hackgerätes über der mit dem roten punktierten Pfeil markierten Reihe montiert gewesen, hätte es über die gesamte Länge der Reihe keine Probleme mit dem Erkennen der Reihe gegeben.

Einzelne Beikrautpflanzen, wie in Abbildung 16 durch den schwarz-gelb gestreiften Pfeil markiert, störten die Funktion des Lenksystems nicht.



Abbildung 14: Obwohl das menschliche Auge die Sojabohnenreihen erkennen konnte, konnte das Lenksystem sie nicht erkennen



Abbildung 15: Obwohl das menschliche Auge die Maisreihen erkennen konnte, konnte das Lenksystem sie nicht erkennen



Abbildung 16: Zwischen weißem und schwarzem Pfeil konnte das Lenksystem keine Reihen erkennen

4.2.3 Mögliche Fahrgeschwindigkeit

Zur Ermittlung der möglichen Fahrgeschwindigkeit wurde ein mit Blechwinkel bestücktes Förderband verwendet. Zur Simulation der Pflanzen war an der Basis der Blechwinkel ein grünes Klebeband aufgeklebt (siehe Abbildung 6). Unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten wurden durch Variation der Geschwindigkeit des Förderbandes und verschieden starke Lenkbewegungen wurden durch die Anordnung der Blechwinkel simuliert. Die Blechwinkel wurden über eine bestimmte Länge in der Mitte des Förderbandes montiert und danach wichen sie über eine bestimmte Länge nach rechts oder links ab. Die Abweichung erfolgte allmählich über eine Länge von einem bis drei Meter (siehe Tabelle 4).

Die simulierte Fahrgeschwindigkeit schwankte zwischen 3 und 11 km/h. Während der Versuche wurde die Abweichung des Hackgerätes von der Reihenmitte mit einem Lasersensor gemessen und mit dem Datenerfassungssystem Spider Mobil mit 800 Hertz aufgezeichnet. Die Dauer der Aufzeichnung betrug sechsmal die Länge des Förderbandes (103,2 m).

Alle Versuche wurden mit einer Kamera durchgeführt. Die Abweichung des Hackgerätes von der Reihenmitte entsprach dem Abstand von der Mitte der Kamera zu den die Reihe simulierenden Blechwinkeln am Förderband. Das Lenksystem war bestrebt bei einer Abweichung der erkannten Pflanzenreihen von der Bildmitte (Mitte der Kamera), die Kamera (Hackgerät) soweit zu verschieben, bis beides übereinstimmte.

Tabelle 4: Beschreibung der Anordnung der Pflanzen auf dem Förderband

	Bahn 1	Bahn 2	Bahn 3
	Zurückgelegter Weg [m]		
Förderband Mitte	4,2	1,7	1,7
Übergang nach rechts	1,0	2,0	3,0
Abweichung 10 cm nach rechts	3,0	2,5	1,5
Übergang zurück zur Mitte	1,0	2,0	3,0
Förderband Mitte	3,0	2,5	1,5
Übergang nach links	1,0	2,0	3,0
Abweichung 10 cm nach links	3,0	2,5	1,5
Übergang zurück zur Mitte	1,0	2,0	2,0
Gesamtlänge des Förderbandes	17,2	17,2	17,2
Bei Bahn 4 beträgt die Abweichung nach links und rechts 5 cm. Die Längen der einzelnen Bahnsegmente entsprechen Bahn 3.			

Für die Versuche wurde ein Traktor der Type „Steyr 8100“ verwendet, dessen Motor-drehzahl 1200 U/min betrug. Das Stromteilverventil, das den Hydraulikölvolumenstrom zum Verstellzylinder am Lenkrahmen und damit dessen Geschwindigkeit steuerte, war zwischen 90 und 150° geöffnet.

Aus den aufgezeichneten Abweichungen des Hackgerätes von der Reihenmitte wurden der Mittelwert und die Standardabweichung errechnet.

Die mittlere Abweichung (Mittelwert der Abweichungen des Hackgerätes von der Reihenmitte) war bei allen in Tabelle 5 dokumentierten Versuchen nicht signifikant (t-Test, $\alpha=0,05$) von Null verschieden.

Die in Tabelle 5 angeführte Breite des unbearbeiteten Bandes entspricht der Breite des Abstandes zwischen den Hackorganen des Hackgerätes. Sie beträgt das 5,16-fache der Standardabweichung der gemessenen Abweichungen des Hackgerätes von der Reihenmitte⁸. Damit akzeptiert man ein Prozent beschädigter Kulturpflanzen pro Hackvorgang.

Die Ergebnisse der Versuche in Tabelle 5 zeigen deutlich, dass die mögliche Breite des unbearbeiteten Bandes wesentlich von den Lenkbewegungen des Traktorfahrers abhängt. Je weniger abrupte Lenkbewegungen durchgeführt werden, umso kleiner

⁸ Bei einer Normalverteilung der Messwerte gibt die Standardabweichung die Breite der Verteilung um das arithmetische Mittel wider. Innerhalb von $\pm 2,58$ Standardabweichungen liegen 99 % der Messwerte (Sachs 1999). Dies bedeutet, dass die Breite des unbearbeiteten Bandes des Hackgerätes mindestens das 5,16-fache der Standardabweichung betragen muss, wenn man bereit ist, die Schädigung von 1 % der Pflanzen auf der bearbeiteten Fläche zu akzeptieren. Wäre man bereit 5 % beschädigte Pflanzen zu akzeptieren, könnte man das unbearbeitete Band auf das 3,92-fache der Standardabweichung reduzieren. Würde das unbearbeitete Band auf das 6-fache der Standardabweichung erhöht, vermindert sich der Anteil beschädigter Pflanzen auf 0,27 %.

wird das mögliche unbearbeitete Band. Bei abrupten Lenkbewegungen, wie in Bahn 1 simuliert, kann selbst bei geringen Fahrgeschwindigkeiten von 3 km/h kein von Landwirten gefordertes unbearbeitetes Band von 8 cm eingehalten werden. Bei leichten Lenkbewegungen (Bahn 4) kann ein unbearbeitetes Band von 8 cm auch bei einer Fahrgeschwindigkeit von 7 km/h noch eingehalten werden. Dies bedeutet für die Praxis das rasche Lenkbewegungen unbedingt vermieden werden müssen.

Auf Grund der begrenzten Reaktionsgeschwindigkeit des Lenksystems muss mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit das unbearbeitete Band breiter werden, um den vorgegebenen Grenzwert an beschädigten Pflanzen einhalten zu können. Bei Fahrgeschwindigkeiten von über 9 km/h können sehr schmale unbearbeitete Bänder auch bei sehr ruhiger Fahrweise (wenige langsame Lenkbewegungen) kaum realisiert werden.

