

Parallelfahrssysteme für Traktoren

Technik und Wirtschaftlichkeit

Holpp Martin, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen
E-Mail: martin.holpp@art.admin.ch



Abb. 1: Prototyp eines automatischen Lenksystems für den Obstbau von Agroscope Reckenholz-Tänikon ART: Traktor in Apfelanlage.

Nach einer Praxisumfrage in der Schweiz unterstützen Landwirte und Lohnunternehmer eine Zunahme des Einsatzes von elektronischen Komponenten in Traktoren. Vom Einsatz von Parallelfahrssystemen, die sich für viele Arbeiten im Ackerbau und der Grünlandbewirtschaftung eignen, erwarten sie sich hauptsächlich eine Fahrerentlastung und Erhöhung der Arbeitsqualität.

Es sind unterschiedliche Parallelfahrssysteme am Markt. Die meisten verwenden zur Erkennung der Spur das Globale Positionierungssystem (GPS) mit verschiedenen Positionsgenauigkeiten. Alternativ gibt es auch eine Spurführung entlang von Pflanzenreihen und Erddämmen mit berührungslosen Entfernungssensoren und Kameras. Bei einfachen GPS-Parallelfahrssystemen erfolgt die Lenkkorrektur von Hand, bei den anderen wird in das Lenksystem eingegriffen und automatisch korrigiert.

Unter Annahme von in der Schweiz üblichen Arbeitsbreiten von 3 bis maximal 4m können beim Anbau von Winterweizen pro Hektar und Jahr 3 bis 6 min Arbeitszeit eingespart werden, bei der Bewirtschaftung von Grünland unabhängig von der Arbeitsbreite 15 bis 30 min. Im Getreidebau ergeben sich durch den geringeren Bedarf an Saatgut, Pflanzenschutzmitteln und Dünger zusätzliche Einsparmöglichkeiten. Insgesamt bewegt sich das Potenzial pro Hektar und Jahr bei Winterweizen bei zirka 10 bis 12 Franken, auf Grünland bei knapp 9 Franken.

Um Kostengleichheit zu erreichen, brauchen Parallelfahrssysteme mit manueller Lenkkorrektur und einfacher Genauigkeit eine Flächenauslastung von rund 100 ha, Systeme mit auto-

matischem Lenkeingriff und höherer Lenkgenauigkeit von zirka 350ha. Parallelfahrssysteme lassen sich allerdings nicht ausschliesslich ökonomisch bewerten. Wohl wichtiger einzustufen ist auch der Zuwachs an Komfort und Ergonomie, ähnlich wie es bei der Klimaanlage, dem stufenlosen Getriebe oder dem Vorgewendemanagement der Fall ist.

Inhalt	Seite
Problemstellung / Methodik	2
Umfrage	2
Parallelfahrtechnik im Überblick	3
Anbieter von Parallelfahrssystemen	6
Arbeitswirtschaft	6
Betriebswirtschaft	8
Schlussfolgerungen	10
Literatur	10



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD
Forschungsanstalt
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Problemstellung/Methodik

Traktoren werden im Ackerbau und in der Grünlandbewirtschaftung oft präzise geradeaus und entlang von Reihen gelenkt. Dies verlangt vom Fahrer über einen langen Zeitraum eine hohe Konzentration. Für die Kontrolle der Anbaugeräte und des Pflanzenbestandes fehlt dabei die Kapazität.

Seit einigen Jahren sind Parallelfahrssysteme für Traktoren am Markt erhältlich. Sie sollen dabei helfen, den Fahrer beim Lenken zu entlasten, die Arbeitsbreite der Anbaugeräte besser auszunutzen und damit die Arbeitsqualität auf hohem Niveau zu halten. Sie sollen zudem das Fahren bei ungünstigen Sichtbedingungen wie Gegenlicht, Nebel und in der Nacht vereinfachen und es erlauben, die Maschinenauslastung zu erhöhen. Durch geringere Überlappung gibt es Einspar-

möglichkeiten bei Arbeitszeit, Maschinenstunden und Betriebsmitteln wie Kraftstoff, Pflanzenschutz- und Düngemittel. Die Parallelfahrssysteme gibt es je nach Anwendungszweck und Budget in unterschiedlichen technischen Ausführungen und Leistungsklassen. Sie werden hauptsächlich in grossen Ackerbaubetrieben eingesetzt. Eignen sie sich aber auch für die kleiner strukturierte, schweizerische Landwirtschaft?

Einleitend gibt es einen Überblick über die Ergebnisse einer schweizerischen Umfrage zum Einsatz von Elektronik in Traktoren. Anschliessend werden Technik, Möglichkeiten und Einsatzgrenzen von Parallelfahrssystemen beschrieben, die arbeitswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Zusammenhänge analysiert sowie Schlussfolgerungen abgeleitet.

durch mehr elektronische Komponenten die Maschinenauslastung von «eher hoch» bis «hoch» steigern lässt. (Abb. 3)

Wie wird heute parallel gefahren?

Die verschiedenen Techniken zum Parallelfahren sind stark unterschiedlich verbreitet. Die Zufriedenheit mit der meist eingesetzten Methode von Spuranreissern zur Anlage von Fahrgassen bei der Saat ist sehr hoch. Schaummarkierer, Taster, Fluchtpunkt, Laser und GPS werden einerseits nur wenig eingesetzt, andererseits nur von ungefähr der Hälfte als zufriedenstellend angesehen.

Nach Aussage der Befragten arbeiten sie aber auch beim Fahren ohne Fahrgassen, zum Beispiel bei der Bodenbearbeitung, meist nur mit leichten Überlappungen.

Erwartungen an ein automatisiertes Lenksystem

Durch eine automatisierte Lenkung versprechen sich drei Viertel der Befragten eine zumindest leicht sinkende Beanspruchung des Fahrers. Zwei Drittel können sich den Einsatz eines automatischen Lenksystems bei der Aussaat vorstellen, danach folgen die Arbeiten Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung und mineralische Düngung. Für 80 % der Befragten ist mit +/- 5cm eine ausreichende Genauigkeit des automatischen Lenksystems gegeben. Drei Viertel würden bis zu 5000 Franken in ein automatisches Lenksystem investieren, nur wenige

Umfrage

Agroscope Reckenholz-Tänikon ART führte im Herbst 2004 eine Praxisumfrage zum Thema *Einstellungen und Erwartungen gegenüber elektronischen Komponenten in Traktoren und Systemen zum Parallelfahren* durch. Mehr als ein Drittel der 470 angeschriebenen Lohnunternehmer und Landwirte in der Deutsch- und Westschweiz antwortete.

Laut Auswertung sind sie relativ jung, gut ausgebildet, betreiben oft ein Lohnunternehmen und bewirtschaften einen überdurchschnittlich grossen Betrieb. Die Ergebnisse sind damit zwar nicht auf den schweizerischen Durchschnittsbetriebsleiter übertragbar, aber geeignet, um Zukunftstrends zu erkennen.

