

Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna



Department für Nachhaltige Agrarsysteme
Institut für Landtechnik



Untersuchungen zum Nutzen und zu Genauigkeiten von GPS-gestützten Parallelfahrssystemen (Lenkhilfe, Lenkas- sistent und Lenkautomat) bei Traktoren

Diplomarbeit

an der Universität für Bodenkultur

vorgelegt von
Georg Landerl

betreut und begutachtet von
Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Gerhard Moitzi
O.Univ.Prof. Dr. Dr. habil. Josef Christian Walter Boxberger

Wien, 29.9.2009

Kurzfassung:

GPS - gestützte Parallelfahrssysteme (Lenkhilfe, Lenkassistenten, Lenkautomat) bei Traktoren werden in der landwirtschaftlichen Praxis aus Gründen des verbesserten Komforts, der Betriebsmittel- und Arbeitszeiteinsparung vermehrt eingesetzt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde anhand von zwei Versuchen im Großraum Enns die Arbeitsgenauigkeit, Betriebsmittel- und Arbeitszeiteinsparung einer GPS-Lenkhilfe, eines GPS-Lenkassistenten und eines GPS-Lenkautomaten untersucht. Der erste Versuch wurde mit einem Allradtraktor (261 kW) mit GPS-Lenkautomaten der Marke John Deere und einer 5 m breiten Kurzscheibenegge auf drei jeweils 3,186 ha großen Vergleichsparzellen vollzogen. Auf diesen Flächen wurde einmal ohne GPS, einmal mit der GPS-Lenkhilfe und einmal mit dem GPS-Lenkautomaten gearbeitet. Die Arbeitszeiterparnis lag mit der GPS-Lenkhilfe bei 13,4 % und mit dem GPS-Lenkautomaten bei 8,5 %, beim Kraftstoffverbrauch lag die Ersparnis bei 9,8 % bei der GPS-Lenkhilfe und bei 9 % beim GPS-Lenkautomaten. Der prozentuale Überlappungsgrad bei einem 5 m breiten Arbeitsgerät lag beim Fahren ohne GPS bei 6 %, durch die Lenkunterstützungen verringerte sich dieser Wert bei der GPS-Lenkhilfe auf 1,5 % und beim GPS-Lenkautomaten auf 1,3 %.

Der zweite Versuch wurde mit einem Allradtraktor (90 kW) und einem GPS-Lenkassistenten der Firma John Deere (AutoTrac Universal) und mit zwei unterschiedlichen Anbaugeräten (Grubber 3 m und Pneumatischer Düngerstreuer 15 m) durchgeführt. Die Versuchsdurchführung glich mit drei Parzellen pro Arbeitsgerät dem ersten Versuch. Die gemessenen Parameter (Kraftstoffverbrauch, Fahrgeschwindigkeit, Überlappungsgrad) dienten als Basis für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung einer GPS-Lenkhilfe bzw. eines GPS-Lenkassistenten, welche für einen realen landwirtschaftlichen Marktfruchtbetrieb durchgeführt wurde. Die berechnete Mindestbetriebsfläche beträgt bei den durchschnittlich getätigten Überfahrten von 3,78 pro Jahr für die GPS-Lenkhilfe 70 ha und für den GPS-Lenkassistenten 268 ha.

Abstract:

GPS – supported precision guidance systems (steering guidance/ assisted steering system/ automatic steering system) on tractors are increasingly utilized in agricultural practice for reasons of improved comfort, savings in resources and working time. The aim of this study was to examine the working precision, savings in resources and working time of GPS-steering guidance/ GPS-assisted steering system/ GPS-automatic steering system with two trials. The study was conducted in the Enns area in Upper Austria with a GPS guided precision system of the brand John Deere (Parallel Tracking/ AutoTrac Universal/ AutoTrac). The first trial was conducted with a Tractor (261 kW) equipped with a GPS-automatic steering system and a 5 meter wide compact disc harrow on three plots of 3,186 hectares size for comparison. The plots were harrowed once without GPS, once with GPS-steering guidance and once with GPS-automatic steering system. The working time reduction was 13,4 % with GPS-steering guidance and 8,5 % with GPS-automatic steering system. The reduction in fuel consumption was 9,8 % with GPS-steering guidance and 9 % with GPS-automatic steering system. The overlap with a 5 meter wide device was 6 % without GPS, 1,5 % with GPS-steering guidance and 1,3 % with GPS-automatic steering system.

The second trial was conducted with Tractor (90 kW) equipped with GPS-assisted steering system of the brand John Deere (AutoTrac Universal) and two different devices (cultivator 3 meter and pneumatic fertilizer spreader 15 meter) The trial design with three plots per device was identical with the first trial. The measured parameters (fuel consumption, speed, overlap) served as basis for an efficiency calculation of a GPS-steering guidance and a GPS-assisted steering system, conducted for a plant cultivation farm with an average number of 3,78 field passes per year. The minimum acreage size is 70 hectares for GPS-steering guidance and 268 hectares for GPS-assisted steering system.

Danksagung

Im Rahmen der Durchführung dieser Diplomarbeit wurde ich von zahlreichen Personen unterstützt, bei denen ich mich recht herzlich bedanken möchte.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir dieses Studium ermöglicht haben. Ein großes Dankeschön gebührt auch meiner Freundin Elisabeth für die ermutigenden Stunden während des Studiums.

Ganz besonders danke ich Herrn Dr. Gerhard Moitzi und Herrn o. Univ. Prof. Dr. Dr. habil. Josef Boxberger für die Unterstützung beim Verfassen der Arbeit und für die vielen dafür benötigten Gespräche.

Weiters möchte ich mich beim Lagerhaus Technik Center Korneuburg, bei den Betrieben Hiesmair, Dorninger und Zittmayr und bei allen Personen bedanken, die mich bei den beiden Versuchsdurchführungen unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	10
1 Einleitung	11
2 Stand des Wissens	13
2.1 Funktionsweise von GPS	13
2.1.1 GPS Genauigkeiten	14
2.1.2 GPS – Korrekturdienste	15
2.2 Lenkunterstützungen	16
2.2.1 Spurführungssysteme ohne GPS	16
2.2.2 Spurführungssysteme mit GPS (Parallelfahrssysteme)	18
2.2.2.1 GPS-Lenkhilfe	18
2.2.2.2 GPS-Lenkassistent	20
2.2.2.3 GPS-Lenkautomat	20
2.2.2.4 Fahrmodi	21
2.3 Nutzen von Parallelfahrssystemen	24
3 Zielsetzung	25
4 Material und Methode	26
4.1 Versuch im August 2008	26
4.1.1 Arbeitsgeräte (Traktor und Kurzscheibenegge)	26
4.1.2 Messtechnik	30
4.1.2.1 Vorgangsweise - Dieselverbrauchsbestimmung mittels Messbecher	30
4.1.3 Standort	31
4.1.3.1 Versuchsflächen	32
4.1.4 Versuchsdurchführung	32
4.1.5 Übersicht der Versuchsvarianten	34
4.2 Versuch im April 2009	35

4.2.1	Daten zum Versuchsbetrieb.....	35
4.2.2	Standortbedingungen.....	36
4.2.3	Durchschnittliche Feldstrukturen.....	36
4.2.4	Arbeitsvorgänge mit Einsatz der GPS-Lenkhilfe/ des GPS-Lenkassistenten	38
4.2.5	Arbeitsgeräte.....	38
4.2.6	Beschreibung der Versuchspartzen 42	
	4.2.6.1 Versuch mit 3 m Bodenbearbeitungsgerät.....	42
	4.2.6.2 Versuch mit 15 m Anbaugerät.....	43
4.2.7	Messtechnik.....	45
4.2.8	Versuchsdurchführung.....	45
	4.2.8.1 Versuch mit 3 m Bodenbearbeitungsgerät.....	45
	4.2.8.2 Versuch mit 15 m Anbaugerät.....	46
4.2.9	Übersicht der Versuchsvarianten.....	47
	• Übersicht 3 m Versuch.....	47
	• Übersicht 15 m Versuch.....	48
5	Ergebnisse und Diskussion	49
5.1	Versuch im August 2008.....	49
5.1.1	Geschwindigkeit.....	49
5.1.2	Feldarbeitszeit	50
5.1.3	Flächenleistung.....	52
5.1.4	Veränderung der Feldarbeitszeit in Abhängigkeit von der Feldstücksform.....	53
5.1.5	Dieserverbrauch.....	55
	5.1.5.1 Dieserverbrauch laut Traktordisplay.....	55
	5.1.5.2 Vergleich angezeigter und gemessener Dieserverbrauch.....	57
5.1.6	Systemgenauigkeit.....	58
	5.1.6.1 Abweichung von der Ideallinie	58
	5.1.6.2 Überlappungsgrad.....	61
5.1.7	Ökonomische Bewertung.....	63
	5.1.7.1 Einsparung an Saatgut.....	63
	5.1.7.2 Einsparung an Arbeitserledigungskosten.....	65
5.2	Versuch im April 2009.....	68
5.2.1	Betriebsbezogene Wirtschaftlichkeitsrechnung – Modellierung.....	71
	5.2.1.1 Glyphosatanwendung im Frühjahr nach Zwischenfrucht	71
	5.2.1.2 Ausbringung von Mineraldünger	73
	5.2.1.3 Aussaat der Zwischenfrucht.....	75
	5.2.1.4 Bodenbearbeitung.....	77
	5.2.1.5 Übersicht über das Einsparungspotential von GPS-Lenkhilfe und GPS-	

	Lenkassistenten ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem.....	80
	5.2.1.6 Mindestbetriebs- bzw. Mindesteinsatzfläche.....	82
6	Schlussfolgerungen	85
7	Weiterführende Arbeiten	87
8	Zusammenfassung	88
9	Literaturverzeichnis	90
10	Anhang	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modus Gerade Spur [John Deere, 2007].....	22
Abbildung 2: Modus Kontur [John Deere, 2007]	22
Abbildung 3: Zusatzausstattungen für ein integriertes Lenksystem, [John Deere, 2008].....	27
Abbildung 4: SF 1 Empfänger, GreenStar Display 2600 Touchscreen, [John Deere, 2008]..	28
Abbildung 5: John Deere 8530 (261 KW) mit Vogel & Noot Kurzscheibenegge (5 m technische Arbeitsbreite).....	29
Abbildung 6: Exaktes Auftanken nach einer bearbeiteten Parzelle	31
Abbildung 7: Drei unterschiedliche Fahrvarianten	33
Abbildung 8: AutoTrac Universal, (Lenkassistent, John Deere)	39
Abbildung 9: Versuch mit 3 m Grubber.....	40
Abbildung 10: Versuch mit 15 m Düngerstreuer	41
Abbildung 11: Versuchsparzellen	44
Abbildung 12: Arbeitsweise unter Zuhilfenahme von GPS-Lenkhilfe/GPS-Lenkassistent	46
Abbildung 13: Feldarbeitszeit für eine Parzelle (3,186 ha)	50
Abbildung 14:Dauer der einzelnen Wendevorgänge	51
Abbildung 15: Flächenleistung pro Stunde	52
Abbildung 16: Modell für ein 10 ha Feld (500 m Länge x 200 m Breite), ohne Vorgewende	54
Abbildung 17: Modell für ein 10 ha Feld (200 m Länge x 500 m Breite), ohne Vorgewende	54
Abbildung 18: Dieserverbrauch pro Versuchsparzelle (3,186 ha), laut Traktordisplay.....	56
Abbildung 19: Vergleich tatsächlicher und angezeigter Dieserverbrauch	57
Abbildung 20: Abweichung von der Ideallinie	59
Abbildung 21: Partielle Streifenbildung bei der Bearbeitung mit der GPS - Lenkhilfe	60
Abbildung 22: Überfahrten pro ha in Abhängigkeit von der effektiven Arbeitsbreite bei 236 m Schlaglänge (Technische Arbeitsbreite 5 m)	62
Abbildung 23: Saatgutmenge und –kosten pro ha Zwischenfruchtaussaat.....	64
Abbildung 24: Arbeitserledigungskosten bei der Zwischenfruchtaussaat auf 1 ha (in Bezug auf 236 m Schlaglänge und ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für das Lenksystem)	65
Abbildung 25: Feldarbeitszeit für eine Parzelle (184 m x 81 m; 1,49 ha)	68
Abbildung 26: Effektive Arbeitsbreite 15 m Gerät	69