Tabelle 5: Mögliche Breite des unbearbeiteten Bandes in Abhängigkeit von der Größe der Lenkbewegung, der Fahrgeschwindigkeit und des Öffnungswinkels des Stromteilerventils (Volumenstrom des Hydrauliköls)

Beschreibung der Bahn siehe Tabelle 4	Öffnungswinkel des Stromteilerventils	Mögliches unbearbeitetes Band [cm] in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit				
		3 km/h	5 km/h	7 km/h	9 km/h	11 km/h
Bahn 1	90°	10	12	18	22	24
	120°	10	13	17	20	23
	150°	12	15	17	19	22
Bahn 2	90°	12	15	19	22	23
	120°	12	14	17	21	22
	150°	14	18	19	21	22
Bahn 3	90°	8	8	10	13	18
	120°	8	8	10	12	15
	150°	11	11	12	14	17
Bahn 4	90°	7	8	8	11	17
	120°	7	8	8	10	14
	150°	11	11	12	14	16

Bei dem vom Hydrauliksystem des Versuchstraktors gelieferten Volumenstrom erweist sich der Öffnungswinkel des Stromteilerventils von 120° am günstigsten. Bei einem geringeren Öffnungswinkel wird der Verschub des Hackgerätes durch den Hydraulikzylinder des Lenksystems mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit zu langsam. Bei einem größeren Öffnungswinkel und damit bei einer höheren Verschubgeschwindigkeit wird das Hackgerät zu weit verschoben, ehe die Elektronik das Hydraulikventil schließt und so die Bewegung des Hackgerätes stoppt. Dies führt

zu größeren Abweichungen von der Reihenmitte und fordert größere unbearbeitete Bänder.

Der optimale Öffnungswinkel hängt vom Volumenstrom der Traktorhydraulik ab. Deshalb muss der optimale Öffnungswinkel bei jedem Traktor bei einer bestimmten Motordrehzahl individuell herausgefunden werden.

4.3 Betriebswirtschaftliche Ergebnisse

Die in Abbildung 17 dargestellten Gesamtkosten des Lenksystems umfassen Abschreibungen, Zinsanspruch⁹, Versicherung¹⁰ sowie Reparaturkosten¹¹. Für die Unterbringung wurden keine Kosten berücksichtigt, da der zusätzliche Platzbedarf der Lenkung minimal ist.

Die unterstellten Neuwerte von 14.000 € (Variante 1 und 3) bzw. 6.000 € (Variante 2 und 4) wurden von den Vertriebsfirmen¹² erfragt. Die Erhebungen zeigten, dass es zwischen den einzelnen Herstellern erhebliche Unterschiede gibt. Das mit 6.000 € deutlich billigere Alternativsystem von Poulsen ApS ist hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Elektronik mit dem System von ECO-DAN vergleichbar. Es verfügt allerdings über keinen eigenen Rahmen, der das Hackgerät verschiebt, sondern nur über einen Hydraulikzylinder, der die für die manuelle Lenkung vorhandenen Lenkscheiben ansteuert. Die Ergebnisse von *Søgaard und Jørgensen (2002)* zeigen, dass die Lenkgenauigkeit dieses Systems mit der des Systems von ECO-DAN vergleichbar ist.

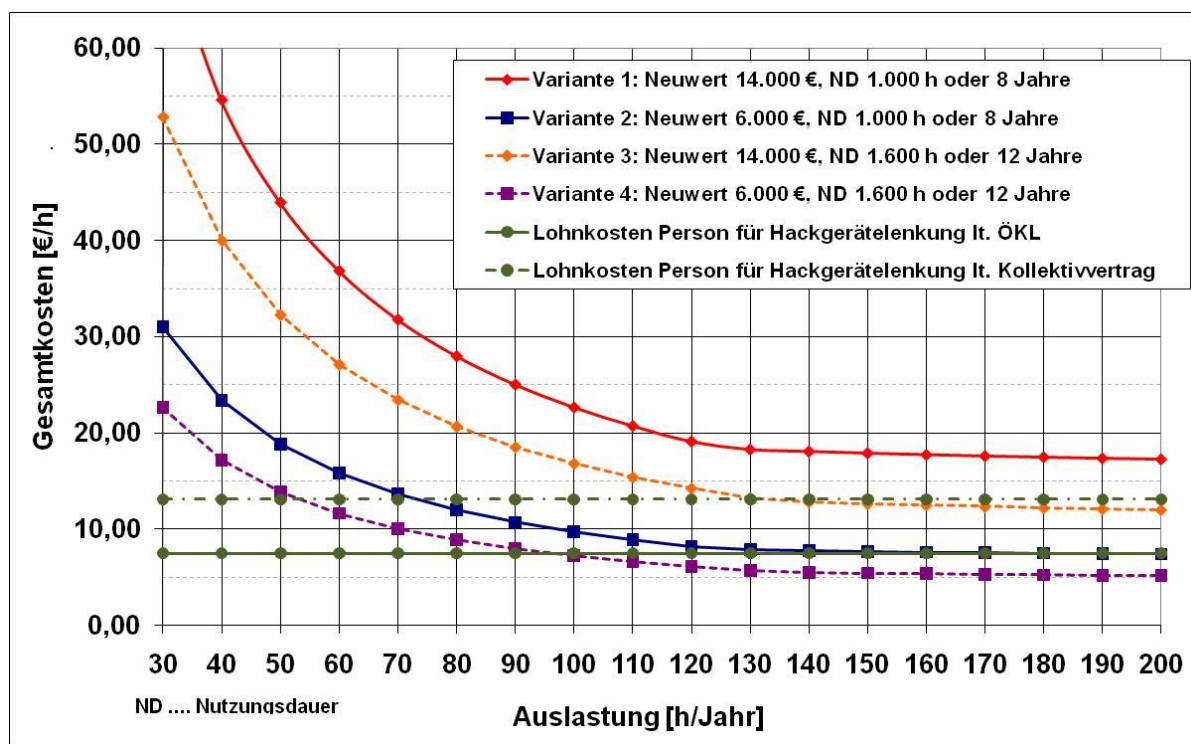


Abbildung 17: Gesamtkosten der Lenkung pro Stunde in Abhängigkeit von der jährlichen Auslastung (ohne MwSt.)