Ausstattung, Nutzen und Zufriedenheit

Es werden relativ viele neuere Traktoren mit einer hohen Leistung und Auslastung eingesetzt. Ab einer Leistung von 90 kW sind diese zunehmend mit Bordcomputern, stufenlosen Getrieben, Motor-Getriebe-Management, Vorgewendemanagement und Tempomat ausgestattet. Dem Einsatz von elektronischen Komponenten in Traktoren wird ein relativ hoher Nutzen bescheinigt (Abb. 2), auch die Zufrieden-

heit hinsichtlich Bedienung, Zuverlässigkeit und Preis-Leistungs-Verhältnis ist allgemein hoch.

Hinsichtlich des Einflusses von mehr Elektronik in Traktoren sind mehr als drei Viertel der Befragten der Meinung, dass die Fahrerentlastung hoch bis eher hoch ist. Eine hohe bis eher hohe Auswirkung auf Arbeitsqualität, Flächenleistung und Mittelsowie Kraftstoffeinsparung verspricht sich mehr als die Hälfte. Allerdings ist nur noch ein gutes Drittel der Auffassung, dass sich

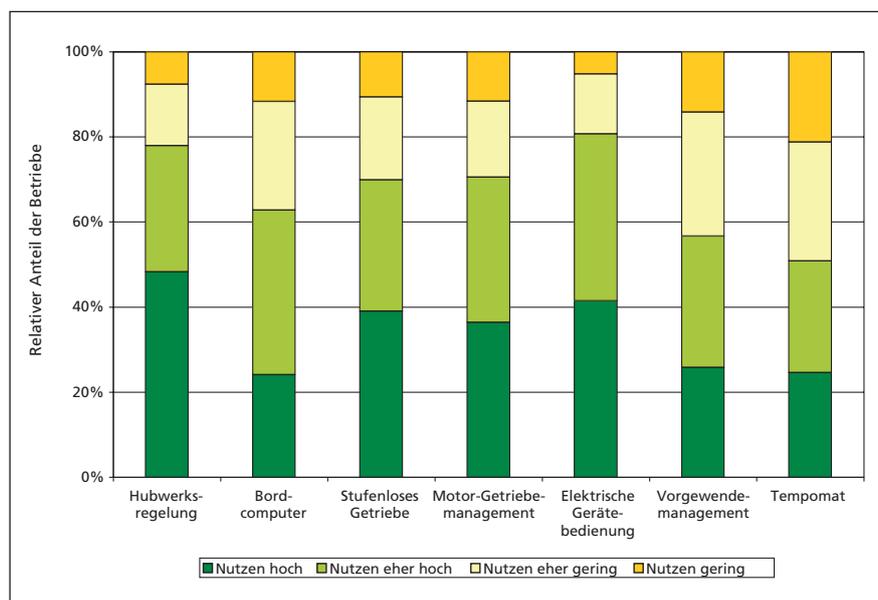


Abb. 2: Nutzen elektronischer Komponenten im Traktor.

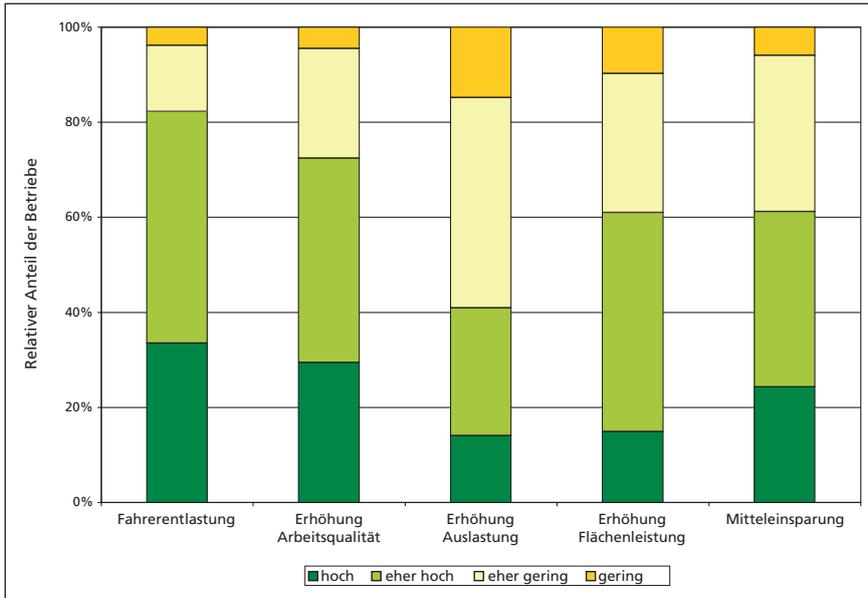


Abb. 3: Einfluss von zusätzlichen elektronischen Komponenten im Traktor auf Fahrentlastung, Erhöhung von Arbeitsqualität, Auslastung und Flächenleistung sowie Mitteleinsparung.

würden bis zu 10 000 Franken ausgeben. Aus den Ergebnissen der Umfrage geht eindeutig hervor, dass die befragten technikerfahrenen Landwirte und Lohnunternehmer den Trend zu mehr elektronischen Komponenten und damit auch automatischen Lenkssystemen in Traktoren unterstützen.

Parallelfahrtechnik im Überblick

Anwendungsgebiete

Parallelfahrssysteme mit GPS eignen sich für viele traktorgebundene Arbeiten in den Bereichen Bodenbearbeitung, Aussaat/Legen/Pflanzen, Pflanzenschutz und Düngung. Beim Grubbern mit grossen Arbeitsbreiten sorgen sie für eine genaue Anschlussfahrt,



Abb. 4: GPS-Antennen und -Empfänger von Trimble.

reduzieren die Überlappung und vermeiden unbearbeitete Streifen. Beim Pflanzenschutz oder Düngerstreuen im Vorauflauf und auf Grünland helfen sie, die Spur zu halten und nach dem Wiederbefüllen wiederzufinden. Wo bei der Direktsaat Spuranreisser kaum in den Boden eindringen, sind sie die geeignete Lösung, um sich zu orientieren. Es muss auch nicht mehr Spur an Spur gefahren werden. Mit den Systemen können einfach Fahrspuren übersprungen und damit die Wendezeit verringert werden. In Verbindung mit einem geeigneten ISO-BUS-Terminal kann das GPS-Signal zusätzlich zur Dokumentation der durchgeführten Arbeiten verwendet werden.

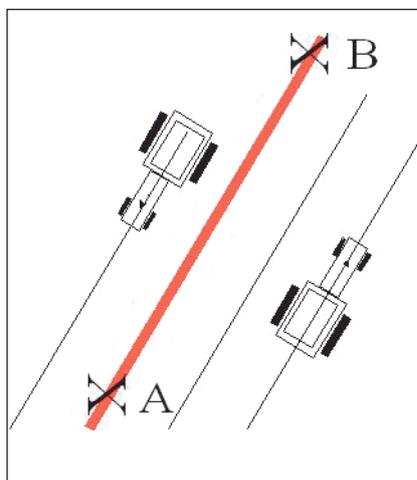


Abb. 5: Fahrvarianten: links A-B-Fahrt, rechts Konturfahrt.