Abbildung 27: Effektive Arbeitsbreite 3 m Gerät	69
Abbildung 28: Gesamtkosten für die Glyphosatanwendung im Frühjahr (165 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)	73
Abbildung 29: Düngung im Frühjahr vor Zuckerrüben- und Maisaussaat (131 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)	74
Abbildung 30: Düngung im Sommer nach der Stoppelbearbeitung (138 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)	75
Abbildung 31: Gesamtkosten und mögliche Ersparnis bei der Zwischenfruchtaussaat mit einem Feinsämereienstreuer (138 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)	76
Abbildung 32: Gesamtkosten und mögliche Ersparnis bei der Bodenbearbeitung mit dem Grubber im Frühjahr (206 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)	78
Abbildung 33: Mögliche Ersparnis bei der Bodenbearbeitung mit dem Grubber bei der Stoppelbearbeitung (138 ha) bzw. nach Sojabohne und Zuckerrübe (115 ha) und ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem.....	78
Abbildung 34: Gesamtkosten und mögliche Ersparnis bei der Saatbeetbereitung für Mais und Zuckerrübe mit der Kreiselegge (131 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem).....	79
Abbildung 35: Gesamtkosten und mögliche Ersparnis beim Einarbeiten der Zwischenfrucht mit der Kurzscheibenegge (138 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)	80
Abbildung 36: Verteilung der Gesamtersparnis bei GPS-Lenkhilfe (Gesamteinsatzfläche 1300 ha).....	81
Abbildung 37: Verteilung der Gesamtersparnis bei GPS-Lenkassistenten (Gesamteinsatzfläche 1300 ha)	81
Abbildung 38: Kosten von Spuranzeigen und Lenksystemen, Boehrnsen 2009	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: GPS – Korrekturdienste im Vergleich, Boehrnsen 2009	16
Tabelle 2: Technische Daten des Versuchstraktors, John Deere 8530	26
Tabelle 3: Genauigkeitsstufen AMS Systeme.....	28
Tabelle 4: Mittlere Fahrgeschwindigkeit und mittlerer Dieserverbrauch bei 5 Feldarbeitsgängen.....	42
Tabelle 5: Werte der beschreibenden Statistik bezüglich Dieserverbrauch	55
Tabelle 6: Bearbeitungsbreite, Überlappungen	61
Tabelle 7: Gesamtkosten bei der Zwischenfruchtaussaat auf 1 ha (in Bezug auf eine Schlaglänge von 236 m und ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für das Lenksystem)	66
Tabelle 8: Kostenersparnis und Mindesteinsatzfläche beim Zwischenfruchtanbau bei Verwendung von Lenkhilfe und Lenkautomaten.....	67
Tabelle 9: Kennwerte für die Glyphosatanwendung.....	71
Tabelle 10: Mögliche Ersparnis bei der Glyphosatanwendung auf einem Feldstück (3,62 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)	72
Tabelle 11: Kennwerte für die Ausbringung von Handelsdünger.....	74
Tabelle 12: Kennwerte für die Bodenbearbeitung	77
Tabelle 13: Ergebnisse der betriebsbezogenen Wirtschaftlichkeitsrechnung	83

1 Einleitung

Der technische Fortschritt ist, wie auch in anderen Wirtschaftsbereichen, in der Landwirtschaft ein wichtiges Element zur Effizienzsteigerung in der Produktion. Vor allem im Bereich der Tierhaltung gab es schon sehr früh den Einsatz von computergesteuerten Maschinen. Fütterungscomputer bei Kraftfutterautomaten waren wohl die erste Errungenschaft, wo der Computereinsatz die landwirtschaftliche Arbeit erleichtern sollte. Die Steuerung von Geräten unter freiem Himmel und an unterschiedlichen Positionen im Raum stellte allerdings anfangs eine große Schwierigkeit dar.

Innovationen in der Landtechnik zeichneten sich bisher meist durch eine immer größere Schlagkraft der Maschinen aus. Durch die größer werdenden Traktoren, Arbeitsbreiten und Arbeitsgeschwindigkeiten wird ein Arbeiten, ohne Überlappungen und Fehlstellen zu hinterlassen, aber immer schwieriger [SCHULTEN-BAUMER ET AL, 2009].

In Zeiten hoher Betriebsmittelpreise wie Diesel, Dünger, Pflanzenschutzmittel und Saatgut, wird ein genaues Anschlussfahren für viele Landwirte zunehmend interessanter.

Man befasste sich schon seit langer Zeit mit automatischen Spurführungssystemen und einfache Entwicklungen, wie zum Beispiel die Lenkradfeststellung „Lenkfix“ aus den 50er Jahren von Ernst Weichel, sollten helfen, zumindest im Kriechgang ohne Fahrer geradeaus fahren zu können, um nebenbei diverse Ladetätigkeiten durchführen zu können (Heu, Stroh). Auch in Großbritannien, Deutschland und den UDSSR gab es konsequente Entwicklungen in Richtung Lenkautomaten. So wurde 1961 in Marktoberdorf der erste über Funk gesteuerte Traktor vorgestellt [MOITZI, 2006].

Altbekannte Hilfsmittel wie Spurreißer, Schaummarkierungsgeräte oder selbst ausgemessene und gesetzte Fluchtstangen erleichtern das gerade Fahren zwar, allerdings sind diese Möglichkeiten visueller Hilfsmittel meist begrenzt. Schaummarkierungen sind bei Wind nicht ausreichend stabil und die Kontur des Spurreißers kann beim oft grobscholligen Saatbeet nur schwer fehlerfrei identifiziert werden.

Für Reihenkulturen, wie Mais und Zuckerrüben, sind Spurführungssysteme schon länger am Markt. Diese tasten sich entlang der Reihen, um in der Spur zu bleiben (z.B.: Holmer Zuckerrübenvollernter). Auch für die Getreideernte gibt es schon seit den 90er Jahren Lenkunterstützungen, die mittels Ultraschallsensoren oder Kameras arbeiten (z.B.: Laser Pilot von Claas).

Einen weiteren Meilenstein in der Entlastung der Lenkarbeit stellt die Nutzung von GPS (Global Positioning System) in der Landtechnik dar. Der Einsatz der Satellitenortung ermöglicht es, zu jeder Zeit und an jedem Ort die genaue Position zu bestimmen. Diese Positionsbestimmung beruht auf einer militärischen Entwicklung aus dem Jahre 1979 und war daher ursprünglich auch für militärische Zwecke gedacht. Die Satellitenortung wurde später zunächst in der Automobilindustrie zur Navigation genutzt und bietet heute in der Landwirtschaft für das Parallelfahren neue Möglichkeiten, indem die Position und das Ziel im Raum bestimmt und die Lenkarbeit unterstützt werden kann. Anfänglich stellte allerdings die Arbeitsgenauigkeit bei der Spurführung Probleme dar, sie konnte aber aufgrund des technischen Fortschrittes von Jahr zu Jahr verbessert werden.

Die GPS-Technik findet in der Landwirtschaft allerdings nicht nur bei der Spurführung ihre Anwendung, sondern auch bei der Ertragskartierung auf Erntemaschinen und bei der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung.

2 Stand des Wissens

2.1 Funktionsweise von GPS

Die Satellitennavigation beruht auf einer militärischen Entwicklung und war ursprünglich für die Kriegsführung gedacht. Die ersten Satelliten wurden 1979 ins All geschickt, 1993 befanden sich 24 Satelliten im Einsatz, die volle Funktionstüchtigkeit wurde 1995 erreicht. Um ursprünglich eine genaue Positionsbestimmung für nicht befugte Nutzer auszuschließen, wurde die Genauigkeit künstlich verschlechtert (> 30 m). Im Mai 2000 wurde die künstliche Verschlechterung abgeschaltet, um die volle Funktionsfähigkeit auch im außermilitärischen Bereich zu ermöglichen [BOMBIEN, 2005].

Das Satellitenortungssystem „Global Positioning System GPS NAVSTAR“ wurde vom amerikanischen Verteidigungssystem entwickelt und besteht aus einem Raum-, einem Kontroll- und einem Nutzersegment.

Das Raumsegment besteht aus 24 geostationären Satelliten, die die Erdoberfläche in knapp 20.200 km Höhe umkreisen. Jeweils vier Satelliten kreisen in sechs Bahnen, welche um 60° versetzt angeordnet sind. Die Satelliten bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 11.000 km/h auf ihrer Umlaufbahn und benötigen für einen Umlauf zwölf Stunden. Die Satelliten sind so angeordnet, dass von jedem Punkt der Erde aus mindestens fünf, aber maximal elf sichtbar sein können [THALLER, 1999].

Das Kontrollsegment besteht aus fünf Kontrollstationen der Erde, deren Position genau bekannt ist. Diese kontrollieren und steuern die vom Satelliten ausgesendeten Daten auf ihre Präzision und Richtigkeit. Bei Fehlermeldungen werden Korrekturdaten zurückgesendet.

Die dritte Komponente ist das Nutzersegment – der GPS Empfänger. Dieser errechnet die Informationen wie Position, Höhe und Geschwindigkeit [BOMBIEN, 2005].

Die Satelliten sind mit hochgenauen Atomuhren ausgestattet und senden kontinuierlich Daten mit der Absende-Uhrzeit, ihrer Position und Systemdaten zur Erde (Trägerphase). Aus der Zeitdiffe-

renz zwischen dem Absenden und dem Empfangen der Daten errechnen die Empfänger die Entfernung zu den einzelnen Satelliten. Daraus kann dann die Position der Empfängerantenne errechnet werden. Mit dieser Vorgangsweise sind Genauigkeiten mit Fehlern von etwa +/- 15-20 m möglich [DEMMELE, 2006].

2.1.1 GPS Genauigkeiten

GPS Satelliten senden auf zwei unterschiedlichen Frequenzen (L1 und L2) ihre Signale aus. In Verbindung mit Parallelfahrssystemen werden zwei Genauigkeitsmaße unterschieden.

Absolute Genauigkeit

Absolut gibt in diesem Zusammenhang an, dass die Ergebnisse der Positionsbestimmung reproduzierbar sind. Das bedeutet, dass eine bereits ausgemessene Position zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal punktgenau vermessen werden kann. Die absolute Genauigkeit lässt sich nur mit wiederholten Messungen verbessern, die erst im Nachhinein (Post-processing) ausgewertet werden können. Diese Verfahren zur Verbesserung der Ortungsqualität sind somit nicht für Parallelfahrssysteme geeignet.

Relative Genauigkeit

Die relative Genauigkeit wird auch Spur-zu-Spur Genauigkeit genannt. Diese Genauigkeit gibt die Spurabweichung im Feld in einem gewissen Intervall an. Wird die Arbeit für einige Zeit unterbrochen, kann es vorkommen, dass durch die Eigenrotation der Erde die vom Lenksystem ermittelte Fahrspur von der zuletzt gefahrenen abweicht. Diese Genauigkeit kann nur durch die Verwendung einer RTK-Station verbessert werden [NIEMANN ET AL, 2007].

Für die Arbeit mit Parallelfahrssystemen ist lediglich die relative Genauigkeit relevant, weil die absolute Genauigkeit nur mit wiederholten Messungen verbessert und erst im Nachhinein am Büro-PC ausgewertet werden kann.

2.1.2 GPS – Korrekturdienste

Mit GPS Signalfehlern werden die Abweichungen von der tatsächlichen Laufzeit zur theoretischen Laufzeit des Signals vom Satelliten zum Empfänger bezeichnet. Die Fehlerquellen, wie Mehrwegeeffekt, Reflexionen an Gebäuden, Uhrzeitfehler, atmosphärische Störungen und leichte Abweichungen der Satellitenumlaufbahn bewirken einen unterschiedlichen Einfluss auf die Laufzeit.

Um die GPS Signalfehler zu kompensieren, sind Korrekturdienste notwendig. Die Positionsermittlung mit Korrekturdienst wird als Differentielles GPS, das DGPS bezeichnet [NIEMANN ET AL, 2007].

Eine Korrekturstation, die sich auf einem vermessenen Punkt befindet, berechnet die Fehler bzw. Abweichungen bei der Entfernungsmessung zu den einzelnen Satelliten bzw. Abänderungen der Trägerphase. Diese Korrekturinformationen werden dann zu den mobilen DGPS-Empfängern auf den Maschinen übermittelt. Es gibt allerdings unterschiedliche Korrekturdienste, die sich in den Kosten und der erreichbaren Genauigkeit unterscheiden. Mit der Genauigkeit der DGPS-Empfänger steigen auch die Preise.

In Österreich wird oft der kostenlose, europäische Ein-Frequenz Empfänger (Korrekturdienst EGNOS) genutzt. Der Zwei-Frequenz Empfänger (Korrekturdienst Omnistar) arbeitet mit Wide-Area Referenznetzwerken um einiges genauer, jedoch ist eine jährliche Lizenz erforderlich. Den höchsten Preis haben die hochgenauen Real-Time Kinematik (RTK) GPS-Systeme, die eine eigene Referenzstation zur Verfügung haben. Mit RTK-DGPS-Systemen ist die absolute Positionsbestimmung im fahrenden Einsatz mit Fehlern im Bereich weniger Zentimeter möglich [DEM-MEL, 2006].