⁹ Jährlich 5 % vom halben Neuwert

¹⁰ Jährliche Prämie 0,2 % vom Neuwert

¹¹ 1 % vom Neuwert pro 100 Stunden Einsatz

¹² Der Preis für den A-Rahmen der Firma ECO-DAN beträgt rund € 14.000,- exkl. MwSt. laut Landtechnik Stöckl, A-2367 Himberg. Die Firma Poulsen ApS bietet ein vergleichbares Alternativsystem für die Lenkung über die Lenkscheiben des Hackgerätes an. Laut Firma Kress & Co GmbH, D-71665 Vaihingen/Enz kostet dieses System rund € 6.000,- exkl. MwSt..

Der Restwert der Lenksysteme am Ende der Nutzungsdauer wurde mit Null angenommen.

Für die Nutzungsdauer wurden zwei Varianten gerechnet. Im einen Fall wurden die Nutzungsdauer nach Zeit mit 8 Jahren und die Nutzungsdauer nach Leistung mit 1.000 Betriebsstunden angenommen (Variante 1 und 2) und im anderen Fall wurden 12 Jahre bzw. 1.600 Betriebsstunden (Variante 3 und 4) unterstellt. Diese Annahmen sind mit Unsicherheit behaftet, da noch keine praktischen Erfahrungen über die tatsächliche Lebensdauer dieser Lenksysteme vorliegen. Gleiches gilt auch für die Reparaturkosten.

Der um das 2,3-fache höhere Neuwert in den Varianten 1 und 3 wirkt sich unmittelbar auf die Gesamtkosten pro Einsatzstunde aus. Die Erhöhung der Nutzungsdauer von 8 Jahre bzw. 1.000 Betriebsstunden (Varianten 1 und 2) auf 12 Jahre bzw. 1.600 Betriebsstunden (Varianten 3 und 4) bringt eine Reduktion der Gesamtkosten pro Einsatzstunde in Abhängigkeit von der jährlichen Auslastung von rund 25 bis 30 %.

Die Gesamtkosten der automatischen Lenkung pro Einsatzstunde sind vor allem bei geringer jährlicher Auslastung im Vergleich zu den Kosten einer Arbeitskraft¹³ für die manuelle Lenkung des Hackgerätes enorm hoch. Mit zunehmender Auslastung nehmen die Gesamtkosten pro Einsatzstunde auf Grund der Fixkostendegression ab. Bei den in Variante 1 unterstellten Rahmenbedingungen (hoher Neuwert und geringe Nutzungsdauer) ist die automatische Lenkung auch bei sehr guter jährlicher Auslastung deutlich teurer als die Lohnkosten der Person für die manuelle Lenkung, egal ob diese über den Kollektivvertrag (13,10 €/h) oder im Rahmen der Nachbarschaftshilfe (7,50 €/h) entlohnt wird. Im Gegensatz dazu ist bei Variante 4 (geringer Neuwert und hohe Nutzungsdauer) die automatische Lenkung im Vergleich zu der nach Kollektivvertrag entlohnten Arbeitskraft ab einer jährlichen Auslastung von rund 53 h günstiger. Im Rahmen der Nachbarschaftshilfe steigt die erforderliche jährliche Auslastung auf rund 96 h an. Variante 3 (hoher Neuwert und hohe Nutzungsdauer) der automatischen Lenkung ist zu der nach Kollektivvertrag entlohnten Arbeitskraft ab einer jährlichen Auslastung von rund 130 h konkurrenzfähig. Die Arbeitskraft im Rahmen der Nachbarschaftshilfe ist auch bei einer jährlichen Auslastung von 200 h im Vergleich zu Variante 3 günstiger.

Wie in Kapitel 4.1.1 gezeigt, können mit der automatischen Lenkung höhere Fahrgeschwindigkeiten bei einem unbearbeiteten Band von 8 cm erreicht werden als mit der manuellen Lenkung. Aus diesem Grund sind in Abbildung 18 bis Abbildung 21 die Kosten für das Hacken auf die Fläche bezogen.

¹³ Das ÖKL (2003) gibt für Betriebsshelfer bei einfachen Tätigkeiten einen Richtwert von € 7,50 pro Stunde an. Im *Grünen Bericht 2002 (BMLFUW 2003)* wird für Feldarbeiter auf bäuerlichen Betrieben ein monatlicher Kollektivvertragslohn von € 1.141,- angegeben. Daraus errechnet sich inkl. der Lohnnebenkosten ein Stundenlohn von rund € 13,10.

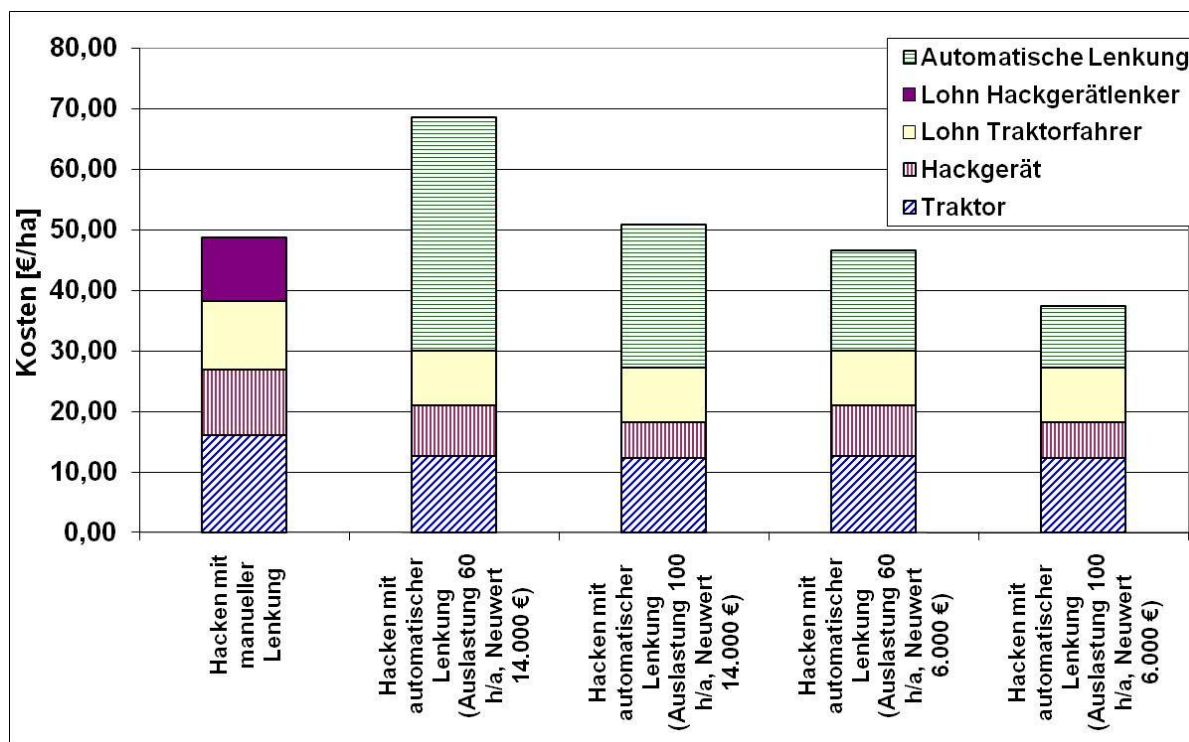


Abbildung 18: Kosten für das 4-reihige Hacken mit einem Reihenabstand von 70 cm (ohne MwSt.)¹⁴