Funktion der GPS-Systeme

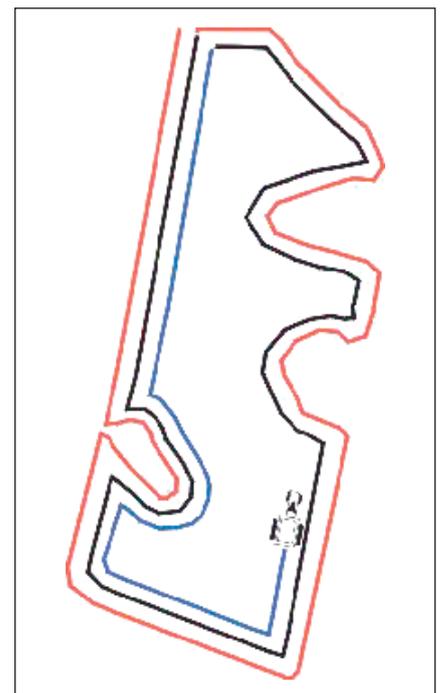
Die meisten Parallelfahrssysteme navigieren mit dem **G**lobalen **P**ositionierungs-**S**ystem (GPS). Mit einer Antenne und einem Empfänger (Abb. 4) auf dem Traktor werden die Signale der GPS-Satelliten empfangen. Aus diesen wird zuerst die aktuelle Position des Fahrzeugs berechnet und anschliessend die Fahrspur des Traktors bestimmt.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten des Parallelfahrens. In Europa sind hauptsächlich gerade A-B-Fahrten, das Konturfahren entlang geschwungener Vorgängerspuren sowie das Anfahren von Zielpunkten verbreitet. (Abb. 5)

Lenkgenauigkeit

Die Positionsabweichung der GPS-Signale liegt aufgrund technischer und atmosphärischer Gegebenheiten bei zirka +/- 3 bis 5m. Zur Ansteuerung von Lenkungen ist diese zu ungenau. Mit Korrektursignalen von den Satelliten oder von erdgebundenen Funkstationen kann die Genauigkeit stufenweise erhöht werden.

Bei den einfachen Systemen mit kostenlosen Korrektursignalen wird mit einer Genauigkeit von +/- 20 bis 30cm gearbeitet: Diese eignen sich für grosse Arbeitsbreiten bei der Grunddüngung und organischen Düngung, wo mit überlappenden Streubildern gearbeitet wird (Tab. 1).



Für die Bodenbearbeitung (Scheibeneggen, Grubber, Saatbeetkombinationen) mit grossen Arbeitsbreiten und genauem Anschlussfahren kommt die nächste Stufe mit kostenpflichtigen Korrekturdiensten und einer Genauigkeit von +/- 5 bis 10 cm in Frage.

Zum präzisen Säen, Pflanzen und Hacken wie im Gemüsebau können sehr genaue Systeme mit +/- 1 bis 2 cm Genauigkeit eingesetzt werden.

Zum Ausgleich der Hangneigung und von schwankenden Bewegungen während der Fahrt kompensieren Neigungssensoren die Abweichung. Die dafür verwendete Technik ist aufwendig und teuer. Bei Spurführungssystemen ohne diese Technik kommt es in hängigem Gelände zu einer Drift hangabwärts bzw. zu Schlangenlinien. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass durch die Anbauposition der Antenne die GPS-Werte im Regelfall für den Traktor und nicht für das Anbaugerät gelten. Wenn der Traktor am Hang auch richtig fährt, so bekommt das Anbaugerät einen Seitenzug und driftet hangabwärts – es kommt zu einer zusätzlichen Abweichung. Durch diese Dynamik im Anbausystem wird am Anbaugerät also nie dieselbe Genauigkeit wie an der Antenne zu erreichen sein.

Die Genauigkeit der GPS-Position hängt stark von der Anzahl und Position der empfangbaren Satelliten, dem GPS-Empfänger sowie dem verwendeten Korrektursystem ab. Je genauer und stabiler die Position sein soll, desto aufwendiger wird die benötigte Empfangs- und Korrekturtechnik.

Zur besseren Einordnung wird auch zwischen absoluter sowie Spur-zu-Spur-Genauigkeit unterschieden. Die absolute Genauigkeit gibt an, mit welcher Genauigkeit eine Position nach einigen Tagen oder auch Jahren wiedergefunden wird. Beim kostenlosen Korrektursignal Egnos beträgt diese beispielsweise ~2 m. Für die meisten landwirtschaftlichen Anwendungen ist die Genauigkeit innerhalb der nächsten Minuten, die Spur-zu-Spur-Genauigkeit, relevant. Sie wird erreicht, wenn innerhalb von 15 Minuten wieder an der Vorgängerspür entlangefahren wird, und beträgt bei Egnos 20 bis 30 cm.

Grenzen von GPS

Das GPS-Signal steht nicht immer in der gleichen Qualität zur Verfügung. Einerseits hängt die Genauigkeit des Signals von der Anzahl der am Himmel sichtbaren Satelliten ab, andererseits kann es an Waldrändern und bei Baumgruppen zu Signalabschattungen kommen.

Tab. 1: Einteilung der Parallelfahrssysteme in manuelle, Lenkassistenten- und automatische Lenksysteme

	Manuelle Lenksysteme	Lenkassistentensysteme	Automatische Lenksysteme
Lenkkorrektur	manuell	automatisch	automatisch
Absolute Genauigkeit	0,5 bis 2 m	0,10 bis 0,80 m	0,02 bis 0,05 m
Spur-zu-Spur-Genauigkeit	0,10 bis 0,30 m	0,05 bis 0,20 m	0,01 bis 0,02 m
Eignung	Grosse Arbeitsbreiten, Grunddüngung, organische Düngung, Grünland, keine Aussaat	Grosse Arbeitsbreiten, Bodenbearbeitung, flache, lange Schläge, Aussaat, Anlage Reihenkulturen (Kartoffeln, Rüben)	Für alle Arbeiten, auch Aussaat/Legen/Pflanzen im Gemüsebau sowie bei schmalen Arbeitsbreiten
Entlastung des Fahrers	gering	hoch	sehr hoch
Korrektursignal	Über Satellit, z.B. Egnos, bzw. erdgebunden, z.B. Beacon ¹	Über Satellit, z.B. Starfire oder Omnistar, zum Teil auch Egnos	Eigene Korrekturstation oder VRS ²
Kosten Korrektursignal	Keine	Keine bzw. Fr. 1000.– bis 3000.–/Jahr	Eigene Korrekturstation zirka Fr. 20000.– VRS Swisstopo gratis, Verbindungskosten Fr. 0.05 bis 0.30 /min. abhängig von Übertragungsart und Telefon-Abo
Investitionsbedarf	Fr. 3000.– bis 6000.–	Fr. 15000.– bis 30000.–	Fr. 30000.– bis 40000.–

¹ Korrektursignal Schifffahrt, in ganz Deutschland verfügbar

² VRS = virtuelle Referenzstation, Korrektursignal von Swisstopo oder Omnistar

ungen kommen. Je genauer das Signal, desto empfindlicher ist dessen Empfang. Das eigentliche GPS-Signal wird nach einem Ausfall oftmals wieder schnell empfangen, das Korrektursignal hingegen steht oft erst wieder nach 5 bis 10 min zur Verfügung. Diese Ausfallzeiten werden zum Teil durch die Software rechnerisch überbrückt, zum Teil wird auch mit Kompassen gearbeitet, die einen Signalausfall kurzzeitig kompensieren können.