Die relative Genauigkeit bei Parallelfahrssystemen und automatischen Lenksystemen von Ein-Frequenz Empfängern liegt bei 10 bis 30 cm, bei Zwei-Frequenz Empfängern bei 5 bis 10 cm (z.B.: John Deere Signal Starfire SF 1 oder SF 2). Verwendet man eine eigene Referenzstation (RTK), so liegt dieser Wert bei unter 2 cm. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die am häufigsten verwendeten Korrekturdienste mit den einzelnen Genauigkeiten und jährlichen Kosten (BOEHRNSEN, 2009).

Tabelle 1: GPS – Korrekturdienste im Vergleich, Boehrnsen 2009

Dienste	Übertragung	Spur- Genauigkeit	Lizenzkosten
<i>Egnos</i>	Satellit	+/- 15 bis 30 cm	kostenlos
<i>Omnistar VBS</i>	Satellit	+/- 20 bis 30 cm	795 €/ Jahr
<i>Omnistar HP</i>	Satellit	+/- 5 bis 10 cm	1195 €/ Jahr
<i>John Deere SF 1</i>	Satellit	+/- 20 bis 30 cm	kostenlos
<i>John Deere SF 2</i>	Satellit	+/- 5 bis 10 cm	600 €/ Jahr
<i>Beacon</i>	Mittelwelle	+/- 20 bis 30 cm	kostenlos
<i>Ascot PED</i>	GSM	+/- 2 cm	2200 €/ Jahr
<i>RTK-Basisstation</i>	Funk / GSM	+/- 2 bis 5 cm	kostenlos/ 20 € Mon.

Um unabhängiger von den amerikanischen Satellitensystemen zu werden, hat die EU 1999 damit begonnen, ein eigenes System zu entwickeln. Neben dem amerikanischen NAVSTAR- und dem russischen GLONASS-System, soll bis 2013 das europäische System GALILEO mit 30 Satelliten einsatzbereit sein [BOMBIEN, 2005].

2.2 Lenkunterstützungen

Lenkunterstützungen lassen sich in Spurführungssysteme ohne GPS und Spurführungssysteme mit GPS (Parallelfahrssysteme) einteilen.

2.2.1 Spurführungssysteme ohne GPS

Spurführungssysteme ohne GPS sind Lenkautomaten, die den Traktor bzw. die Erntemaschine entlang von Pflanzenreihen, Bestandeskanten, Erddämmen oder Furchen führen. Die Erkennung der Leitlinien erfolgt über Kamera, Ultraschallsensor, Tastbügel oder Laser. Die Messergebnisse werden vom Navigationsrechner in Lenkbewegungen umgesetzt. Die Handhabung erfolgt ähnlich

wie bei GPS-gestützten Systemen. Die Leitlinien müssen nach dem Wenden der Maschine manuell angesteuert werden, danach übernimmt der Automat die Lenkung.

Der Vorteil an dieser Lösung ohne GPS ist, dass kein Korrektursignal notwendig ist, da keine umgebungsbedingten Störungen die Signalgenauigkeit beeinflussen können. Sie sind auch oft preisgünstiger als GPS-gestützte Systeme.

Spurführungssysteme ohne GPS sind prinzipiell für alle mechanisierten Arbeiten einsetzbar, bei denen greifbare Leitlinien (z.B. Dämme) oder Pflanzenreihen (z.B. Mais, Zuckerrüben) vorhanden sind. Probleme haben derartige Spurführungssysteme vor allem auf stark verunkrauteten Flächen, wo diese Lenksysteme aufgrund der hohen Pflanzenmasse oft nicht mehr zufriedenstellend funktionieren.

Nachfolgend ein kurzer Überblick über die zur Verfügung stehenden Systeme:

- Mechanische Taster:

Mechanische Taster sind vor allem für Kulturen geeignet, die den mechanischen Belastungen eines Tastbügels standhalten. (z.B. Maisreihen, Zuckerrübenreihen). Auch Erddämme (z.B. Kartoffeln) können vom Taster erkannt werden. Mechanische Taster können allerdings auf stark verunkrauteten Flächen oft nicht mehr eingesetzt werden.

- Ultraschallsensoren:

Ultraschallsensoren können ebenfalls Pflanzenreihen oder Erddämme erkennen und die Maschine an diesen entlang führen. Verunkrautung kann die Maschinenführung auch bei dieser Lösung negativ beeinflussen

- Stereokameras:

Durch eine an der Front des Traktors montierte Stereokamera, die aus zwei versetzt angeordneten Kameras besteht, ist eine räumliche Sicht möglich. Diese Kameras können Pflanzenreihen, Bestandeskanten, Erddämme und Fahrgassen erkennen. Auch Nacharbeit ist bei starker Beleuchtung möglich.

- Lasersensoren:

Vor allem Mähdrescher arbeiten mit einem Spurführungssystem, welches mit Hilfe eines Lasers die Kontur der Bestandeskante abtastet (z.B. Laser Pilot, Firma Claas). Bei Lagergetreide oder sehr staubigen Bedingungen ist allerdings die Funktion eingeschränkt [NIEMANN ET AL, 2007].

2.2.2 Spurführungssysteme mit GPS (Parallelfahrssysteme)

Unter dem Begriff „Parallelfahrssysteme“ versteht man ein relativ breites Spektrum an Navigationshilfen, auf Basis der Satellitenortung Global Positioning System NAVSTAR (GPS), von der einfachen Spurführungshilfe bis zur automatischen Lenkung.

Die Funktionsweise der Systeme ist identisch. Ausgehend von den durch Satellitenortung ermittelten Positionsdaten einer ersten Fahrspur werden Parallelfahrspuren in einem frei wählbaren Spurabstand errechnet [DEMMELE, 2006].

2.2.2.1 GPS-Lenkhilfe

GPS-Lenkhilfen zeigen dem Fahrer die Abweichung von der gewünschten Spur über Lichtbalken, Leuchtdioden oder über eine Anzeige in Zentimeter an. Der Fahrer muss wie beim herkömmlichen Fahren die Lenkbewegungen ausführen und das Fahrzeug auf die gewünschte Spur lenken, allerdings wird das Anschlussfahren zur bearbeiteten Fläche erheblich erleichtert.

Bei vielen Anbietern werden auf einem Bildschirm die aktuelle und die nächsten anzustrebenden Spuren angezeigt. Auch die Annäherung an eine Fahrspur und die exakte Einfahrt in die Soll-Spur kann optisch, und eventuell auch akustisch, angezeigt werden [NIEMANN ET AL, 2007].

Die Lichtbalken werden häufig im Frontscheibenbereich, direkt über dem Lenkrad montiert, genauere Anzeigen mit Zentimeterangaben, rechts neben dem Lenkrad. Ob man die erzielbare Genauigkeit der GPS-Lenkhilfe erreicht, hängt wesentlich vom Reaktionsvermögen des Fahrers ab. Um den Lenkvorgaben der Systeme ohne große Abweichungen folgen zu können, bedarf es eini-

ger Übung. Ein routinierter Fahrer fährt hauptsächlich nur noch nach akustischen Signalen und betrachtet die Anzeige nur noch ab und zu aus dem Augenwinkel. Die Lenkbewegungen müssen fein dosiert sein und dürfen nicht ruckartig erfolgen. Wenn man nach einer mehrstündigen Arbeitsunterbrechung zur Soll-Spur zurückkehrt, kann der eigentlich festgelegte Abstand durch die ständige Veränderung der Satellitenposition nicht mehr korrekt sein. In diesem Fall sollte eine neue Ausgangsspur gezogen werden. Einige Systeme bieten aber bereits eine entsprechende Technik, die diesen Fehler korrigieren kann [BOMBIEN, 2005].

Die meisten GPS-Lenkhilfen lassen sich relativ leicht von einem Traktor auf den anderen versetzen. Wichtige Parameter, die bei einem Fahrzeugwechsel auf jeden Fall geändert werden müssen, sind die genaue Position des Empfängers auf dem Fahrzeug und die Breite des Arbeitsgerätes. Besser ausgestattete GPS-Lenkhilfen verlangen eine Verkabelung des Fahrzeuges, womit die Lenkhilfe nur auf diesen Fahrzeugen funktionsgemäß arbeiten kann [NIEMANN ET AL, 2007].

Der Anschaffungspreis für eine GPS-Lenkhilfe beträgt, je nach Anbieter und Können, zwischen 1.200,00 € und 6.000,00 €. Die teureren Systeme arbeiten allerdings genauer und zuverlässiger. Der Haupteinsatzbereich dieser „einfachen“ GPS-Lenkhilfen liegt in der Pflanzenschutzapplikation, der Düngerausbringung und der Bodenbearbeitung [DEMMELE, 2006].

Ein großer Vorteil der GPS-Lenkhilfen ist, dass diese in der Anschaffung im Vergleich zu automatischen GPS-Lenkssystemen bzw. GPS-Lenkassistenten relativ günstig sind. Durch eine GPS-Lenkhilfe können auch enorme Einsparungen im Bereich der Betriebsmittel und des Kraftstoffverbrauchs erzielt werden. Ein routinierter Fahrer kann mit der GPS-Lenkhilfe, im Vergleich zum GPS-Lenkautomaten, mit demselben Genauigkeitssignal die gleiche Arbeitsgenauigkeit erreichen. Ein langer Arbeitstag ist allerdings bei Verwendung eines GPS-Lenkautomaten weniger anstrengend und um ein Vielfaches angenehmer.

2.2.2.2 GPS-Lenkassistent

Sogenannte GPS-Lenkassistenten stellen den Übergang zwischen GPS-Lenkhilfe und automatischen GPS-Lenkssystemen dar. Ein GPS-Lenkassistent übernimmt die Lenkung der Maschine, indem ein elektrischer Motor am Lenkrad bzw. direkt an der Lenkspindel die Lenkbewegung auslöst. Der Vorteil eines GPS-Lenkassistenten liegt darin, dass er relativ leicht von einem Fahrzeug auf ein anderes montiert werden kann – entweder durch Auswechseln des ganzen Lenkrades (vgl. John Deere) oder durch Abmontieren des am Lenkrad anliegenden Stellmotors.

Wie auch bei der GPS-Lenkhilfe müssen beim Einbau des Systems die genaue Position des Empfängers auf dem Fahrzeug und bei den unterschiedlichen Arbeitsgängen die Arbeitsbreite der Geräte eingegeben werden.

Der GPS-Lenkassistent wird aktiviert, wenn man nach dem Wenden des Fahrzeuges die nächste zu bearbeitende Fahrspur ansteuert. Bei genügender Annäherung an die Fahrspur übernimmt der GPS-Lenkassistent die Kontrolle über die Lenkung und navigiert die Maschine entlang der errechneten virtuellen Leitlinie. Der Fahrer kann allerdings jederzeit in die Steuerung eingreifen, indem er das Lenkrad bewegt.

RTK-Genauigkeiten von 1-2 cm wird man mit einem GPS-Lenkassistenten nur schwer erreichen können, da die Fahrzeuge bei diesem System oft nicht mit Lenkwinkel- und Neigungssensoren ausgestattet sind [NIEMANN ET AL, 2007].

Der Preis für einen GPS-Lenkassistenten beträgt je nach Hersteller zwischen 10.000,00 € und 17.000,00 € [DEMMELE, 2006].

2.2.2.3 GPS-Lenkautomat

Automatische GPS-Lenkssysteme werden direkt vom Hersteller im Fahrzeug installiert oder können nachträglich auf Fahrzeuge installiert werden. Bei einem GPS-Lenkautomaten erfolgt der Eingriff zur Fahrzeugsteuerung in die Lenkhydraulik. Radwinkelsensoren und Neigungssensoren unterstützen die Genauigkeit eines GPS-Lenkautomaten, indem sie zusätzliche Informationen zur Spurführung liefern. Automatische GPS-Lenkssysteme werden oft in Kombination mit dem hochgenauen RTK-Signal verwendet. Durch die Genauigkeit von 1-2 cm kann ein GPS-Lenkautomat

mit RTK Signal in allen landwirtschaftlichen Arbeitsbereichen eingesetzt werden, auch wo eine hohe Arbeitsgenauigkeit verlangt wird: bei der Bodenbearbeitung, der Saatbeetbereitung, der Aussaat, dem Hacken und natürlich auch bei der Steuerung von Erntemaschinen [NIEMANN ET AL, 2007].