In Abbildung 18 sind die Kosten für das 4-reihige Hacken mit einem Reihenabstand von 70 cm dargestellt. Beim hohen Neuwert des Lenksystems (14.000 €) und der jährlichen Auslastung von 60 h¹⁵ (zweite Säule) macht die automatische Lenkung rund 56 % der Kosten für das Hacken aus und ist damit mit der manuellen Lenkung nicht konkurrenzfähig. Eine Erhöhung der jährlichen Auslastung (dritte Säule) führt zu einer entsprechenden Fixkostendegression beim automatischen Lenksystem und beim Hackgerät, wodurch die Kostendifferenz zur manuellen Lenkung auf rund 2 €/ha (4 %) sinkt. Die beiden Varianten mit einem Neuwert des Lenksystems von 6.000 € (vierte und fünfte Säule) sind günstiger als die manuelle Lenkung, wobei der Anteil für die Kosten der automatischen Lenkung auch im günstigsten Fall (fünfte Säule) noch rund 27 % ausmacht.

Obwohl das 6-reihige Hackgerät teurer und ein 55-kW-Traktor verwendet wird, sind auf Grund des geringeren Arbeitszeitbedarfes pro ha bzw. der größeren Flächen-

¹⁴ Berechnungsgrundlagen:

Traktor 45 kW (Neuwert 29.700 €, Restwert 3.000 €, Nutzungsdauer 15 Jahre, Zinssatz 5,0 % vom halben Neuwert, Versicherung und Unterbringung 2,0 % vom Neuwert, Reparaturkostenfaktor 0,8 %/100h, Treibstoffkosten aus ÖKL 2003, jährliche Auslastung 550 h bei manueller Lenkung und automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 60 h/a bzw. 580 h bei automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 100 h/a)

Hackgerät 4-reihig (Neuwert 3.700 €, Restwert 1.000 €, Nutzungsdauer 15 Jahre, Zinssatz 5,0 % vom halben Neuwert, Versicherung und Unterbringung 2,0 % vom Neuwert, Reparaturkostenfaktor 5,0 %/100h, jährliche Auslastung 60 h bei manueller Lenkung und automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 60 h/a bzw. 100 h bei automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 100 h/a)

Automatisches Lenksystem: siehe Erläuterung zu Abbildung 17, Nutzungsdauer nach Leistung 1.000 h, Nutzungsdauer nach Zeit 8 Jahre

Arbeitszeitbedarf bei manueller Lenkung 1,40 AKh/ha und bei automatischer Lenkung 1,10 AKh/ha (mittlere Schlaggröße 1 ha)

Lohnkosten: Traktorfahrer 8,20 €/h, Lenker Hackgerät 7,50 €/h

¹⁵ Jährliche Auslastung von Hackgeräten nach ÖKL (2003)

leistung die in Abbildung 19 dargestellten Kosten für das Hacken deutlich geringer als in Abbildung 18. Durch die größere Flächenleistung des 6-reihigen Hackgerätes und die sich daraus ergebende Zunahme der jährlich bearbeiteten Fläche verringert sich die Kostendifferenz zwischen den Varianten mit hohem Neuwert (zweite und dritte Säule) und jenen mit geringem Neuwert (vierte und fünfte Säule). Im Gegensatz zur Abbildung 18 führt die Erhöhung der jährlichen Auslastung von 60 auf 100 h bei der Variante mit dem hohen Neuwert (dritte Säule) zu einem Absinken der Kosten unter das Niveau der Variante mit der manuellen Lenkung (erste Säule).

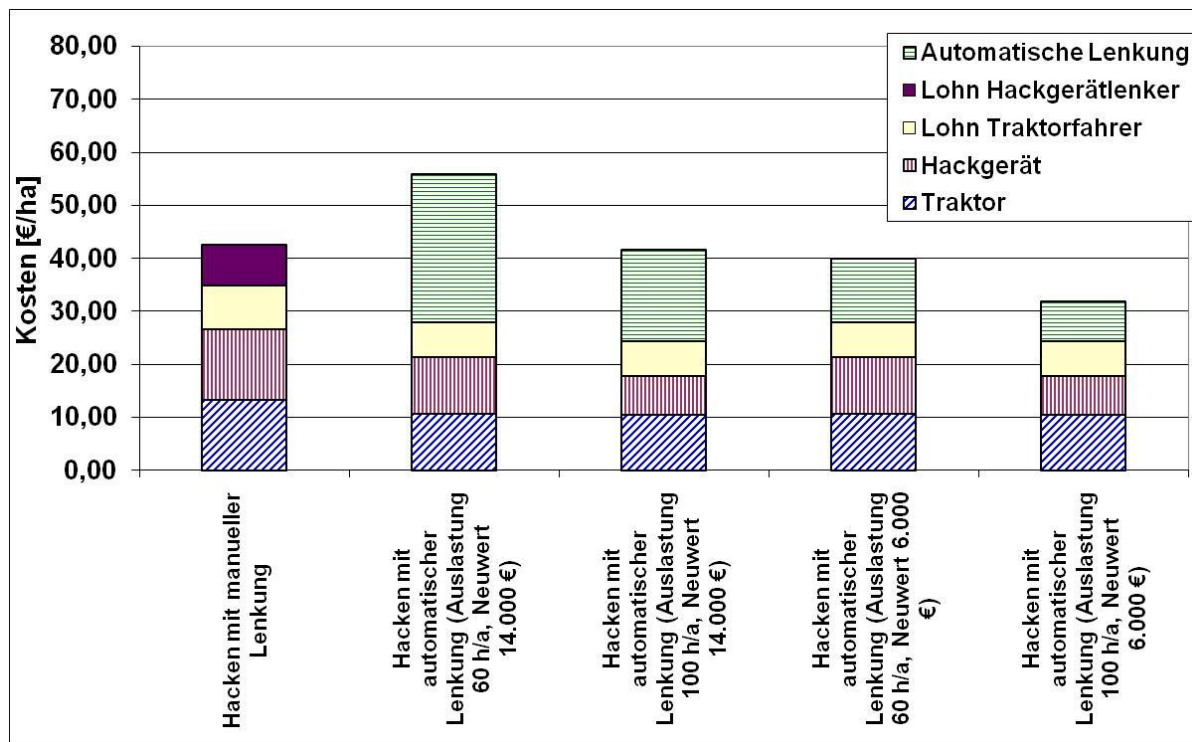


Abbildung 19: Kosten für das 6-reihige Hacken mit einem Reihenabstand von 70 cm (ohne MwSt.)¹⁶