Insgesamt kann also nicht von einer 100%igen Verfügbarkeit des GPS-Signals ausgegangen werden. Alternative Spurführungssysteme wie Spuranreisser sind deshalb nach wie vor notwendig.

Alternativen zu GPS

Wenn die Lenkung nicht an einer GPS-Sollfahrspur orientiert sein soll, sondern am tatsächlichen Pflanzenbestand, wie zum Beispiel beim Hacken in Gemüsereihen, müssen die Pflanzen direkt abgetastet werden. Auch in Obstanlagen, in denen Bäume und Hagelschutznetze den Empfang beeinträchtigen, fährt man bei Pflanzenschutzapplikationen oder beim Mulchen genau in der Mitte zwischen den Baumreihen. Sensoren tasten die Pflanzen ab, daraus wird die Fahrspur berechnet. Mit Sensoren kann mit einfacherem technischem Aufwand sehr genau gefahren werden.

Mechanische Taster funktionieren gleich wie die in Maisgebissen an Feldhäckslern eingesetzten Taster zur Reihenerkennung. Sie können bei Vorhandensein einer mechanisch belastbaren Leitlinie wie einer Pflanzenreihe (z.B. Beeren und Mais), einem Erdamm oder einer Furche im Boden genutzt werden. **Ultraschallsensoren** tasten berührungslos grössere, einheitliche Flächen wie Blattflächen in Obst- und Weinanlagen, Grünfutterschwaden oder Furchen im Boden ab. Leitlinien werden auch optisch mit zwei- und dreidimensional arbeitenden **Digitalkameras** erkannt. Diese Systeme werden vor allem im Gemüsebau zur Steuerung der Hackgeräte zwischen den Reihen eingesetzt, können aber auch den Traktor lenken. (Abb. 6) In Obstanlagen gibt es zum Teil sehr dünne Stämme mit grossen Zwischenabständen. Bei dem von Agroscope Reckenholz-Tänikon ART entwickelten automatischen Lenksystem erfassen berührungslos arbeitende, schnelle **Lasersensoren** diese Objekte sicher. (Abb. 7)

Manuell oder automatisch lenken?

Die Systeme werden nach der Art der Umsetzung der Lenkkorrektur in manuelle, Lenkassistenten- und automatische Systeme unterschieden.

Bei **manuellen** Systemen zeigt ein Lichtbalken oder Monitor optisch den Grad der



Abb. 6: Parallelfahrssysteme ohne GPS: links Ultraschalltaster von Reichardt-Steuerungstechnik zur Erkennung von Fahrgassen, rechts Eco-Dan-Kamera zur Lenkung des Hackgeräts zwischen den Reihen.



Abb. 7: ART-Prototyp für den Obstbau: links Testfahrt an Baum- und Heckenattrappen, rechts Ultraschallsensor für Blattflächen (oben) und Lasersensor für Baumstämme (unten) im Frontanbau.



Abb. 8: Manuelle Parallelführungssysteme mit Lichtbalken: links Centerline 220 von LH Agro, rechts Outback S von Agromcom.

Abweichung an, die der Fahrer selbst korrigiert. Zum Teil wird auch akustisch gearbeitet, unterschiedliche hohe Töne geben die Abweichung an. (Abb. 8) Wenn auch die Arbeitsbreiten besser genutzt, Fahrspuren übersprungen und genauer gefahren werden kann, so muss sich der Fahrer stark auf die Anzeige konzentrieren. Der Entlastungsgrad ist gering, und es gibt auch keine zusätzliche Zeit, um beispielsweise nebenbei andere Kontrollaufgaben wahrzunehmen. Die manuellen

Systeme werden häufig als Einstiegssystem verkauft, mit der Option, später einen Lenkeingriff nachzurüsten. Aus Preisgründen sind sie mit einfachen Empfängern grober Genauigkeit ohne Neigungskompensation ausgestattet. Sie werden bei grossen Arbeitsbreiten in der Bodenbearbeitung sowie bei der Düngerausbringung auf Acker- und Grünland verwendet. Mit entsprechender Ausstattung können sie beispielsweise auch genutzt werden, um nach dem Wiederbefüllen des Düngerstreuers wieder an

der richtigen Stelle fortfahren zu können. **Lenkassistentensysteme** setzen die Positionsabweichung direkt in eine Lenkkorrektur um. Die meisten Systeme steuern über ein zusätzliches hydraulisches Ventil den Lenkzylinder an. Bei anderen wird mit einem Elektromotor mit Reibrad direkt das Lenkrad angesteuert bzw. bei einer herstellereigenen Nachrüstung das Serienlenkrad gegen ein Lenkrad mit integriertem Motorantrieb ausgetauscht (Abb. 9). Das Lenksystem kann so schnell vom einen auf



Abb. 9: Lenkeingriff am Lenkrad: oben Trimble EZ-Steer, Mitte John-Deere Auto-Trac Universal, unten Prototyp von Agro-scope Reckenholz-Tänikon ART.

den anderen Traktor umgebaut werden. Eine Ausrüstung mit zusätzlichen, fest eingebauten Lenkkomponenten entfällt. Die Lenkassistenzsysteme haben dieselbe Funktionalität wie die manuellen, entlasten den Fahrer aber spürbar, da er sich nicht mehr auf eine Anzeige konzentrieren muss. Das Lenken im Vorgewende erfolgt manuell. Da mit dem direkten Lenkeingriff schneller reagiert werden kann als manuell, kann auch die bessere Genauigkeit höherwertiger GPS-Empfänger ausgenutzt werden.

Automatische Lenksysteme unterstützen die Lenkung auch im Vorgewende, sie

Tab. 2: Hersteller und Vertriebspartner von Parallelführungssystemen für Traktoren

Hersteller	Vertrieb ¹
Agco www.fendt.com	GVS Agrar, Schaffhausen Tel. 052 631 19 00 – www.gvs-agrar.ch
Agrocom ² www.agrocom.com	Serco, Niederbipp Tel. 032 636 66 66 – www.serco.ch
John-Deere www.deere.com	Matra, Lyss Tel. 032 387 28 28 – www.matra.ch
LH Agro www.lh-agro.com	TeeJet LH Agro Product Center (DE) Tel. +49 5161 4816 0 info.central.europe@teejet-lhagro.com LH Agro/TeeJet SWE (FR) Tel. +33 2 3869 7066 info.france@lh-agro.com
Trimble www.trimble.com	Allnav, Zürich Tel. 043 255 20 20 – www.allnav.com
Reichhardt-Steuerungstechnik ³ www.reichhardt.org	Reichhardt-Steuerungstechnik (DE) Tel. +49 6043 96 45 0 – www.reichhardt.org
WTK www.wtk-elektronik.de	Hansenhof electronic (DE) Tel. +49 37367 779 710 – www.field-operator.com

¹ Wenn möglich schweizerischer, sonst nächstgelegener Vertrieb

² Modulare GPS- und Kameralösung

³ Modulare GPS-, Ultraschall-, Kamera- und Tasterlösung

Tab. 3: Varianten Getreidebau: drei Arbeitsbreiten, vier Schlaggrößen und drei Genauigkeitsklassen im Vergleich mit der manuellen Lenkung

Theoretische Arbeitsbreite	Abweichung bei manueller Lenkung	Genauigkeit mit Parallelführung		
		+/- 0,3m	+/- 0,15m	+/- 0,05m
3m	+/- 0,1m	Jeweils für Schlaggrösse 1 / 2 / 5 / 10 ha		
4m	+/- 0,2m			
6m	+/- 0,4m			

lenken ab einem bestimmten Lenkwinkel automatisch in die richtige Spur ein. Das Fahrzeug wird auch im Feld nach dem Ausweichen eines Hindernisses wieder zurück auf die Fahrspur geführt.