Der Investitionsbedarf für einen GPS-Lenkautomaten liegt - je nach Hersteller - zwischen 15.000 € und 45.000 € [DEMMELE, 2006].

Einige Firmen bringen neue, erweiterte Technologien auf den Markt. So bietet zum Beispiel die Marke John Deere einen „Vorgewendeautomaten“ (i-Tec-Pro) an. In Kombination mit dem GPS-Lenkautomaten wendet die Maschine am Vorgewende von selbst. Die Bedienungsperson fungiert quasi nur noch als Überwachungsperson.

Auf quer zum Hang zu bearbeitenden Flächen war bei bisherigen GPS-Lenkhilfen und GPS-Lenkautomaten der seitliche Versatz des Arbeitsgerätes ein großes Problem und verschlechterte die Arbeitsgenauigkeit. Das Gerät neigt dazu, nicht direkt hinter dem Traktor nachzulaufen, sondern um einige Zentimeter hangabwärts wegzudriften. Eine Innovation der letzten Jahre ermöglicht, dass ein GPS-Empfänger nicht nur am Traktor positioniert ist, sondern auch auf dem Arbeitsgerät. Das System errechnet die Differenz zwischen Traktor und Arbeitsgerät und steuert somit die Zugmaschine, um diesen Wert versetzt, von der parallelen Soll-Spur.

2.2.2.4 Fahrmodi

Um die Möglichkeiten der Parallelfahrssysteme auszunutzen, kann man aus verschiedenen Fahrmodi auswählen. Unter dem Begriff Fahrmodus versteht man, wie das Feld bearbeitet und wie die Fahrspuren zueinander angeordnet werden.

„A-B – Modus“ bzw. Modus „Gerade Spur“

In diesem Modus setzt der Fahrer einen Punkt A und fährt anschließend zum gewünschten Endpunkt B. Das System erstellt daraufhin eine AB – Linie und parallel dazu die im gewünschten Abstand liegenden nächsten Fahrspuren (vgl. Abbildung 1). In diesem Modus geht das System immer von der zuerst erstellten AB – Linie aus, es werden nur komplett gerade Spuren gezogen.

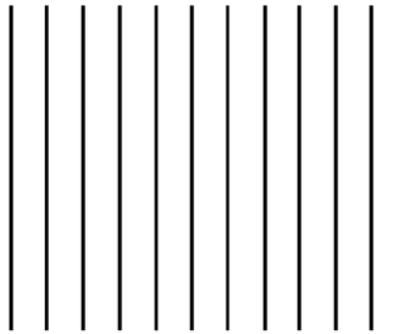


Abbildung 1: Modus Gerade Spur [John Deere, 2007]

„Kontur – Modus“

Weil nicht jedes Feld eine gerade Begrenzung hat, kann entsprechend der Kontur des Feldrandes eine kurvige Linie als Referenzlinie gespeichert werden. Jede Spur wird auf Basis des ursprünglich gefahrenen Durchgangs erstellt, um sicherzustellen, dass Lenkfehler nicht durch das ganze Feld erstellt werden (vgl. Abbildung 2). Allerdings sind die Durchgänge keine identischen Kopien der ursprünglich gefahrenen Spur.

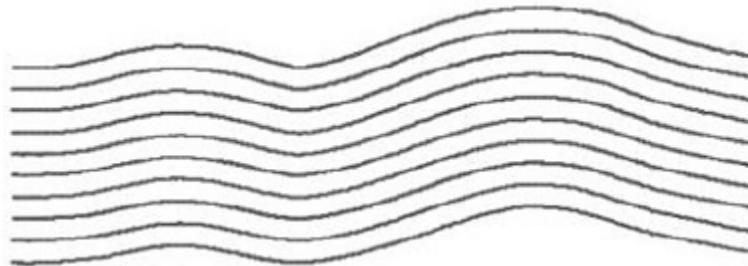


Abbildung 2: Modus Kontur [John Deere, 2007]

Weitere Fahrmodi wären „Kreisspur“, „Adaptive Kurven“ und „Reihenfinder“.

Beim Modus Kreisspur wird, ohne zu wenden, immer im Kreis gefahren. Er kann nur bei extrem großen Schlägen sinnvoll eingesetzt werden. Von Adaptiven Kurven spricht man, wenn die erste Umfahrung eines Hindernisses in den folgenden Spuren fortgesetzt wird.

Der Modus Reihenfinder ist für Breitspuranwendungen vorgesehen, bei denen sich die Reihen nicht immer in gleichen Abständen befinden. Der Reihenfinder unterstützt den Fahrer dabei, herauszufinden, bei welchen Reihen das Feld wieder befahren werden soll, nachdem ein Bezugs-

punkt beim Verlassen der vorherigen Reihen definiert wurde (Der Reihenfinder ist eine Funktion der Marke John Deere und kann nur bei der GPS-Lenkhilfe eingesetzt werden) [JOHN DEERE, 2007].

2.3 Nutzen von Parallelfahrssystemen

Die Verwendung von GPS-Parallelfahrssystemen bei Traktoren bringt Einsparungen und Vorteile in den unterschiedlichsten Bereichen [MOITZI, 2007]:

- Reduzierung der Überlappungen
- Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs
- Reduzierung des Betriebsmittelverbrauchs
- Reduzierung der Arbeitsgeräte
- Steigerung der Flächenleistung
- Einsparung an Arbeitszeit
- Entlastung des Fahrers
- Erhöhung der Leistungsbereitschaft des Fahrers
- Verbesserung der Arbeitsqualität
- Ausweitung der Arbeitszeit (Nacht, Nebel, Staub)
- Positive Auswirkung auf die Umwelt durch verminderte doppelte Applikation
- Dokumentation der durchgeführten Arbeiten ist möglich (USB-Anschluss)

3 Zielsetzung

Das **Hauptziel** der Arbeit ist es, die Arbeitsgenauigkeit der angebotenen Systeme (GPS-Lenkhilfe, GPS-Lenkassistent bzw. GPS-Lenkautomat) anhand von zwei Versuchen zu untersuchen. Im Rahmen einer Kosten-/Nutzenanalyse werden folgende Fragestellungen geklärt:

1. Wie hoch ist die Feldarbeitszeiteinsparung bei der Verwendung eines Parallelfahrsystems?
2. Wie hoch sind die Betriebsmitteleinsparungen (Diesel, Dünger, Pflanzenschutzmittel, Saatgut) durch Verringerung von Überlappungen bei Verwendung eines Parallelfahrsystems?
3. Welchen Einfluss haben unterschiedliche Arbeitsbreiten auf die Arbeitsgenauigkeit?
4. Wie hoch ist die Mindesteinsatzfläche, bei der die jährlichen Kapitalkosten durch die Kosteneinsparungen gedeckt sind? Diese wird an einer bestehenden Maschinengemeinschaft untersucht.

Diese Arbeit konzentriert sich bei den experimentellen Versuchen auf GPS-Lenkunterstützungssysteme der Marke John Deere. Dabei kamen die GPS-Lenkhilfe mit dem Firmennamen „Parallel Tracking“, der GPS-Lenkassistent „AutoTrac Universal“ und der GPS-Lenkautomat mit dem Firmennamen „AutoTrac“ zum Einsatz.

Der Versuch im Sommer 2008 wurde mit einem John Deere 8530 durchgeführt, der Versuch im Frühjahr 2009 mit einem Steyr Profi 4120. Für eine genaue Beurteilung der einzelnen Parameter wurden die Daten vom Sommer 2008 analysiert, für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung dienten die Daten vom Frühjahr 2009. Die Diplomarbeit besteht somit zum überwiegenden Teil aus eigenen Messungen und Interpretationen.

4 Material und Methode

In diesem Kapitel wird die Durchführung der beiden Versuche erläutert. Es werden zwei voneinander getrennte Versuche behandelt, bei denen die Arbeitsgenauigkeit einerseits von einem integrierten GPS-Lenksystem (GPS-Lenkautomaten) und andererseits die Genauigkeit von einem wechselbaren GPS-Lenksystem (GPS-Lenkassistenten) ausgetestet werden. Der Versuch im August 2008 diente zur allgemeinen Veranschaulichung der Komponenten Arbeitsgenauigkeit und Betriebsmittlersparnis. Der Versuch im April 2009 diente als Vorlage für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung für eine bestehende Maschinengemeinschaft.

4.1 Versuch im August 2008

4.1.1 Arbeitsgeräte (Traktor und Kurzscheibenegge)

Der mit dem automatischen GPS-Lenksystem ausgestattete **Traktor** (John Deere 8530 mit AutoTrac SF 1), wurde vom Lagerhaustechnikcenter Korneuburg für drei Tage zur Verfügung gestellt. Die nachstehende Tabelle 2 gibt eine Zusammenstellung der technischen Daten.

Tabelle 2: Technische Daten des Versuchstraktors, John Deere 8530

Motor	
Hubraum	9 Liter
Nennleistung	261 kW (355 PS)
Maximalleistung	284 kW (386 PS)
Max. Drehmoment	1451 Nm bei 1600 U/min
Drehmomentanstieg	40 %
Zylinderzahl	6 Zylinder, 4 Ventiltechnik
Getriebe	
Bauart	Stufenloses Getriebe mit elektronischer Motor-/ Getriebesteuerung
Geschwindigkeitsbereich	0-50 km/h
Sonstige Maße	
Gewicht (betankt, ohne Fahrer)	13.060 kg

Der Traktor ist relativ groß, allerdings war dieser Traktor der Einzige mit GPS-Lenkautomaten, der zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung zur Verfügung gestellt werden konnte. Da aber alle Versuchsvarianten unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wurden, hat die Größe des Traktors keinen Einfluss auf den Versuch. Der Traktor war mit dem integrierten automatischen GPS-Lenkensystem „AutoTrac“, ebenfalls von der Firma John Deere, ausgestattet. Ein integriertes GPS-Lenkensystem (vgl. Abbildung 3) bietet im Vergleich zu einem Universalen (Aufbaubaren) den Vorteil, dass der Traktor bereits vom Werk mit speziellen Radwinkelsensoren und Ventilen ausgestattet wird, die eine sehr exakte automatische Lenkung ermöglichen.

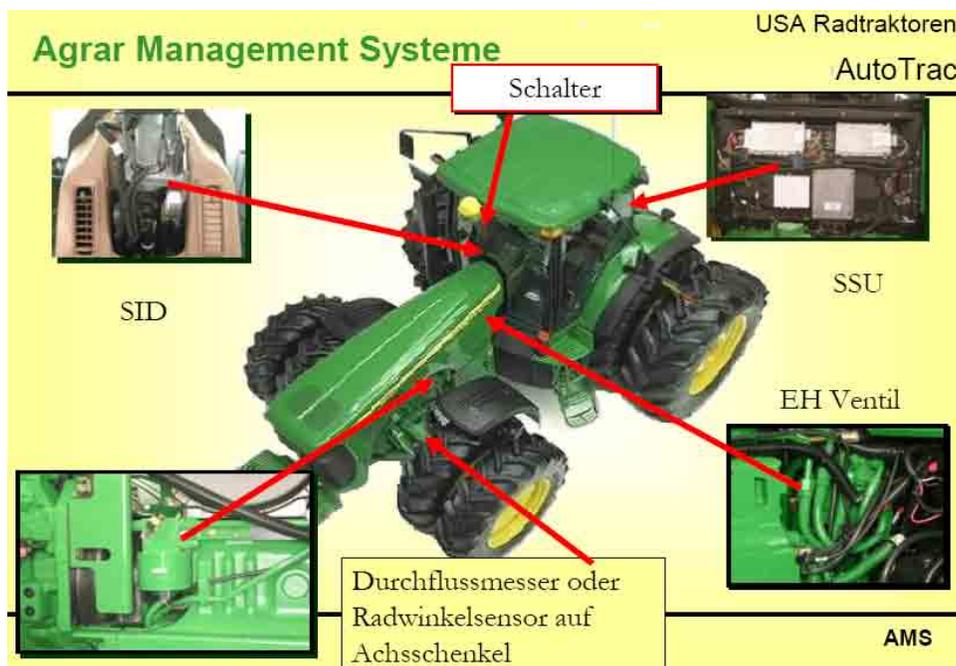


Abbildung 3: Zusatzausstattungen für ein integriertes Lenksystem, [John Deere, 2008]

Funktionsweise und Beschreibung des Agrar Management Systems:

Lenkrad Stellungssensor (SID, Steering Input Device): Ein zweifacher Hallsensor erfasst Bewegungen der Lenksäule. Wenn der Fahrer ins Lenkrad greift, wird der GPS-Lenkautomat deaktiviert.