Im Vergleich zu Abbildung 18 ist das Kostenniveau in Abbildung 20 höher. Ursachen dafür sind der höhere Neuwert des 6-reihigen Hackgerätes und der auf Grund der geringeren Arbeitsbreite des Hackgerätes geringfügig höhere Arbeitszeitbedarf bzw. die geringere Flächenleistung. Eine Erhöhung der jährlichen Auslastung bei der Vari-

¹⁶ Berechnungsgrundlagen:

Traktor 55 kW (Neuwert 37.000 €, Restwert 4.000 €, Nutzungsdauer 15 Jahre, Zinssatz 5,0 % vom halben Neuwert, Versicherung und Unterbringung 2,0 % vom Neuwert, Reparaturkostenfaktor 0,8 %/100h, Treibstoffkosten aus ÖKL 2003, jährliche Auslastung 550 h bei manueller Lenkung und automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 60 h/a bzw. 580 h bei automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 100 h/a)

Hackgerät 6-reihig (Neuwert 6.400 €, Restwert 1.500 €, Nutzungsdauer 15 Jahre, Zinssatz 5,0 % vom halben Neuwert, Versicherung und Unterbringung 2,0 % vom Neuwert, Reparaturkostenfaktor 5,0 %/100h, jährliche Auslastung 60 h bei manueller Lenkung und automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 60 h/a bzw. 100 h bei automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 100 h/a)

Automatisches Lenksystem: siehe Erläuterung zu Abbildung 17, Nutzungsdauer nach Leistung 1.000 h, Nutzungsdauer nach Zeit 8 Jahre

Arbeitszeitbedarf bei manueller Lenkung 1,01 AKh/ha und bei automatischer Lenkung 0,81 AKh/ha (mittlere Schlaggröße 1 ha)

Lohnkosten: Traktorfahrer 8,20 €/h, Lenker Hackgerät 7,50 €/h

ante mit dem hohen Neuwert des automatischen Lenksystems (dritte Säule) lässt die Kostendifferenz zur manuellen Lenkung auf rund 0,7 €/ha (1 %) sinken. Die beiden Varianten mit einem Neuwert des Lenksystems von 6.000 € (vierte und fünfte Säule) sind günstiger als die manuelle Lenkung, wobei der Anteil für die Kosten der automatischen Lenkung auch im günstigsten Fall (fünfte Säule) noch rund 26 % ausmacht.

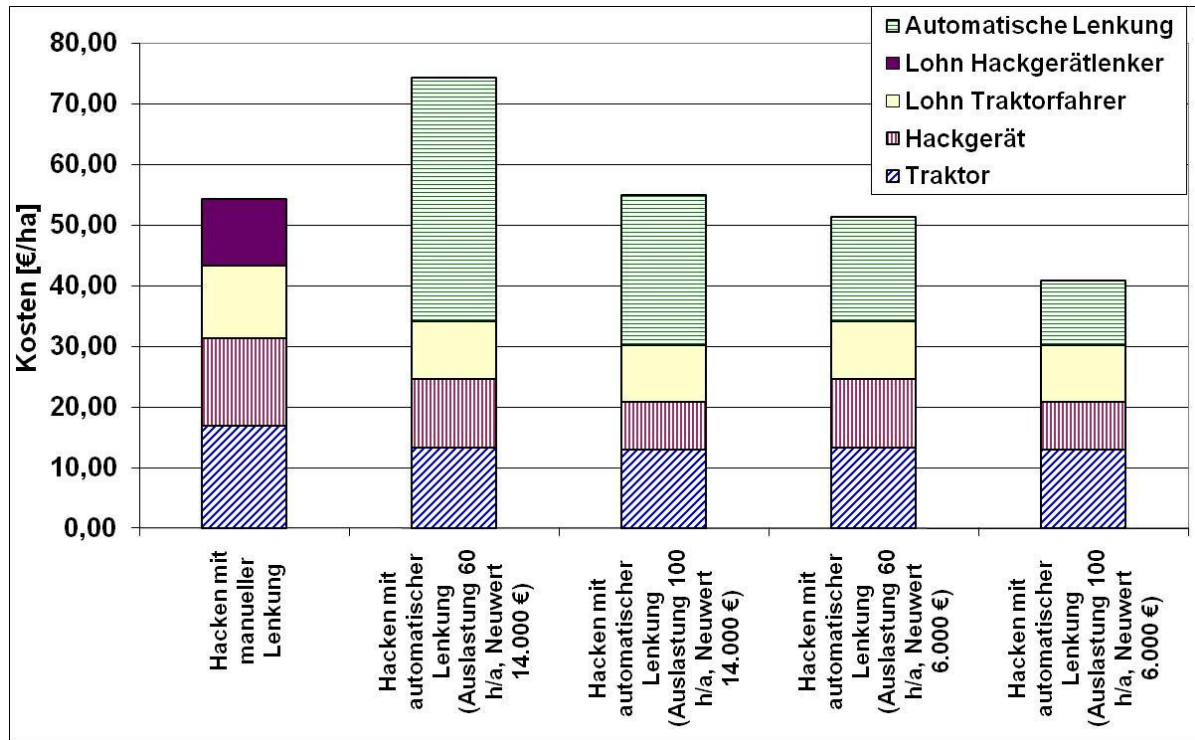


Abbildung 20: Kosten für das 6-reihige Hacken mit einem Reihenabstand von 45 cm (ohne MwSt.)¹⁷

In Abbildung 18 bis Abbildung 20 sind die Kosten für das automatische Lenksystem nur in der günstigsten Variante (fünfte Säule) ähnlich hoch wie die Kosten für die Arbeitskraft beim manuellen Lenken. Die trotzdem teilweise geringeren Gesamtkosten für das Hacken ergeben sich aus der höheren möglichen Fahrgeschwindigkeit beim Hacken und dem damit verbundenen um rund 25 % geringeren Arbeitszeitbedarf.

Abbildung 21 stellt die Auswirkungen des Anstieges der Nutzungsdauer des automatischen Lenksystems von 1.000 h oder 8 Jahren auf 1.600 h oder 12 Jahren dar.