Bei den Systemen mit automatischer Lenkkorrektur kommt es für den Fahrer allenfalls zu Monotonie, Langeweile und Einschlafneigung. Da bei Hindernissen in der Fahrspur immer manuell ausgewichen werden muss, ist dieser Punkt nicht zu vernachlässigen.

schaft KTBL (www.ktbl.de), unter anderem veröffentlichen die landtechnische Fachzeitschriften DLZ (www.dlz-agrarmagazin.de) und Profi (www.profi.com) regelmässige Vergleiche von Parallelfahrssystemen.

Arbeitswirtschaft

Automatische Lenksysteme erhöhen die Arbeitsplatzqualität für den Fahrer, bringen Vorteile beim Wenden und reduzieren die Überlappung. Zur wirtschaftlichen Bewertung dieser Faktoren finden sich in der Literatur unterschiedliche Angaben. In Deutschland wird durchschnittlich von 5 bis 10 % weniger Überlappung mit entsprechenden Mittel-, Treibstoff- und Arbeitszeiteinsparungen ausgegangen. Je nach Fruchtfolge und Bewirtschaftungsintensität können Fr. 8.– bis 45.–/ha eingespart werden. Abhängig vom Anschaffungspreis liegt die notwendige Flächenauslastung des Lenksystems bei 180 bis 30 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche.

Um eine Aussage für schweizerische Bedingungen treffen zu können, wurden mit dem arbeitswirtschaftlichen Modellkalkulationssystem PROOF von Agro-scope Reckenholz-

Anbieter von Parallelfahrssystemen

Mittlerweile hat nahezu jeder Traktorhersteller Parallelfahrssysteme im Angebot, es gibt aber auch Anbieter, die herstellerunabhängig Systeme zum Nachrüsten anbieten. Die wichtigsten Firmen sind in Tab. 2 aufgelistet.

Eine detaillierte vergleichende Darstellung der Systeme ist aufgrund des umfangreichen Angebots an dieser Stelle nicht möglich. Weiterführende Informationen zum Thema finden sich beim Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirt-

Tänikon ART verschiedene Varianten im Getreidebau und Grünland durchgerechnet.

Getreidebau

Im Getreidebau wurde ein Beispiel mit pflugloser Bestellung von Winterweizen kalkuliert: Grundbodenbearbeitung mit Grubber, Saatbettbereitung und Saat in Kombination, Walzen, organische Düngung mit Festmist, mineralische Düngung und Pflanzenschutz. Insgesamt sind es zehn Arbeitsgänge, bei denen sich ein Parallelfahrssystem auswirkt. Tatsächlich eingesetzt wird es nur bei vier Überfahrten, da sich Pflanzenschutz und mineralische Düngung an den Fahrgassen orientieren.

Drei unterschiedlich genaue Parallelführungssysteme wurden mit drei Arbeitsbreiten auf vier Schlaggrößen der manuellen Lenkgenauigkeit gegenübergestellt (Tab. 3). Die in der Schweiz unübliche Arbeitsbreite von 6 m und Schlaggrösse von 10 ha wurde gewählt, um Grösseneffekte anschaulicher darstellen zu können. Die Arbeitsbreiten für Düngung und Pflanzenschutz waren um Faktor fünf höher als die für Bodenbearbeitung und Saat und betragen 15, 20 und 30m. Es wurde davon ausgegangen, dass unbearbeitete Flächen unerwünscht sind, eine Überlappung hingegen toleriert würde.

Die effektive Arbeitsbreite ergab sich dann aus der theoretischen Arbeitsbreite abzüglich der Lenkabweichung.

Beispiel: Aus 3 m theoretischer Arbeitsbreite werden bei manueller Lenkung 2,90 m effektive Arbeitsbreite, bei Parallelführung mit +/- 0,3 m Genauigkeit 2,70 m effektive Arbeitsbreite. Mit manueller Lenkung wird die Arbeitsbreite also besser als mit dem Parallelfahrssystem ausgenutzt. Aus 4 m theoretischer Arbeitsbreite werden bei manueller Lenkung 3,80 m effektive Arbeitsbreite, bei Parallelführung mit +/- 0,05 m Genauigkeit dann 3,95 m effektive Arbeitsbreite. Die Arbeitsbreite wird also mit dem Parallelfahrssystem besser ausgenutzt.

Im Überblick ergeben sich die Werte in Tab. 4. Nur bei positiven Werten ist ein Parallelführungssystem besser als die manuelle Lenkung mit den herkömmlichen Hilfsmitteln. Gerade bei kleineren Arbeitsbreiten ist die manuelle Lenkung einem Parallelführungssystem mit grosser Abweichung also überlegen.

Dies wird auch bei der Kalkulation der Arbeitszeitdifferenz in Abb. 10 deutlich. Hier wurde zusätzlich davon ausgegangen, dass die Wendezeiten mit einem Spurführungssystem um 15 % geringer sind.

Tab. 4: Vergleich der prozentualen Überlappung zwischen manueller Lenkung und Parallelfahrhilfe. Negative Werte = mit manueller Lenkung kommt es zu geringerer Überlappung als mit der Parallelfahrhilfe, positive Werte = mit Parallelfahrhilfe kommt es zu einer geringeren Überlappung als mit manueller Lenkung

Theoretische Arbeitsbreite	Prozentuale Unterschiede in der Überlappung zwischen manueller Lenkung und Parallelführungssystem		
	Genauigkeit +/- 0,3 m	Genauigkeit +/- 0,15 m	Genauigkeit +/- 0,05 m
3 m	-6,7 %	-1,7 %	1,7 %
4 m	-2,5 %	1,3 %	3,8 %
6 m	1,7 %	4,2 %	5,8 %

Tab. 5: Varianten Grünland: Drei Arbeitsbreiten, vier Schlaggrößen und drei Genauigkeitsklassen im Vergleich mit der manuellen Lenkung

Theoretische Arbeitsbreite	Effektive Arbeitsbreite bei manueller Lenkung	Genauigkeit mit Parallelführung		
		+/- 0,3 m	+/- 0,15 m	+/- 0,05 m
klein	90 %	Jeweils für Schlaggrösse 1 / 2 / 5 / 10 ha		
mittel	90 %			
gross	90 %			