SSU Controller: Die Lenksteuerereinheit bezieht die Informationen des GreenStar Monitors (z.B.: A-B Linie, Sitzschalter, Getriebe position) und sendet Lenkbefehle zum EH-Ventil.

EH Ventil: Das elektrohydraulische Lenkventil ersetzt das manuelle Lenkventil am Traktor. Das neue Ventil hat eine elektronische Einheit, die die Steuerung durch die SSU ermöglicht.

Durchflussmesser oder Radwinkelsensor: Dieser Sensor ist in einer Hydraulikleitung integriert, die zu einem Lenkzylinder führt (POKORNY, 2009).

Der Versuchstraktor war mit einem Starfire 1 (SF 1) Empfänger und dem Bildschirm GreenStar Display 2600 Touchscreen ausgestattet (vgl. Abbildung 4).



Abbildung 4: SF 1 Empfänger, GreenStar Display 2600 Touchscreen, [John Deere, 2008]

Das AMS (Agrar Management Service) von John Deere arbeitet mit drei Genauigkeitsstufen. Das im Versuch verwendete Korrektursignal Starfire SF 1 weist eine Genauigkeit von ± 20 cm auf und arbeitet weiters mit dem kostenlosen EGNOS Korrektursignal. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die von John Deere verfügbaren Genauigkeitsstufen.

Tabelle 3: Genauigkeitsstufen AMS Systeme

Starfire	Genauigkeit
SF1	± 20 bis 30 cm
SF 2	± 5 bis 10 cm
RTK	± 2 cm

Das Anbaugerät, eine Vogel & Noot **Kurzscheibenegge** „Terra Disc“, besitzt eine technische Arbeitsbreite von 5 m und ist hydraulisch klappbar. Die Kurzscheibenegge besteht aus zwei hintereinander liegenden Scheibenreihen mit insgesamt 40 gezackten Mulchscheiben (Durchmesser 460 mm). Für die Rückverfestigung sorgt eine Gummi-Keilringwalze mit einem Durchmesser von 580 mm. Oberhalb der Rückverfestigungswalze ist ein Feinsämereienstreuer montiert für eine mögliche Zwischenfruchtaussaat. Das Gesamtgewicht des Anbaugeräts beläuft sich auf 3500 kg. Die mittlere Bearbeitungstiefe betrug beim Versuch 7 cm.

Normalerweise würde für diese Kurzscheibenegge ein Traktor mit einer Leistung von 200 PS reichen, allerdings konnte kein größeres, dem Traktor angepasstes Arbeitsgerät zur Verfügung gestellt werden. Abbildung 5 zeigt das Versuchsfahrzeug und die Kurzscheibenegge.



Abbildung 5: John Deere 8530 (261 KW) mit Vogel & Noot Kurzscheibenegge (5 m technische Arbeitsbreite)

4.1.2 Messtechnik

Die Feldarbeitszeit (Hauptzeit + Wendezeit) wurde mittels Stoppuhr gemessen. Die einzelnen Wendevorgänge wurden von zwei Kollegen – jeder stand auf einer Feldseite – exakt vom Aufheben bis zum Absenken des Hubwerks gestoppt.

Die mittlere Fahrgeschwindigkeit wurde pro Überfahrt sechsmal festgehalten und daraus eine durchschnittliche Geschwindigkeit errechnet.

Der Dieserverbrauch des Traktors wurde auf zwei Arten gemessen. Einerseits wurde der Verbrauch nach der Bearbeitung einer Parzelle mittels eines Messbechers genau ausgemessen, andererseits wurde durch den vom Traktor angezeigten Dieserverbrauch ein Mittelwert errechnet.

4.1.2.1 Vorgangsweise - Dieserverbrauchsbestimmung mittels Messbecher

Der Dieseltank des Traktors wurde vor der Bearbeitung der jeweiligen Versuchsparzelle auf einer ebenen Fläche (Schotterstraße) bis zu einer Markierung kurz vor dem Verschluss des Tanks aufgefüllt (vgl. Abbildung 6). Nachdem anschließend die einzelne Parzelle bearbeitet worden war, wurde der Traktor wieder auf der Schotterstraße abgestellt und der Dieseltank sorgfältig mit einem Messbecher bis zur Markierung aufgefüllt. Diese Vorgangsweise wurde bei jeder einzelnen Versuchsparzelle durchgeführt, wodurch exakte Verbrauchswerte gemessen werden konnten.



Abbildung 6: Exaktes Auftanken nach einer bearbeiteten Parzelle

4.1.3 Standort

Der Versuch wurde in Hargelsberg, Bezirk Linz Land, Oberösterreich, auf dem Betrieb Hiesmair durchgeführt.

Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt dort ca. 850 mm, die Bodenbedingungen für die Bearbeitung waren optimal, da vier Tage zuvor kein Regen mehr gefallen war. Am Tag der Versuchsdurchführung spielte das Wetter ebenfalls mit und ermöglichte einen reibungslosen Ablauf des Versuches.

4.1.3.1 Versuchsflächen

Die drei Versuchspartzellen befinden sich direkt nebeneinander auf dem gleichen Feldstück. Aus dem 13,12 ha großen Acker wurden drei gleich große Partzellen bemessen. Jede Partzelle wies eine Größe von 3,186 ha mit einer Länge von 236 m und einer Breite von 135 m auf. Die Bodenbeschaffenheit war bei allen drei Flächen gleich, drei Wochen vor der Versuchsdurchführung wurde auf dem abgeernteten Weizenfeld leicht schräg zur üblichen Bearbeitungslinie gegrubbert, um dem Ausfallgetreide ein erstes Auflaufen zu ermöglichen. Das Grubbern schräg zur Bearbeitungslinie diente dazu, nicht immer dieselben Spuren zu beanspruchen und die Versuchsdurchführung nicht durch ähnliche optische Linien zu beeinflussen. Das Feldstück ist prinzipiell flach, fällt allerdings gleichmäßig in Richtung eines kleinen Baches leicht ab. Der Braunerdeboden mit durchschnittlich 80 Bodenpunkten lässt sich grundsätzlich leicht bearbeiten. Die drei Partzellen weisen somit völlig identische Bedingungen auf.

4.1.4 Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde am 26. August 2008 bei sonnigem Wetter und optimaler Bodenfeuchte durchgeführt. Die gleich großen Partzellen wurden mit den drei verschiedenen Fahrvarianten Manuell (ohne GPS), mit GPS-Lenkhilfe (Parallel Tracking) und mit GPS-Lenkautomaten (AutoTrac) bearbeitet. Bei der rein manuellen Fahrweise, ohne GPS, wurde mit dem klassischen Anschlussfahren und der sogenannten Schwalbenschwanzwende (Wenden mit Rückwärtsfahrt) gearbeitet. Im Vergleich dazu wurde bei der GPS-Lenkhilfe und dem GPS-Lenkautomaten im Beetmodus gefahren, das heißt, es wurde nur jede zweite Spur bearbeitet, um ein Wenden im Halbkreis zu ermöglichen. Am Ende dieser beiden Partzellen wurde dann jeweils jede zweite Spur retour gefahren, um die freigelassenen 5 m Streifen zu bearbeiten (vgl. Abbildung 7). Im Bedienteil des Greenstar Systems wurde anstatt der technischen Arbeitsbreite von 5 m eine Arbeitsbreite von 4,9 m eingegeben, um eine sichere Bearbeitung der gesamten Fläche zu gewährleisten. Diese 10 cm Mindestüberlappung werden im Allgemeinen vom Hersteller des Systems vorgegeben. Gefahren wurde im Modus „Gerade Spur“, wobei am Beginn der Bearbeitung der Partzelle der Punkt A und am Feldende der Punkt B bestimmt wurde. Alle weiteren Spuren wurden folglich an

dieser A – B Referenzlinie ausgerichtet.

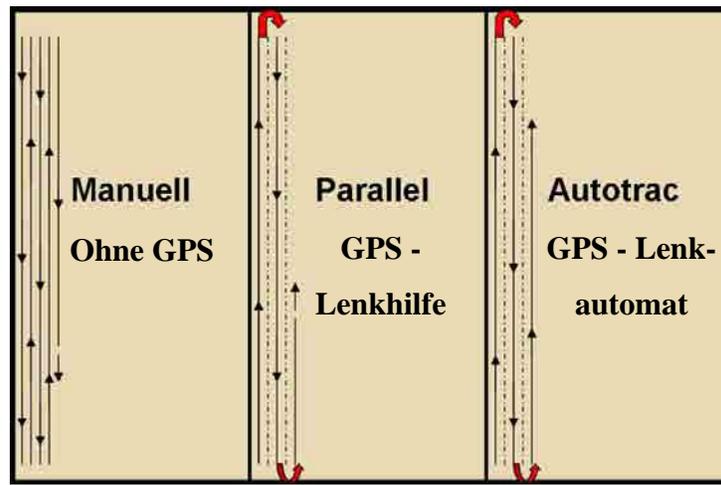


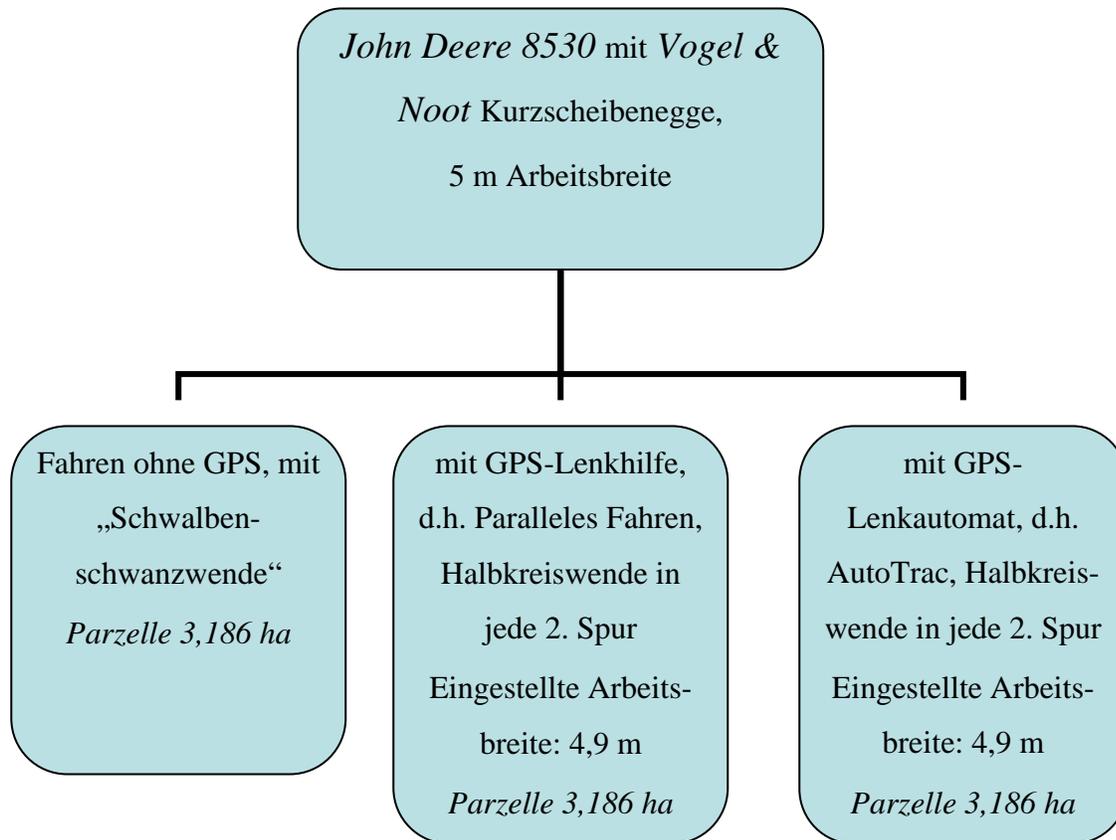
Abbildung 7: Drei unterschiedliche Fahrvarianten

Pro Teilstück wurden 26 Überfahrten vorgenommen, das würde bei optimaler Ausnutzung der Arbeitsbreite einer bearbeiteten Flächenbreite von 130 m ($26 * 5$ m, Eingabe 4,9 m damit 127,4 m) entsprechen. Somit blieben pro Parzelle noch 5 m, um etwaigen Ungenauigkeiten in der Breite auszuweichen. Nach 26 Überfahrten wurde an 5 Stellen (10 m, 65 m, 120 m, 175 m, 230 m) vom Ende der Parzellenbreite (135 m) auf die gesamte bearbeitete Flächenbreite zurück gemessen und davon die Arbeitsgenauigkeit errechnet. Anschließend wurde die Parzelle (gesamte Breite 135 m) fertig bearbeitet und der einzelne Teilversuch war abgeschlossen.