¹⁷ Berechnungsgrundlagen:

Traktor 45 kW (Neuwert 29.700 €, Restwert 3.000 €, Nutzungsdauer 15 Jahre, Zinssatz 5,0 % vom halben Neuwert, Versicherung und Unterbringung 2,0 % vom Neuwert, Reparaturkostenfaktor 0,8 %/100h, Treibstoffkosten aus ÖKL 2003, jährliche Auslastung 550 h bei manueller Lenkung und automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 60 h/a bzw. 580 h bei automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 100 h/a)

Hackgerät 6-reihig (Neuwert 4.700 €, Restwert 1.000 €, Nutzungsdauer 15 Jahre, Zinssatz 5,0 % vom halben Neuwert, Versicherung und Unterbringung 2,0 % vom Neuwert, Reparaturkostenfaktor 5,0 %/100h, jährliche Auslastung 60 h bei manueller Lenkung und automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 60 h/a bzw. 100 h bei automatischer Lenkung mit einer Auslastung von 100 h/a)

Automatisches Lenksystem: siehe Erläuterung zu Abbildung 17, Nutzungsdauer nach Leistung 1.000 h, Nutzungsdauer nach Zeit 8 Jahre

Arbeitszeitbedarf bei manueller Lenkung 1,46 AKh/ha und bei automatischer Lenkung 1,16 AKh/ha (mittlere Schlaggröße 1 ha)

Lohnkosten: Traktorfahrer 8,20 €/h, Lenker Hackgerät 7,50 €/h

Der Neuwert des automatischen Lenksystems beträgt € 14.000.-. Die Verlängerung der Nutzungsdauer bringt eine Reduktion der Gesamtkosten von 12 – 14 %. Die Kosten des automatischen Lenksystems sinken um rund 26 %. Mit der manuellen Lenkung ist das automatische Lenksystem wegen des hohen Neuwertes trotzdem nur bei sehr guter Auslastung (fünfte Säule) konkurrenzfähig.

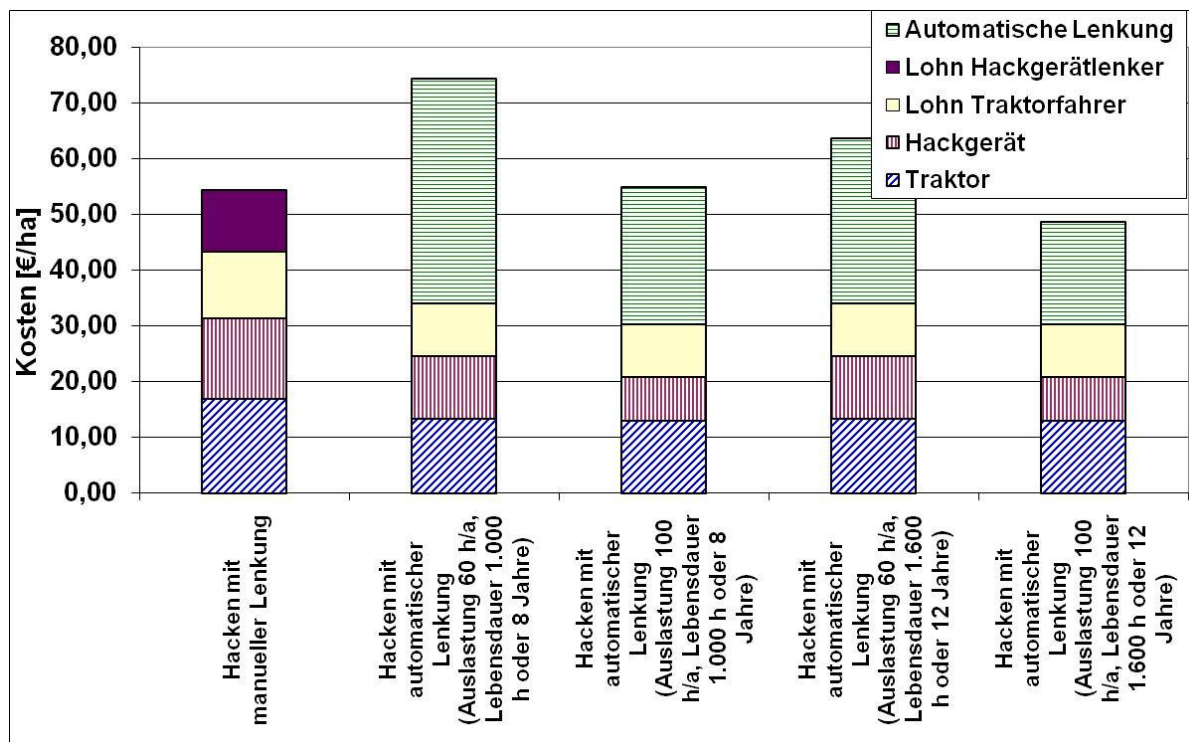


Abbildung 21: Kosten für das 6-reihige Hacken (Reihenabstand von 45 cm) in Abhängigkeit von der Lebensdauer des automatischen Lenksystems (ohne MwSt.)¹⁸

In der konventionellen Landwirtschaft wird auf eine manuelle bzw. automatische (opto-elektronische) Lenkung verzichtet, da wegen des Herbizideinsatzes größere unbearbeitete Hackbänder möglich sind. Ein Kostenvergleich zwischen manueller und automatischer Lenkung ist nur sinnvoll, wenn zur erfolgreichen Beikrautregulierung ein entsprechend enges unbearbeitetes Hackband erforderlich ist, das nur mit manueller oder automatischer Lenkung erreicht werden kann.

Auf Betrieben, die mit Front- oder Heckhackgeräten ohne manueller Steuerung bisher das Auslangen gefunden haben, da sie ein entsprechend breiteres unbearbeitetes Hackband tolerieren können und deshalb gleich hohe Fahrgeschwindigkeiten erreichen wie mit der automatischen Lenkung, ist die automatische Lenkung kosten-

¹⁸ Berechnungsgrundlagen:

Traktor 45 kW siehe Abbildung 20

Hackgerät 6-reihig siehe Abbildung 20

Automatisches Lenksystem: siehe Erläuterung zu Abbildung 17, Nutzungsdauer nach Leistung 1.000 h, Nutzungsdauer nach Zeit 8 Jahre bzw. Nutzungsdauer nach Leistung 1.600 h, Nutzungsdauer nach Zeit 12 Jahre

Arbeitszeitbedarf bei manueller Lenkung 1,29 AKh/ha und bei automatischer Lenkung 1,02 AKh/ha (mittlere Schlaggröße 1 ha)

Lohnkosten: Traktorfahrer 8,20 €/h, Lenker Hackgerät 7,50 €/h

mäßig immer unterlegen. Interessant könnte sie werden, wenn es aufgrund eines engeren unbearbeiteten Hackbandes mit der automatischen Lenkung gelingt, Herbizidkosten einzusparen. Dies müsste vor allem bei Zuckerrüben möglich sein, da hier laut Betriebszweigauswertung auf Marktfruchtbetrieben (*BMLFUW 2003a*) die Herbizidkosten pro ha in Niederösterreich im Mittel € 232,- betragen. Bei Körnermais und Sonnenblumen ist der Spielraum deutlich geringer, da im Mittel pro Hektar nur € 67,- bzw. € 78,- für Herbizide aufgewendet werden.