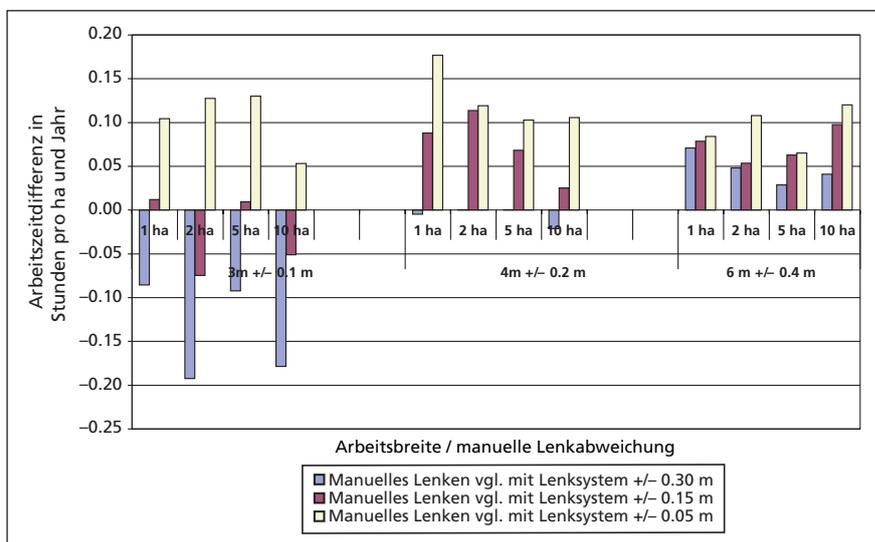


Abb. 10: Arbeitszeitdifferenz im Getreidebau beim Vergleich von manuellem Lenken und Parallelfahrssystem, Basis: zehn Überfahrten.

Nur bei den positiven Werten ist das Parallelführungssystem besser als die manuelle Lenkung. Dies bedeutet unter anderem, dass ein Lenksystem mit einer Genauigkeit von +/- 0,3 m erst bei grossen Arbeitsbreiten sinnvoll ist. Insgesamt kann pro Hektar und Jahr eine Zeiteinsparung von zirka 3 bis 6 Minuten realisiert werden.

Grünland

Bei der Grünlandbewirtschaftung wurde von fünf Schnitten, vierfacher organischer und einmaliger mineralischer Düngung ausgegangen. Insgesamt sind es 28 Überfahrten, bei denen immer das Parallelfahrssystem benötigt wird.

Die Arbeitsbreiten der Maschinen wie zum Beispiel Mähwerk, Kreiselheuer und Krei-

selschwader sind hier nicht einheitlich. Deshalb wurden Maschinenkombinationen mit kleiner, mittlerer und grosser Arbeitsbreite zusammengestellt (Tab. 5). Bei manueller Lenkung wurde eine Ausnutzung der Arbeitsbreite von 90 % angenommen, beim Parallelführungssystem wurde mit denselben Genauigkeitsklassen wie im Getreidebau gerechnet.

Im Gegensatz zum Getreidebau ist im Grünland mit einem Lenksystem in allen Varianten eine Arbeitszeiteinsparung realisierbar (Abb. 11). Sie bewegt sich pro Hektar und Jahr zwischen 30 und 60 min beziehungsweise ca. 3 bis 6 min pro Überfahrt. Dies entspricht einer relativen Arbeitszeiteinsparung von 1–2 %.

Auf Grünland und im Getreidebau lassen sich allenfalls zusätzliche Zeiteinsparungen

realisieren, wenn durch den Einsatz eines Parallelfahrssystems die durchschnittliche Arbeitsgeschwindigkeit gesteigert werden kann.

Betriebswirtschaft

Für eine betriebswirtschaftliche Bewertung sind einerseits die jährlichen Kosten des Parallelführungssystems, andererseits die realisierbaren Einsparungen relevant.

Kosten Parallelführungssysteme

In Tab. 6 sind beispielhaft die Jahreskosten von vier verschiedenen Parallelführungssystemen berechnet. Die Gesamtkosten pro Jahr setzen sich aus der Abschreibung, dem Zins, der Feuerversicherung, den Reparaturkosten und den Signalkosten zusammen.

Die Jahreskosten bewegen sich von 765 Franken für eine manuelle Parallelfahrhilfe einfacher Genauigkeit bis zu 8150 Franken für ein hochpräzises automatisches Lenksystem.

Einsparmöglichkeiten

Sowohl im Getreidebau als auch im Grünland lassen sich durch die effizientere Ausnutzung der Arbeitsbreiten und verkürzte Wendezeiten Arbeitszeit und Maschinenstunden einsparen. Dabei sind hauptsächlich die Traktorstunden relevant. Die Anbaugeräte fallen kostenmässig weniger ins Gewicht. Die eingesparte Arbeitszeit wurde in der Kalkulation ebenfalls nicht bewertet. Werden Arbeitskräfte direkt entlohnt oder kann die frei werdende Arbeitszeit gewinnbringend eingesetzt werden, so ist dies einzurechnen (ART-Ansatz: Fr. 26.– pro Stunde).

Ausgehend von den arbeitswirtschaftlichen Einsparungen lassen sich aus Abb. 12 die Kosteneinsparungen für Traktoren ablesen. So lassen sich im Getreidebau bei einer verringerten Bearbeitungszeit von zirka 6 min. pro ha und Jahr ungefähr Fr. 1.50 pro ha und Jahr einsparen. Im Grünland bringt eine Einsparung von 18 min. pro ha und Jahr eine Ersparnis von zirka Fr. 8.50 pro ha und Jahr.

Für diese Einsparung muss das Parallelfahrssystem im Getreide bei nur vier Überfahrten, auf dem Grünland hingegen bei allen 28 Überfahrten eingesetzt werden. Die Sys-

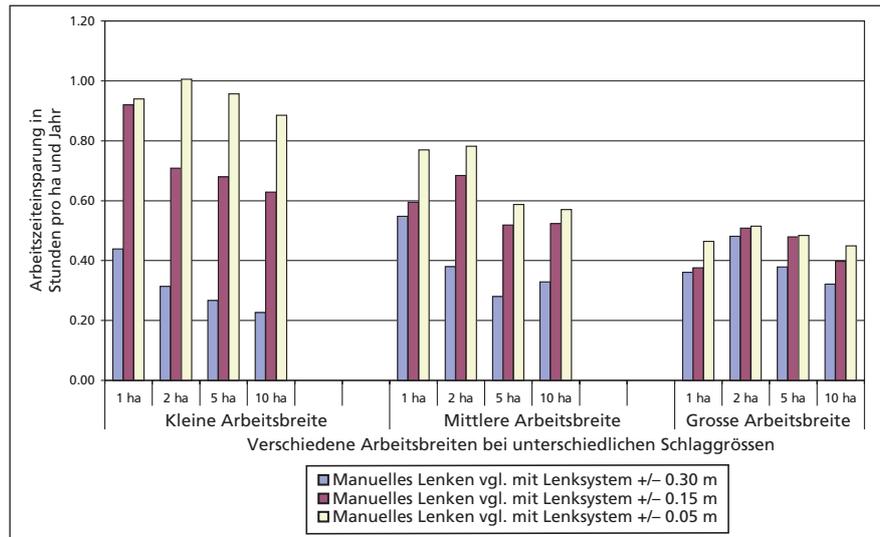


Abb. 11: Arbeitszeitdifferenz im Grünland beim Vergleich von manuellem Lenken und Parallelfahrssystem, Basis: 28 Überfahrten; Arbeitsbreiten Mähwerke 3 m/6 m/8,3 m; Kreiselweber 4,7 m/6,8 m/8,8 m; Schwader 3,3 m/4,5 m/6,5 m.