Die Breite des Vorgewendes betrug 15 m, es wurde aber im Versuch für die Datenausarbeitung nicht berücksichtigt.

4.1.5 Übersicht der Versuchsvarianten

Die nachfolgende Darstellung soll noch einen kurzen Überblick über die Versuchsgeräte und die Versuchsflächen bieten.



Gemessene Parameter: Feldarbeitszeit (Hauptzeit+Wendezeit)
Arbeitsgenauigkeit
Kraftstoffverbrauch

4.2 Versuch im April 2009

Der zweite Versuch im Rahmen dieser Diplomarbeit lieferte Basisdaten als Vorlage für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung. Die Rentabilität einer GPS-Lenkhilfe bzw. eines GPS-Lenkassistenten wurde anhand eines Praxisbetriebes durchgerechnet.

4.2.1 Daten zum Versuchsbetrieb

Die Versuchsdurchführung erfolgte auf einem Betrieb einer Maschinengemeinschaft.

Die beiden Landwirte Dorninger Johannes und Zittmayr Hermann leiten jeweils einen Betrieb, einer liegt in Enns, der andere in Asten (2 Kilometer voneinander entfernt). 1998 gründeten sie eine Betriebsgemeinschaft, um Kosten zu senken und effektiver wirtschaften zu können. Um mehr Fläche bewirtschaften zu können, informierten sich die beiden Landwirte in der näheren Umgebung, ob andere Betriebe bereit wären, ihre Flächen bewirtschaften zu lassen. Bereits im ersten Jahr fanden sich vier Interessenten, die aufgrund ihres Hauptberufes für ihre eigene Landwirtschaft nur bedingt Zeit aufwenden konnten. Somit war die Betriebsgemeinschaft gegründet. 1999 und 2001 traten noch drei weitere Betriebe bei und so wird jetzt eine Gesamtfläche von knapp 350 Hektar bewirtschaftet.

Bereits im ersten Jahr wurde der Großteil der Maschinen neu angeschafft, um die erweiterte Fläche besser und schneller bearbeiten zu können.

Die beiden Betriebe Dorninger und Zittmayr bewirtschaften ihre eigenen und sieben weitere Betriebe. Die sieben Landwirte zahlen einen bestimmten Preis pro Hektar für die gesamte Feldarbeitserledigung innerhalb eines Jahres. Dieser Preis richtet sich nach den durchschnittlichen Feldgrößen und dem Gelände, welches zwischen flach und hügelig variiert. Die Betriebsmittel werden erst im Nachhinein, am Ende des Jahres verrechnet.

Auf jedem der neun Betriebe werden vier Kulturen angebaut - Winterweizen, Körnermais, Zuckerrübe, Sojabohne - und in einem bestimmten Verhältnis gehalten. Knapp die Hälfte der Gesamtfläche wird mit Winterweizen bebaut, somit folgt fast jedes zweite Jahr Winterweizen auf die Frühjahrskulturen Körnermais, Zuckerrübe und Sojabohne. Jeder der Betriebe hat allerdings

auch einen Teil der Fläche mit Blühflächen stillgelegt.

Um noch effizienter arbeiten zu können, wurde im Jahr 2008 ein John Deere - Parallelfahrssystem angeschafft. In diesem Teil der Diplomarbeit soll nun das Einsparungspotential durch diese GPS-Lenkhilfe und weiters auch das Einsparungsvermögen eines GPS-Lenkassistenten dargestellt werden.

4.2.2 Standortbedingungen

Das Versuchsfeld liegt im Gemeindegrenzgebiet zwischen Enns und Asten, 15 km südöstlich von Linz. Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt im oberösterreichischen Zentralraum bei ca. 850 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur bei ca. 9°C [DIERCKE WELTATLAS, ÖSTERREICH, 1999]. Die Böden der Felder der Gemeinschaft weisen relativ unterschiedliche Strukturen auf: Sehr fruchtbare Braunerdeböden, schotterige Böden und schwer zu bearbeitende, lehmige Böden erfordern häufige Abänderungen der Maschineneinstellungen. Das Versuchsfeld hat allerdings einen gleichmäßigen, etwas schotterigen und leicht zu bearbeitenden Boden.

4.2.3 Durchschnittliche Feldstrukturen

Für die Berechnung des Kosteneinsparungspotenzials war die Ermittlung der durchschnittlichen Feldgröße, der Feldlänge und der Feldbreite notwendig. Mit Hilfe der Mehrfachanträge der einzelnen Betriebe wurde die durchschnittliche Feldgröße dokumentiert. Einige Schläge der verschiedenen Betriebe liegen zum Teil direkt nebeneinander und werden für die erleichterte, schnellere und Kosten sparende Bewirtschaftung stets zu einem Feld zusammengefasst. Diese zusammengelegten Schläge wurden bei der Berechnung der durchschnittlichen Feldgröße berücksichtigt. Die Feldlänge wurde bei jedem einzelnen Feld über das „Digitale Oberösterreichische Raum – Informationssystem“ www.doris.ooe.gv.at ermessend. Über die durchschnittliche Feldgröße und Feldlänge konnte die durchschnittliche Feldbreite errechnet werden.

Für die Berechnungen wurde eine rechteckige Feldstücksform mit folgenden mittleren Abmessungen berechnet:

- **Anzahl der Feldstücke: 95**
- **Durchschnittliche Feldgröße: 3,62 ha**
- **Durchschnittliche Feldlänge: 309 m**
- **Durchschnittliche Feldbreite: 117,25 m**

Die Feldgröße variiert zwischen 0,2 ha und 21,2 Hektar, die Feldlänge weist ebenfalls relativ unterschiedliche Werte auf. Ein Großteil der Felder hat eine kürzere Länge als die errechneten 309 m, allerdings wurden die jeweiligen Feldlängen mit den Größen der Felder gewichtet und somit ergab diese Gewichtung einen relativ hohen Wert. Der Wert resultiert aus der Summe der Multiplikation der jeweiligen Feldgröße mit der dazugehörigen Feldlänge, dividiert durch die Gesamthektarzahl.

Die resultierenden Ergebnisse Feldgröße, -länge und -breite sind somit eine wichtige Berechnungsgrundlage für die Rentabilitätsrechnung.

Weitere wichtige Daten sind die Anbauflächen der einzelnen Feldfrüchte. Nach den Anbauflächen der Feldfrüchte richten sich die Einsatzflächen der einzelnen Arbeitsvorgänge.

Anbauflächen 2009:

- Winterweizen: 137,93 ha
- Körnermais: 91,24 ha
- Sojabohne: 74,8 ha
- Zuckerrübe: 40,15 ha

Gesamtfläche: 344,12 ha

4.2.4 Arbeitsvorgänge mit Einsatz der GPS-Lenkhilfe/ des GPS-Lenkassistenten

Für die Berechnung des Kosteneinsparungspotentials durch den Einsatz einer GPS-Lenkhilfe bzw. eines GPS-Lenkassistenten wurden folgende Arbeitsvorgänge für das Kulturjahr 2009 herangezogen:

1. Glyphosatspritzung im Frühjahr nach Zwischenfrucht (Feldspritze, 15 m)
2. Düngung vor Mais- und Zuckerrübenanbau (Pneumatischer Düngerstreuer, 15 m)
3. Bodenbearbeitung vor Mais-, Sojabohnen- und Zuckerrübenanbau (Grubber, 3 m)
4. Sekundärbodenbearbeitung vor Mais- und Zuckerrübenanbau (Kreiselegge, 3 m)
5. Stoppelbearbeitung nach Weizenernte (Grubber, 3 m)
6. Düngung auf abgeerntete Weizenfelder (Pneumatischer Düngerstreuer, 15 m)
7. Aussaat der Zwischenfrucht (Feinsämereienstreuer, 15 m)
8. Einarbeiten der Zwischenfrucht (Scheibenegge, 3 m)
9. Bodenbearbeitung nach Sojabohnen- und Zuckerrübenernte (Grubber, 3 m)

4.2.5 Arbeitsgeräte

Als Versuchsarbeitsgeräte wurden Maschinen der Gemeinschaft herangezogen, um auch realistische monetäre Angaben bezüglich der einzelnen Parameter (Dieselverbrauch, Arbeitsbreite, Arbeitsgenauigkeit) geben zu können. Das aufbaubare GPS-Lenksystem AutoTrac Universal wurde vom LTC Korneuburg zur Verfügung gestellt.

Als Zugmaschine kam ein **Traktor** der Maschinengemeinschaft zum Einsatz, ein Vier-Zylinder Steyr Profi 4120 mit 121 PS (90 KW) Nennleistung. Bei der Gemeinschaft werden zudem zwei Steyr Profi 6140 eingesetzt. Ein großer Vorteil dieser drei ziemlich ähnlichen Traktoren ist, dass

alle anstehenden Arbeiten auf den Feldern mit jedem Traktor durchgeführt werden können, sowohl die Pflegearbeiten, als auch die Bodenbearbeitungs-, Aussaat- und Transportarbeiten. Ein weiterer Vorteil ist, dass die bei der Gemeinschaft verwendete GPS-Lenkhilfe (Parallel Tracking) der Marke John Deere auf jeden der drei Traktoren mit wenig Arbeitsaufwand montiert werden kann. Man kann somit die Ergebnisse aus den eigenen Versuchen auch auf die anderen Traktoren umlegen.

Der beim Versuch verwendete GPS-Lenkassistent AutoTrac Universal konnte ohne fremde Hilfe am Traktor montiert werden. Das System wies dieselben Funktionen auf wie das integrierte GPS-Lenkensystem (AutoTrac), welches beim Versuch 2008 zur Verwendung kam. Die Arbeitsgenauigkeit dürfte allerdings laut Herstellerangaben bei integrierten GPS-Lenkensystemen noch besser sein.

Abbildung 8 zeigt die Bestandteile des Lenkassistenten AutoTrac Universal. Der Einbausatz besteht prinzipiell aus dem GPS-Empfänger, dem auswechselbaren Lenkrad (welches mechanisch angetrieben wird) und dem GreenStar Display. Über einen 12 Volt Stecker, welcher im Traktor angeschlossen wird, wird die Stromversorgung sichergestellt. Die restlichen Schalter sind optional einbaubar und somit nicht für die Funktion des Lenkassistenten ausschlaggebend.

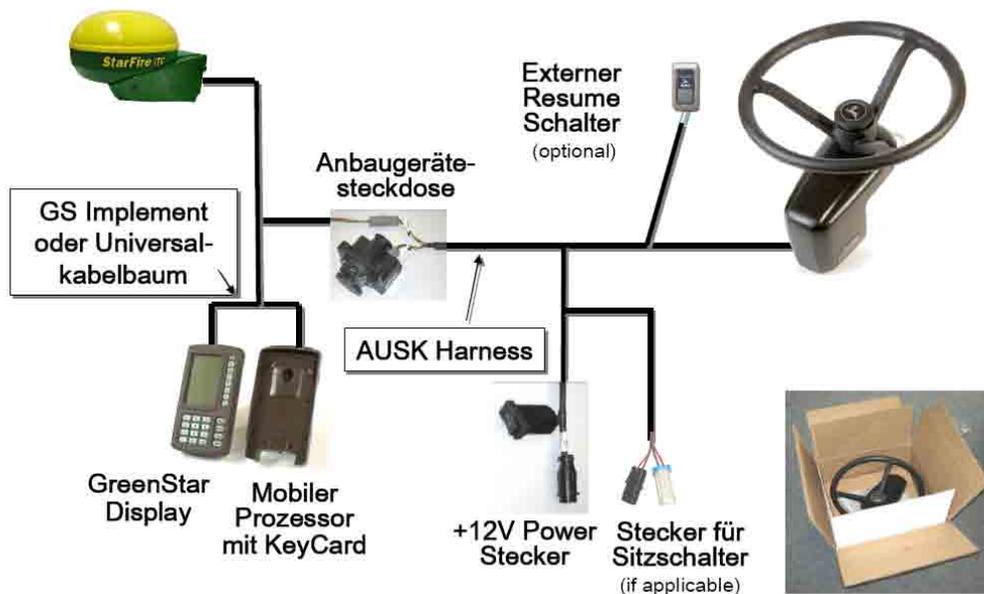


Abbildung 8: AutoTrac Universal, (Lenkassistent, John Deere)

Als Bodenbearbeitungsgerät für den ersten Teil des Versuches kam ein **Grubber** der Firma Vogel & Noot „Terra Cult“ mit einer **Arbeitsbreite** von **3 m** zum Einsatz (vgl. Abbildung 9). Dieser Grubber hat durch seine 4-balkige Ausführung mit 13 Zinken ein relativ hohes Gewicht und passt genau zur PS-Klasse des Versuchstraktors. Weitere Bearbeitungsgeräte, welche in die Rentabilitätsberechnungen mit einfließen, waren eine 3 m breite Vogel & Noot Kurzscheibenegge, „Terra Disc“, sowie ein 3 m breiter Kreiselgrubber der Marke Amazone. Allerdings konnten hier keine Messungen bezüglich Dieserverbrauch durchgeführt werden. Der Wert wurde bei der Scheibenegge um einiges geringer angenommen als beim Grubber, da sich eine Scheibenegge leichter und – wie in der Modellierung angenommen - um ca. 2 km/h schneller ziehen lässt. Der Dieserverbrauch bei der Bodenbearbeitung mit dem Kreiselgrubber wurde mit dem ungefähr gleichen Wert angenommen wie beim Grubbern, allerdings wurde eine geringere Fahrgeschwindigkeit gewählt (vgl. Tabelle 4).