5. Zusammenfassung

Arbeitszeitbedarf

Durch die automatische Lenkung kann im Vergleich zur manuellen Lenkung die Fahrgeschwindigkeit beim Hacken signifikant erhöht werden. Durch die höhere Fahrgeschwindigkeit sinkt auch die Wendezeit, da von den Fahrern für das Wenden der Gang meist nicht gewechselt wird.

Auf Grund des größeren Pflanzabstandes ist für das automatische Lenksystem bei Kraut am Beginn der Reihe beim Absenken des Hackgerätes das Auffinden der Reihe schwieriger als bei den anderen Kulturen. Dies führt zu signifikant höheren Wendezeiten. Hinsichtlich der erzielbaren Fahrgeschwindigkeit beim Hacken gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kulturen.

In Abhängigkeit von der Schlaggröße und der Arbeitsbreite des Hackgerätes ergibt sich ein Anstieg der Flächenleistung durch die Verwendung des automatischen Lenksystems von 20 bis 25 %. Durch den Wegfall einer Person für das Lenken des Hackgerätes kann das automatische Lenksystem rund 60 % der erforderlichen Arbeitskraftstunden einsparen.

Arbeitsqualität

Folgende Probleme wurden beobachtet:

- Beim Einfahren in den Baumschatten kam es zu Regelfehlern. Trotzdem ertönte kein akustisches Signal.
- Seitenwind, der die Pflanzen bewegte, sorgte für Irritation der Regelung.
- Bei Blaukraut wurden die Pflanzenreihen mangelhaft erkannt.
- Bei schlechtem Feldaufgang fand die automatische Lenkung keine Pflanzenreihen, was ein Hacken mit der automatischen Lenkung unmöglich machte.
- Beim Hacken von Mais im Dreiblattstadium wurden in der Zeit von rund 10:00 Uhr bis rund 14:00 Uhr keine Reihen erkannt. Als Ursache wurde die starke Sonneneinstrahlung vermutet, die starke Reflexionen auf der Blattoberfläche verursachte. Vor und nach dem genannten Zeitraum traten auf der Fläche keine Probleme auf.

Erforderliche Größe der Kulturpflanzen

Die durchgeführten Versuche bei Schwarzkümmel, Pferdebohne und Mais ergaben, dass die Pflanzenreihen bei dem in der Betriebsanleitung geforderten minimalen Pflanzendurchmesser von 3 cm zuverlässig erkannt wurden.

Bedeckungsgrad des Bodens mit Beikräutern

Das System unterscheidet bei der Erkennung der Pflanzenreihen zwischen grünen und nicht grünen Bildpunkten. Erreicht der Bedeckungsgrad des Bodens mit Beikräutern ein kritisches Ausmaß, kann das System die Kulturpflanzenreihe nicht mehr erkennen und ein automatisches Lenken des Hackgerätes wird unmöglich.

Mögliche Fahrgeschwindigkeit

Auf Grund der begrenzten Reaktionsgeschwindigkeit des Lenksystems muss mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit das unbearbeitete Band breiter werden, um den vorgegebenen Grenzwert an beschädigten Pflanzen einhalten zu können. Die mögliche Breite des unbearbeiteten Bandes hängt auch wesentlich von den Lenkbewegungen des Traktorfahrers ab. Je weniger abrupte Lenkbewegungen durchgeführt werden, umso kleiner kann das unbearbeitete Band bei einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit werden. Bei leichten Lenkbewegungen kann ein unbearbeitetes Band von 8 cm auch bei einer Fahrgeschwindigkeit von 7 km/h noch eingehalten werden.

Betriebswirtschaftliche Ergebnisse

Die automatische Lenkung mit einem Neuwert von € 14.000,- ist nur bei sehr hoher Auslastung (100 h/a) mit der manuellen Steuerung hinsichtlich der Kosten konkurrenzfähig, wenn mit ihr eine um rund 25 % höhere Flächenleistung erzielt wird. Diese Auslastung ist aber auch im überbetrieblichen Einsatz für viele Betriebe nur schwer erreichbar. Billigere Systeme (€ 6.000,-) sind bei der oben genannten Mehrleistung durchaus auch bei einer jährlichen Auslastung von 60 h/a konkurrenzfähig. Aber auch diese Auslastung kann in Österreich in der Regel nur im überbetrieblichen Einsatz erreicht werden.

Auf Betrieben, die mit Front- oder Heckhackgeräten ohne manuelle Lenkung bisher das Auslangen gefunden haben, da sie ein entsprechend breiteres unbearbeitetes Hackband tolerieren konnten und deshalb gleich hohe Fahrgeschwindigkeiten erreichten wie mit der automatischen Lenkung, ist die automatische Lenkung kostengünstig immer unterlegen. Interessant könnte sie werden, wenn es aufgrund eines engeren unbearbeiteten Hackbandes gelingt, Herbizidkosten einzusparen. Dies könnte bei Kulturen mit hohen Herbizidkosten (z. B. Zuckerrübe) möglich sein.

6. Abstract

The technical, work economic and economic aspects of the automatic guidance system for row crop cultivators are analysed.

Working time requirement

The driving speed during hoeing can be significantly increased by the automatic guidance system in comparison to the manual steering. The higher driving speed causes lower working time requirement for turning at the headland, because the drivers do not usually change the gear for turning.

Due to the larger planting distance for cabbage, locating the exact beginning of the row is more difficult for the automatic guidance system than for other crops. This leads to a significantly higher working time requirement for turning at the headland. Regarding the attainable driving speed there are no significant differences between the crops.

The acreage performance increases due to the use of the automatic guidance system depending on the plot size and the working width of the hoeing machine from 20 to 25%. By the retrenchment of a worker for steering the hoeing machine, the automatic guidance system can save approximately 60% of the necessary man power hours.