Tab. 6: Kostenberechnung für Parallelfahrssysteme

	Manuelle Parallelfahrhilfe +/- 0,30 m	Lenkassistentensystem +/- 0,30 m	Lenkassistentensystem +/- 0,10 m	Automatisches Lenksystem +/- 0,02 m
Lenkkorrektur	manuell	automatisch	automatisch	automatisch
Spur-zu-Spur-Genauigkeit [m]	0,10 bis 0,30	0,10 bis 0,30	0,10 bis 0,20	0,02 bis 0,05
Anschaffungspreis [Fr.]	5000	16000	23000	50000
Abschreibungsdauer [Jahre]	10	10	10	10
Fixe Kosten ¹ [Fr./Jahr]	615	1968	2829	6150
Reparaturen [Fr./Jahr]	150	480	920	2000
Abonnement Korrektursignal [Fr./Jahr]	0	0	1500	0
Gesamtkosten [Fr./Jahr]	765	2448	5249	8150

¹ Fixe Kosten: Abschreibung 10,0%, mittlerer Zins 2,1%, Feuerversicherung 0,2%

temauslastung ist hier also entsprechend höher.

Im Getreidebau werden durch die geringere Überlappung der Arbeitsbreiten zusätzlich Saatgut, Dünger und Pflanzenschutzmittel eingespart.

Abhängig davon, ob der Weizen intensiv oder extensiv geführt wird, sind diese unterschiedlich hoch (Abb 13). Bei einer geringeren Überlappung von 1,7% (entsprechend einer Arbeitsbreite von vier Metern und einem Parallelführungssystem mit einer Genauigkeit von +/- 0,15 m – vgl. Abb. 11) sind in extensiv geführtem Winterweizen Einsparungen von bis zu Fr. 10.– pro ha und Jahr zu realisieren, in intensiv geführtem bis zu Fr. 12.– pro ha und Jahr. 20 Franken und mehr lassen sich nur bei grossen Ar-

beitsbreiten und hohen Lenkgenauigkeiten erreichen.

Zusammen mit der Verringerung der Traktorstunden lassen sich im Getreidebau also Einsparungen in der Höhe von zirka Fr. 11.50 bis 13.50 pro ha und Jahr realisieren.

Notwendige Auslastung für Kostengleichheit

In Abhängigkeit der Kosteneinsparung pro Hektar lässt sich die notwendige Flächenauslastung für den Einsatz eines Lenksystems bei Kostengleichheit bestimmen (Abb. 14). Kostengleichheit bedeutet, dass die Jahreskosten für das Lenksystem durch die Einsparungen aufgewogen werden. Eine einfache manuelle Parallelfahrhilfe ohne

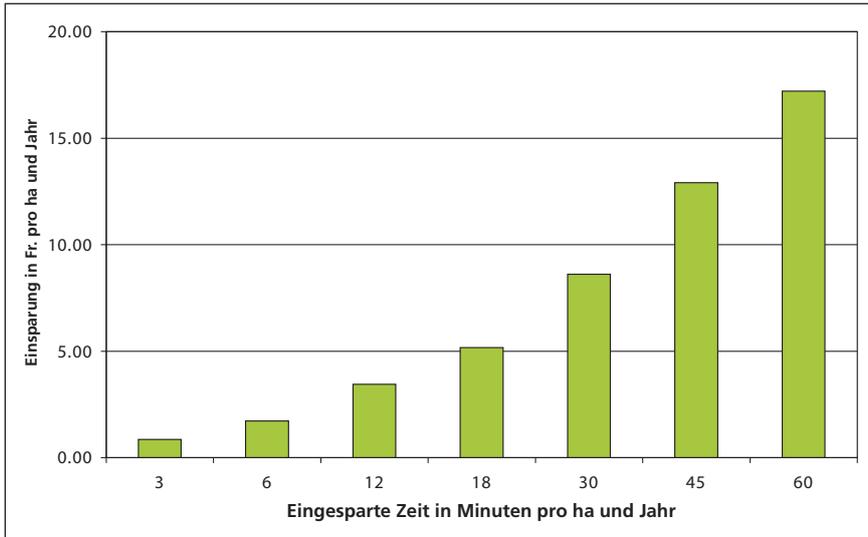


Abb. 12: Einsparung an Traktorkosten pro ha und Jahr in Abhängigkeit der Zeiteinsparung pro ha und Jahr (Mischkalkulation mit zwei Traktoren 50 und 85kW, Kosten für Treibstoff und Reparaturen).

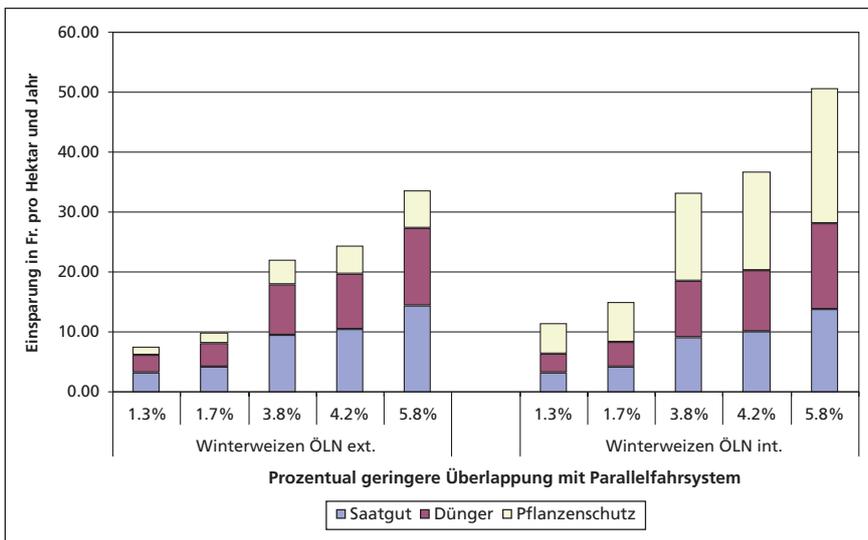


Abb. 13: Kosteneinsparung für Saatgut, Dünger und Pflanzenschutz durch geringere Überlappung mit dem Parallelfahrssystem in Winterweizen ÖLN ext. und Winterweizen ÖLN int. Erreichbare Werte für Überlappung siehe Abb. 11.