Abbildung 9: Versuch mit 3 m Grubber

Als Anbaugerät mit **15 m Arbeitsbreite** wurde beim Versuch der Rauch Aero 2215 **Düngerstreuer** verwendet (vgl. Abbildung 10). Dieser Exakt-Düngerstreuer hat ein hydraulisch klappbares Gestänge, womit ein manuelles Fahren ohne Fahrgassen sicher leichter ist als bei einem vergleichbaren Schleuderstreuer. Gerade bei einem derartigen Düngerstreuer ist allerdings ein exaktes Anschlussfahren von großer Wichtigkeit, da ein vergleichbarer Schleuderstreuer immer doppelt überlappt und Fahrfehler nicht so große Auswirkungen haben wie bei einem Exaktstreuer, der genau auf 15 m Arbeitsbreite streut. Ein Schleuderstreuer ist somit hinsichtlich Fahrungenauigkeiten etwas toleranter. Ausgewertet wurde beim Versuch das Arbeiten mit diesem pneumatischen Exakt-Düngerstreuer. Bei den Berechnungen zu den Einsparungen wurden zusätzlich die Arbeitsgänge mit einer Feldspritze (15 m) und einem Feinsämereienstreuer (15 m) behandelt (gleiche Geschwindigkeit wurde für beide Arbeitsgeräte angenommen). Für diese Geräte wurden die gleiche Geschwindigkeit und der gleiche Dieselverbrauch wie beim Düngerstreuen angenommen.



Abbildung 10: Versuch mit 15 m Düngerstreuer

Tabelle 4: Mittlere Fahrgeschwindigkeit und mittlerer Dieselverbrauch bei 5 Feldarbeitsgängen

	Grubber [ohne GPS, GPS-Lenkhilfe, GPS-Lenkassistent]	Düngerstreuer	Kreiselgrubber	Kurzscheibenegge	Feldspritze, Feinsämereienstreuer
Fahrgeschwindigkeit [km/h]	11,3	9,35	9,35	12,5	9,35
Dieselverbrauch [l/h]	17,2/18,5/18,1*	9,2	17	15	9,2

* ohne GPS, GPS-Lenkhilfe, GPS-Lenkassistent

Die Werte in den Spalten „Grubber“ und „Düngerstreuer“ ergeben sich aus den Messungen während des Versuches, wobei beim Grubber zwischen den einzelnen Fahrvarianten aufgrund der unterschiedlichen Wendezeiten und Flächenleistungen ein Unterschied im Dieselverbrauch gemessen werden konnte. Die erhöhten Werte bei der GPS-Lenkhilfe und dem GPS-Lenkassistenten beruhen auf den erhöhten Flächenleistungen.

Für eine Modellierung wurden für die Arbeitsschritte mit Kurzscheibenegge, Kreiselgrubber, Feldspritze und Feinsämereienstreuer praktikable Dieselverbrauchswerte aus eigenen langjährigen Erfahrungen angenommen.

4.2.6 Beschreibung der Versuchspartellen

Für die Versuchsdurchführung stand ein Feld mit einer Größe von 14,4 ha zur Verfügung. Dieses Feld war früher (siehe Abbildung 11) in zwei Schläge unterteilt, wurde aber im Jahr 2009 ganzflächig mit Mais bebaut. Die frühere Teilung wurde auch für die Versuchsdurchführung genutzt.

4.2.6.1 Versuch mit 3 m Bodenbearbeitungsgerät

Auf dem in Abbildung 11 dargestellten linken Teil wurde der Bodenbearbeitungsversuch mit einem 3 m Grubber durchgeführt. Die drei Parzellen wiesen jeweils eine Größe von 1,49 ha auf, mit einer Länge von 184 m und einer Breite von 81 m. Die Parzellen wurden nach demselben Schema wie schon beim Versuch im August 2008 bearbeitet, allerdings wurde nun bei den GPS-unterstützten Varianten jeweils nur die dritte Spur bearbeitet. Die Ursache liegt in der geringen

Arbeitsbreite von 3 m, wodurch die Halbkreiswende bei der GPS-Lenkhilfe und beim GPS-Lenkassistenten nicht die zweite Spur erreichen konnte.

Am Ende jeder Parzelle befanden sich fünf Messpunkte, an denen die Arbeitsgenauigkeit gemessen werden konnte (zur näheren Beschreibung siehe Versuch im August 2008).

4.2.6.2 Versuch mit 15 m Anbaugerät

Auf dem in Abbildung 11 dargestellten rechten Teil wurde die Arbeitsgenauigkeit bei einem 15 m Anbaugerät ausgetestet. Die Parzellengröße betrug jeweils 3 ha, mit einer Länge von jeweils 200 m und einer Breite von 150 m (dies würde bei einer exakten Bearbeitung genau zehn Überfahrten entsprechen). Aufgrund der zu schmalen Feldbreite überlappten die Parzellen um etwa 50 m. Da bei diesem Versuch keine Bodenbearbeitung durchgeführt wurde, behinderte das die Versuchsdurchführung nicht. Die erste Parzelle (manuelle Bearbeitung) wurde nach deren Auswertung noch einmal für die Bearbeitung mit dem GPS-Lenkassistenten genutzt. Dazu wurden die Fahrspuren, genauso wie beim Überlappungsbereich, „aufgegrubbert“, um eben neue Messungen ohne Beeinträchtigung durch alte Fahrspuren durchführen zu können.

Um die Arbeitsgenauigkeit zu messen, wurde, wie beim 3 m Bodenbearbeitungsversuch, an fünf Messstellen auf die applizierte Fläche zurück gemessen. Um weitere Werte bezüglich Arbeitsgenauigkeit zu erhalten, wurden bei jeder Fahrspur fünf Messungen zur nächsten Fahrspur dokumentiert. Somit erhielt man 45 Messwerte von Fahrspur zu Fahrspur. Weiters wurden die beiden Randbreiten der äußersten Spuren addiert und die Werte ebenfalls festgehalten.

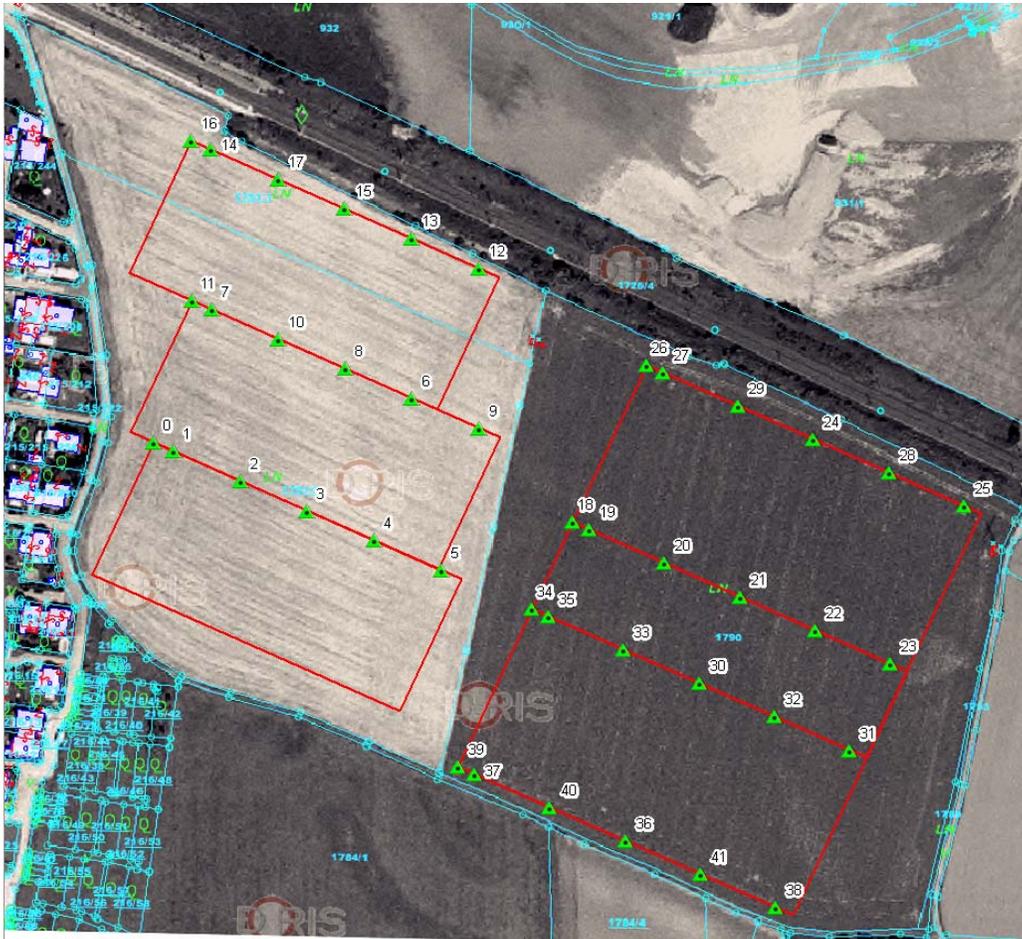


Abbildung 11: Versuchsparzellen

Die Parzellen geben zwar nicht die durchschnittliche Feldgröße wieder, allerdings werden diese Ergebnisse auf die durchschnittliche Feldgröße umgelegt. Auch die Vorgewendebearbeitung, die bei diesem Versuch nicht miteinbezogen wurde, wird in den nachfolgenden Berechnungen mit einfließen.

Die Eckpunkte der Parzellen und auch die Messstellen wurden mithilfe eines GPS-RTK Messgerätes *Trimble R8* eingemessen (Zur Verfügung gestellt vom Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation; BOKU Wien). Diese sehr genaue Messmethode war für die Exaktheit der Parzellengröße ein großer Vorteil.

4.2.7 Messtechnik

Ausgemessen wurden, wie auch schon beim Versuch 2008, die Genauigkeit mittels Maßband, der Dieserverbrauch mittels Messbecher und die Feldarbeitszeit, genauso wie die einzelnen Wendezeiten mit Stoppuhren. Diese Werte wurden dann auf die durchschnittliche Feldgröße hochgerechnet. Um auch die Arbeitsgenauigkeit von Fahrspur zu Fahrspur zu erhalten, wurden auch diese Messwerte beim 15 m-Bearbeitungsversuch, wo keine Bodenbearbeitung vorgenommen wurde, dokumentiert. Diese Messungen sollten zeigen, ob eventuell Fehlstellen, das heißt unbearbeitete Flächen, vorkommen.

4.2.8 Versuchsdurchführung

Die gesamte Versuchsdurchführung erfolgte am 11. April 2009 bei idealen Wetterbedingungen.