Quality of work

The following problems were observed:

- When pulling into the shade of a tree some errors of the guidance system appeared. Nevertheless no acoustic signal sounded.
- Crosswind, which moved the plants, caused irritation of the guidance system.
- The plant rows of blue cabbage were unsatisfactorily recognized.
- Bad field emergence caused problems because the automatic guidance system often did not find any plant rows.
- When hoeing corn in the third leaf stage the guidance system did not recognize plant rows from approximately 10:00 to approximately 14:00. As a cause the strong sun exposure was assumed, which caused strong reflections on the leaves. Before and after the mentioned period no problems arose.

Size of the crops

In the user manual, a minimal plant diameter of 3 cm is required. The accomplished experiments with black cumin (*Nigella sativa*), horse bean and corn showed that the plant rows were reliably recognized when the plant diameter amounted to 3 cm.

Degree of coverage of the soil surface with weeds

For recognizing the plant rows, the system differentiates between green and not green pixels. If the degree of coverage of the soil surface with weeds is too high, the system cannot detect the crop row and the automatic guidance of the hoeing machine will not work anymore.

Possible driving speed during hoeing

Due to the limited operating speed of the guidance system, the untreated band of the hoeing machine must become broader with increasing driving speed of the hoeing machine in order to maintain the required limit value of damaged plants. The possible width of the untreated band also substantially depends on the steering movements of the tractor driver. The less abrupt steering movements occur, the smaller the untreated band will become at a certain driving speed. With gentle steering movements, an untreated band of 8 cm can even be attained at a driving speed of 7 km/h.

Economical results

Considering the costs the automatic guidance system with an original value of € 14,000 is only competitive with the manual steering when the degree of annual capacity utilisation is very high (100 h/a¹⁹) and the acreage performance is approximately 25 % higher than with manual steering. Cheaper systems (€ 6,000) are competitive when the degree of annual capacity utilisation is higher than 60 h/a and the increasing acreage performance is at the same level as mentioned above. In Austria, it is necessary to use the automatic guidance systems on several farms for meeting these high degrees of annual capacity utilisation.

The automatic guidance system caused higher costs on farms, which did not use hoeing machines with manual steering in the past, because they could tolerate a wider untreated band for reaching the same driving speed as with the automatic guidance system. For crops with high herbicide costs (e.g. sugar beet), the reduction of the herbicide costs caused by the narrower untreated band could compensate the cost of the automatic guidance system.

¹⁹ hours per year

7. Literatur

- Auernhammer, H. (1976): Eine integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse. KTBL-Schrift Nr. 203, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- BMLFUW (2003): Grüner Bericht 2002. BMLFUW, Stubenring 1, 1012 Wien.
- BMLFUW (2003a): Marktfruchtbau 2002. BMLFUW, Stubenring 1, 1012 Wien.
- ECO-DAN A/S, 2001: Products and applications. Homepage der Firma ECO-DAN A/S, <http://www.eco-dan.com>.
- Eichberg, T. und Müller, S., 2001: Mit Feuer und Hacke gegen Hirse und Melde. DLG-Test.de, Heft 1/2001, Seite 24 –27.
- F. Poulsen ApS Engineering, 2001: AGRO-VISION SYSTEM. Homepage der Firma F. Poulsen ApS Engineering, <http://www.fp-engin.dk/agro/agrovision.htm>.
- KTBL (2000): Berechnung der Schlaggröße und Grundzeit für Feldarbeiten. Homepage des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Barningstr. 49, 64289 Darmstadt, <http://www.ktbl.de>.
- ÖKL (2003): ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten 2003. ÖKL, Gusshausstraße 6, 1040 Wien.
- Sachs, L. (1999): Angewandte Statistik. 9. Auflage, Springer-Verlag, ISBN 3-540-65371-6.
- Søgaard, H. T. und Jørgensen, M. H. (2002): Præcision ved automatisk styring af radensere. Report of the Afdeling for Jordbrugsteknik and the Forskningscenter Bygholm, 2002.

8. Anhang 1

Tagebuch ECO-DAN¹ - Betrieb

Datum: Kultur:

Feldstückbezeichnung: Fläche [ha]:

Verwendetes Hackgerät:² Restbreite [cm]:³ Reihenabstand [cm]:

Mittlere Fahrgeschwindigkeit beim Hacken [km/h]:⁴ Zeitraum der Arbeit:⁵ -

Arbeitszeit	[min]		Arbeitszeit	[min]
Rüstarbeiten: ⁶			Fahrt zum Feld
.....		Hacken ⁷
.....		Fahrt vom Feld
.....
.....

Zufriedenheit mit der Arbeitsqualität:⁸ Gründe für eine nicht sehr gute Beurteilung:

.....

Bemerkungen:⁹

.....

¹ Bitte ein Blatt pro Feldstück und Hackdurchgang ausfüllen

² Type des verwendeten Hackgerätes

³ Breite des nicht gehackten Streifens

⁴ Mit Hilfe des Traktormeters geschätzt

⁵ Uhrzeit am Beginn und am Ende der Arbeit (inkl. aller Rüstarbeiten)

⁶ Arbeiten, die vor bzw. nach dem Einsatz des Gerätes erledigt werden müssen (z.B. anhängen, einstellen, schmieren, abhängen, ...)

⁷ Arbeitszeitaufwand für das Hacken auf dem Feld

⁸ - sehr gut (1) Gerät funktioniert problemlos, gewünschte Fahrgeschwindigkeit konnte ohne Beschädigung von Pflanzen erreicht werden,
 - gut (2) Gerät funktioniert problemlos, durch geringfügige Reduktion der Fahrgeschwindigkeit (<1 km/h) konnte Beschädigung von Pflanzen vermieden werden,
 - befriedigend (3): Gerät liefert Fehlermeldungen, trotz geringfügiger Reduktion der Fahrgeschwindigkeit (<1 km/h) werden vereinzelt Pflanzen beschädigt,
 - genügend (4): Gerät liefert Fehlermeldungen, trotz deutlicher Reduktion der Fahrgeschwindigkeit (<3 km/h) werden vereinzelt Pflanzen beschädigt,
 - nicht genügend (5): Gerät liefert Fehlermeldungen, trotz deutlicher Reduktion der Fahrgeschwindigkeit (<3 km/h) werden zahlreiche Pflanzen beschädigt.

⁹ Besondere Vorkommnisse während der Arbeit (z.B. Arbeitsunterbrechungen, Problem mit dem Gerät und Lösungsvorschläge, schwierige Verhältnisse (Boden, Beikräuter, ...), ...),
 Bei Platzmangel auch Rückseite benützen.

BLT Wieselburg (07416/52175)