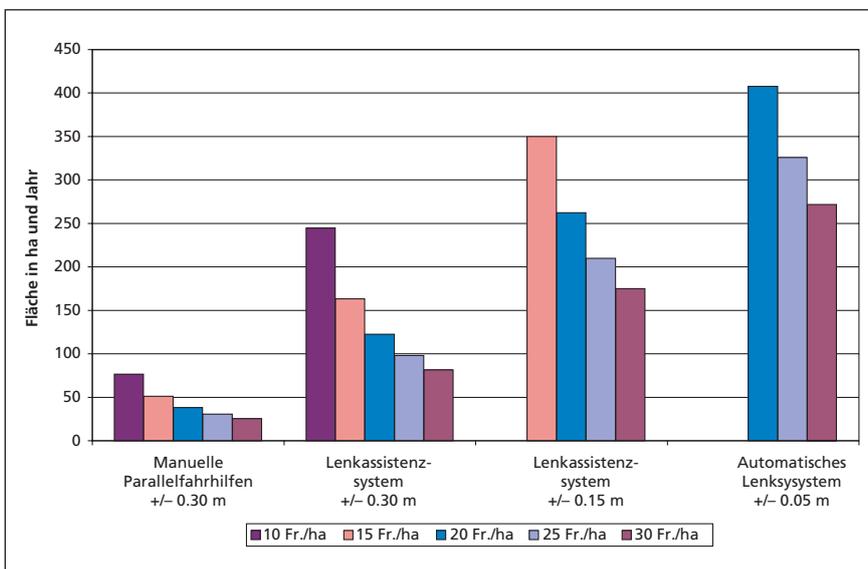


Abb. 14: Notwendige Flächenauslastung für Kostengleichheit in Abhängigkeit der Kosteneinsparung pro ha und Jahr für verschiedene Parallelfahrssysteme. Lesebeispiel: Ein Lenkassistentensystem mit einer Genauigkeit von +/- 0,15m lässt sich bei einer Einsparung von Fr. 15.- pro ha und Jahr ab 350 ha Auslastung pro Jahr kostendeckend einsetzen.

Bei Genauigkeit +/- 0,15 m ist der Wert für Fr. 10.-/ha ausgeblendet, bei +/- 0,05m die Werte für 10 und 15 Franken, da die notwendige Flächenauslastung bereits bei über 450 ha pro Jahr liegt.

automatische Lenkkorrektur, die sich gut bei mittleren bis grossen Arbeitsbreiten im Grünland einsetzen lässt und Kosten in Höhe von knapp Fr. 10.– pro ha und Jahr einspart, rechnet sich ab einer Fläche von knapp 100ha. Dazu muss das System aber traktorübergreifend bei allen Arbeitsgängen eingesetzt werden, bei denen die ganze Fläche bearbeitet wird (zum Beispiel Düngen und Schwaden, nicht aber beim Laden).

Ein Lenkassistenzsystem mit einer Genauigkeit von $\pm 0,15$ m, mit dem sich im Getreidebau knapp Fr. 15.– pro ha und Jahr einsparen lassen, muss eine Flächenauslastung von 350 ha haben.

Schlussfolgerungen

Parallelfahrssysteme gibt es in verschiedenen Ausführungen für unterschiedliche Einsatzzwecke. Bevor man sich für ein System entscheidet, müssen die individuellen betrieblichen Anforderungen klar definiert werden.

Um mit den in der Schweiz wohl am häufigsten verwendeten Arbeitsbreiten von bis zu 3 m, maximal 4 m, genauer zu fahren als von Hand, braucht es Parallelfahrssysteme mit hoher Genauigkeit.

Durch zusätzliche Sensoren wie Ultraschall, Taster und Kameras erweitert sich der Anwendungsbereich der Systeme, und sie können besser ausgelastet werden.

Mit den Parallelfahrssystemen werden Hilfsstoffe und variable Maschinenkosten eingespart. Demgegenüber stehen die Kosten für das System. Diese werden durch den Minderbedarf an Hilfsstoffen und variablen Maschinenkosten nur gedeckt, wenn der Einsatz auf grossen Flächen erfolgt und die Kosteneinsparungen somit markant sind. Am ehesten trifft dies bei intensiv geführten Getreidebeständen zu, die mit Maschinen grosser Arbeitsbreite bearbeitet werden. Prinzipiell ist für einen kostendeckenden Einsatz eine hohe bis sehr hohe Flächenauslastung notwendig.

Zusätzlich sollte die frei werdende Arbeitszeit anderweitig gewinnbringend eingesetzt bzw. zuteilbare Lohnkosten gesenkt werden können. Die teuren Parallelfahrssysteme sind zum Beispiel im Gemüsebau interessant, wenn die zweite Arbeitskraft zum Lenken des Hackgeräts eingespart oder beim Anlegen von geraden Reihen auf eine aufwendige Fahrzeugführung mit Laser verzichtet werden kann.

Der Ergonomie- und Komfortaspekt eines Parallelfahrssystems vor allem an langen Arbeitstagen ist nicht zu unterschätzen, kann ökonomisch aber nur schwer bewertet werden. Nach der durchgeführten Praxisumfrage erwarten Landwirte und Lohnunternehmer durch eine Aufrüstung der Traktoren mit elektronischen Komponenten im Moment am ehesten einen Komfortzuwachs durch eine Entlastung des Fahrers, weniger wirtschaftliche Vorteile. Damit kann ein Parallelfahrssystem vielleicht ähnlich wie die Ausstattungselemente Klimaanlage, elektronische Hubwerksregelung, stufenloses Getriebe oder Vorgewendemanagement eingestuft werden, die mit der Zeit zur Standardausrüstung in grösseren Traktoren werden.

Literatur

Ammann H., 2005. Maschinenkosten 2006; FAT-Bericht Nr. 643.

Döll H. et al., 2005. Die unsichtbare Spur; Neue Landwirtschaft 2/2005.

Ehrl M., 2006. Schlag für Schlag – immer auf dem optimalen Kurs; Eilbote 5/2006.

Holpp M., 2005. Automatisches Lenksystem für den Obstbau; Schweizer Landtechnik 11/2005.

Keller J., 2005. Auto-Guidance-System – Effiziente Flächenbearbeitung, Dieserverbrauchsoptimierung, Steigerung der Wirtschaftlichkeit; Landtechnik für Profis 2005, VDI-Verlag.

Kloepfer F., 2005. Parallelfahreinrichtungen und ihre ökonomische Bewertung; KTBL.

Moitzi G. et al., 2006. GPS kontra Mensch; Der fortschrittliche Landwirt 5/2006.

Noak P.O., 2004. GPS gestützte automatische Lenksysteme; Landtechnik 5/2004.

Noak P.O., 2005. 16 Parallelfahrssysteme im Überblick; DLZ 2/2005.

Schick M. et al., 2002. Arbeitswirtschaftliche Kennzahlen zur Raufutterernte. Zeitbedarf und Verfahrensleistungen für Grassilage- und Heuernte; FAT-Bericht 588.

Schick M. et al., 2003. Arbeitswirtschaftliche Kennzahlen zum Getreideanbau. Von der Bodenbearbeitung bis zum Management; FAT-Bericht 604.

LBL, 2005. Deckungsbeiträge – Ausgabe 2005.

Weltzien C., 2003. GPS-Empfänger-Vergleich; DLG-Prüfbericht 5148 F.

Impressum

Herausgeber: Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART,
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Die ART-Berichte erscheinen in rund 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement
Fr. 60.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: ART, Bibliothek,
CH-8356 Ettenhausen. Telefon +41 (0)52 368 31 31, Fax +41 (0)52 365 11 90,
doku@art.admin.ch, <http://www.art.admin.ch>

Die ART-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports ART» erhältlich.
ISSN 1661-7568.

Die ART-Berichte sind im Volltext im Internet (www.art.admin.ch)