4.2.8.1 Versuch mit 3 m Bodenbearbeitungsgerät

Bei der manuellen Fahrvariante ohne GPS wurde mittels Anschlussfahren und der klassischen Schwalbenschwanzwende gearbeitet. Bei den GPS unterstützten Varianten GPS-Lenkhilfe und GPS-Lenkassistenten wurde im Halbkreis gewendet und im Beetmodus jede dritte Spur mittels Modus „Gerade Spur“ bearbeitet (vgl. Abbildung 12). Im Bedienteil des Greenstar Systems wurde eine Arbeitsbreite von 2,9 m eingegeben, um eine sichere Bearbeitung der gesamten Fläche zu garantieren. Nach 26 Überfahrten auf den 81 m breiten Parzellen wurde die Genauigkeit ermes-

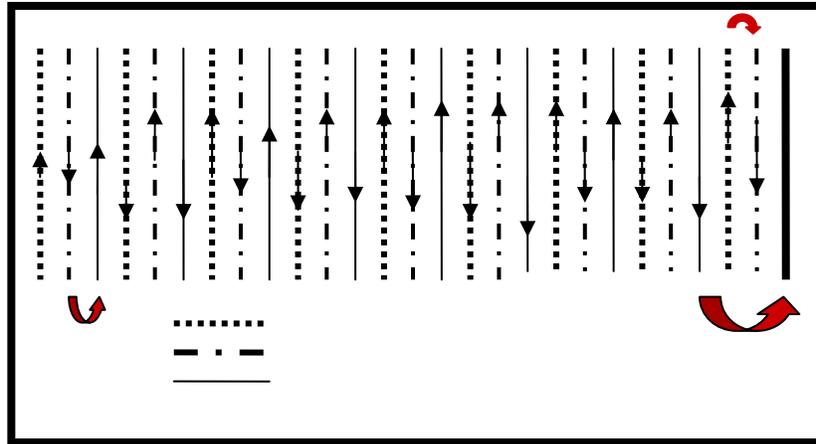


Abbildung 12: Arbeitsweise unter Zuhilfenahme von GPS-Lenkhilfe/GPS-Lenkassistent

4.2.8.2 Versuch mit 15 m Anbaugerät

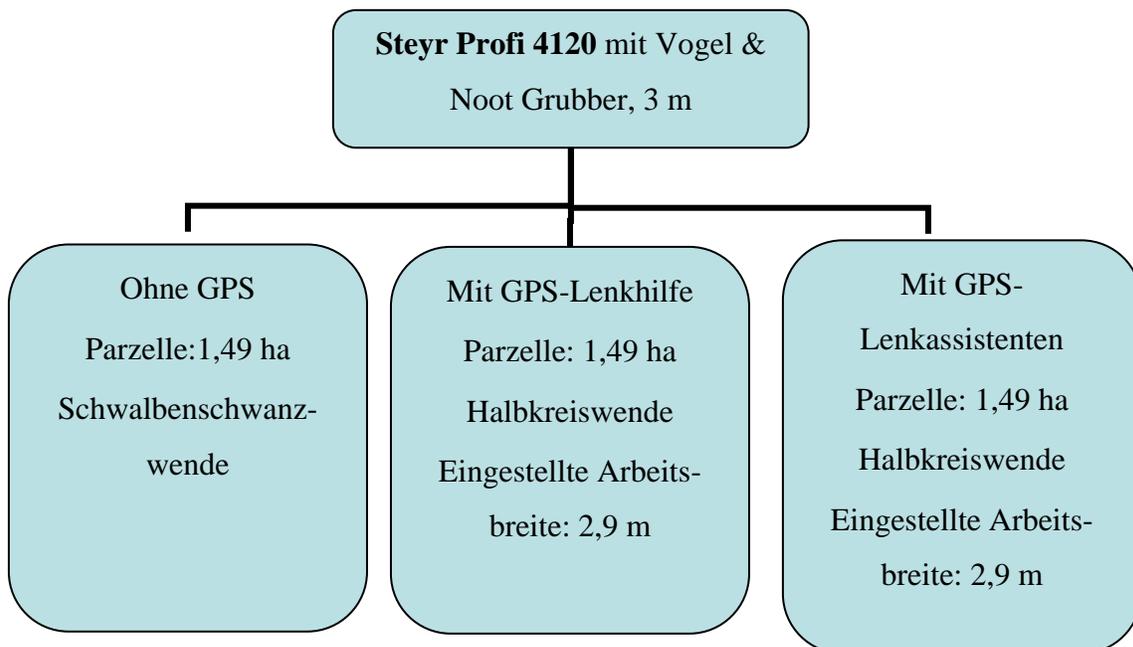
Bei allen drei Varianten wurde aufgrund der hohen Gerätebreite mittels Halbkreiswende gearbeitet. Wie auch beim 3 m-Versuch wurde mit dem Modus „Gerade Spur“ gearbeitet. Die vom Hersteller vorgegebene Mindestüberlappung von 10 cm wurde auch dieses Mal eingegeben. Es wurden bei jeder Variante zehn Überfahrten vorgenommen und dann wurde an den bereits erklärten Messstellen auf die applizierte Fläche zurück gemessen.

Alle durch diese Parzellen erhaltenen Werte wurden für die weiteren Rechnungen umgelegt auf die durchschnittliche Feldgröße, -länge und -breite der Flächen der Maschinengemeinschaft.

4.2.9 Übersicht der Versuchsvarianten

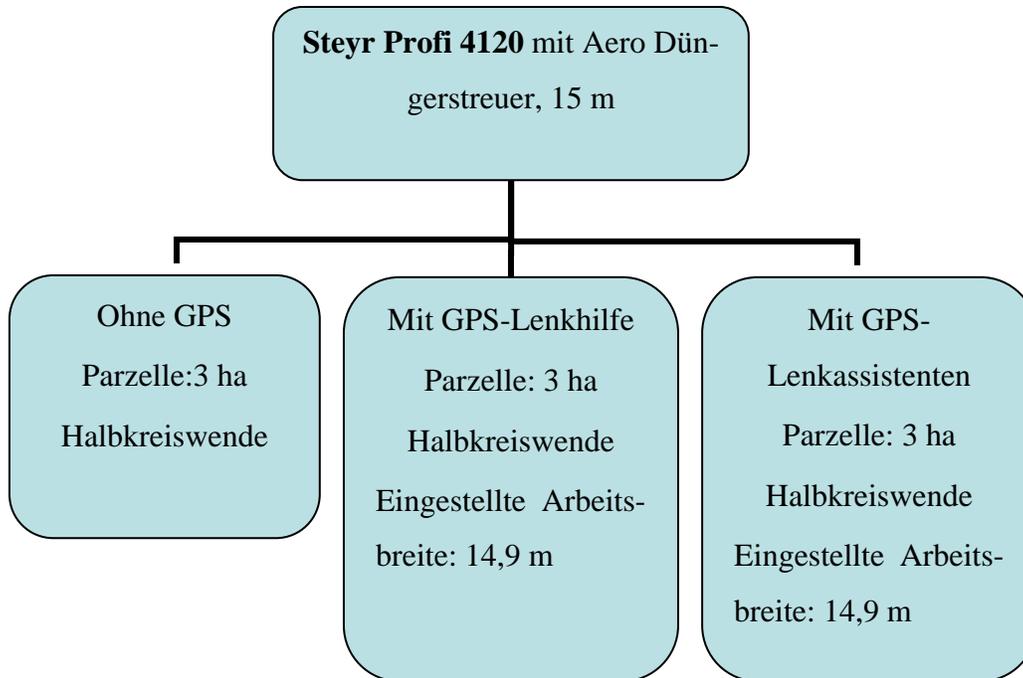
Die beiden nachfolgenden Darstellungen sollen zusammenfassend noch eine kurze Übersicht über die Versuchsgeräte und die Versuchsflächen bieten.

- **Übersicht 3 m Versuch**



Gemessene Parameter: Feldarbeitszeit (Hauptzeit+Wendezeit),
Arbeitsgenauigkeit,
Kraftstoffverbrauch

- **Übersicht 15 m Versuch**



Gemessene Parameter: Feldarbeitszeit (Hauptzeit+Wendezeit),
Arbeitsgenauigkeit
Kraftstoffverbrauch

5 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der beiden Versuche getrennt voneinander behandelt. In Kapitel 5.1 werden die einzelnen Parameter der Untersuchungsergebnisse vom August 2008 dargestellt und diskutiert. In Kapitel 5.2 werden die möglichen Kosteneinsparungen bei einzelnen Arbeitsvorgängen durch Verwendung von GPS-Lenkhilfe bzw. GPS-Lenkassistenten anhand des Versuches vom April 2009 monetär dargestellt und diskutiert.

5.1 Versuch im August 2008

Für das leichtere Verständnis der Auswertungen ist darauf hinzuweisen, dass sich die nachfolgenden Tabellen und Interpretationen jeweils auf die für den Versuch herangezogenen Parzellen (Größe 3,186 ha) beziehen.

5.1.1 Geschwindigkeit

Für die Bodenbearbeitung mit der Kurzscheibenegge wurde eine Geschwindigkeit von 14 km/h angestrebt. Diese Geschwindigkeit ist für diese Art der Bodenbearbeitung optimal und stellt auch für den Leistungsbedarf des Traktors keine Probleme dar. Alle drei Varianten wurden mit derselben Geschwindigkeit bearbeitet. Zur Dokumentation, ob die Geschwindigkeit auch gehalten wurde, wurde diese bei jeder Längsfahrt sechsmal notiert und pro Parzelle daraus ein Mittelwert errechnet.

Bei den drei unterschiedlichen Fahrvarianten wurden durchschnittliche Geschwindigkeiten zwischen 14,05 km/h und 14,08 km/h gemessen. Diese Mittelwerte sind somit annähernd gleich und beeinflussen somit nicht die Dauer der Feldarbeitszeit.

5.1.2 Feldarbeitszeit

Die Ergebnisse aus dem Versuch hinsichtlich Feldarbeitszeit (Abbildung 13) zeigen, dass durch die Zuhilfenahme von GPS-Lenkhilfe und GPS-Lenkautomaten eine erwähnenswerte Zeitersparnis möglich ist. Für die Bearbeitung einer Parzelle waren bei der GPS-Lenkhilfe und dem GPS-Lenkautomaten 28 Überfahrten nötig, während bei der manuellen Bearbeitung, ohne GPS, durch die zusätzliche Überlappung 29 Überfahrten notwendig waren, um die gesamte Parzelle zu bearbeiten. Die Hauptzeit (reine Bearbeitungszeit) war somit bei der Variante ohne GPS-Unterstützung, im Vergleich zu den beiden anderen, um die Dauer einer Längsfahrt (ca. 1 min) länger.

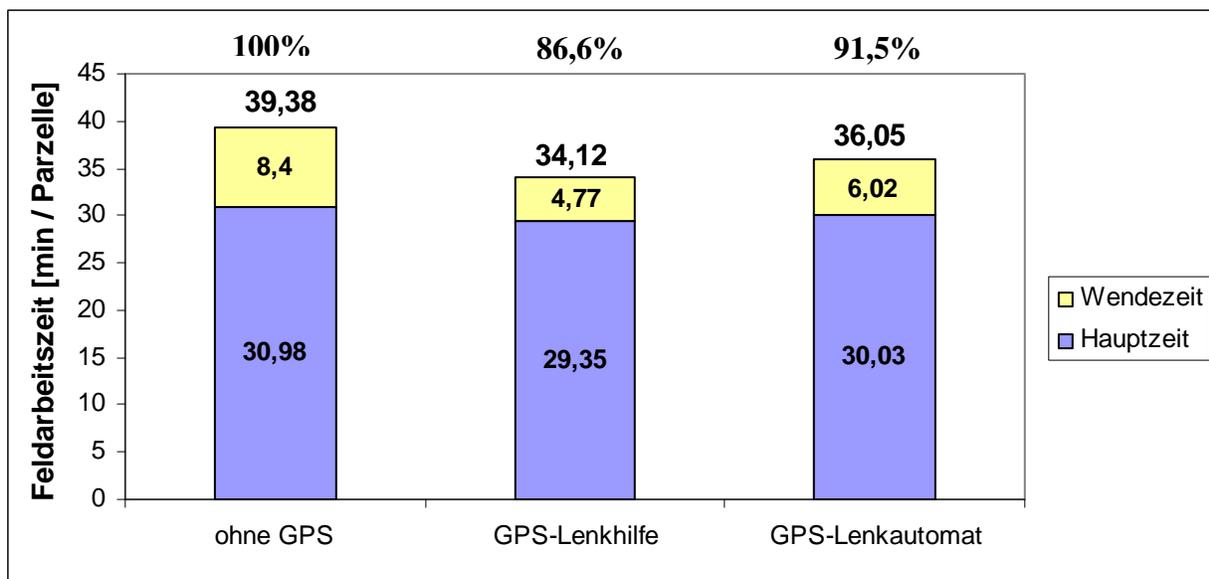


Abbildung 13: Feldarbeitszeit für eine Parzelle (3,186 ha)

Deutlich besser ersichtlich und auch höher ist die Zeitersparnis bei den einzelnen Wendevorgängen. Die bei der manuellen Fahrweise (ohne GPS) angewandte Schwalbenschwanzwende war mit einer durchschnittlichen Wendezeit von 17,39 sec am zeitintensivsten. Bei den beiden GPS-unterstützten Varianten war der Wendevorgang durch die Halbkreiswende in die jeweils übernächste Spur schneller abgeschlossen (GPS-Lenkhilfe 10,61 sec, GPS-Lenkautomat 13,38 sec); außerdem war im Vergleich zur manuellen Fahrweise ein Wendevorgang weniger notwendig.

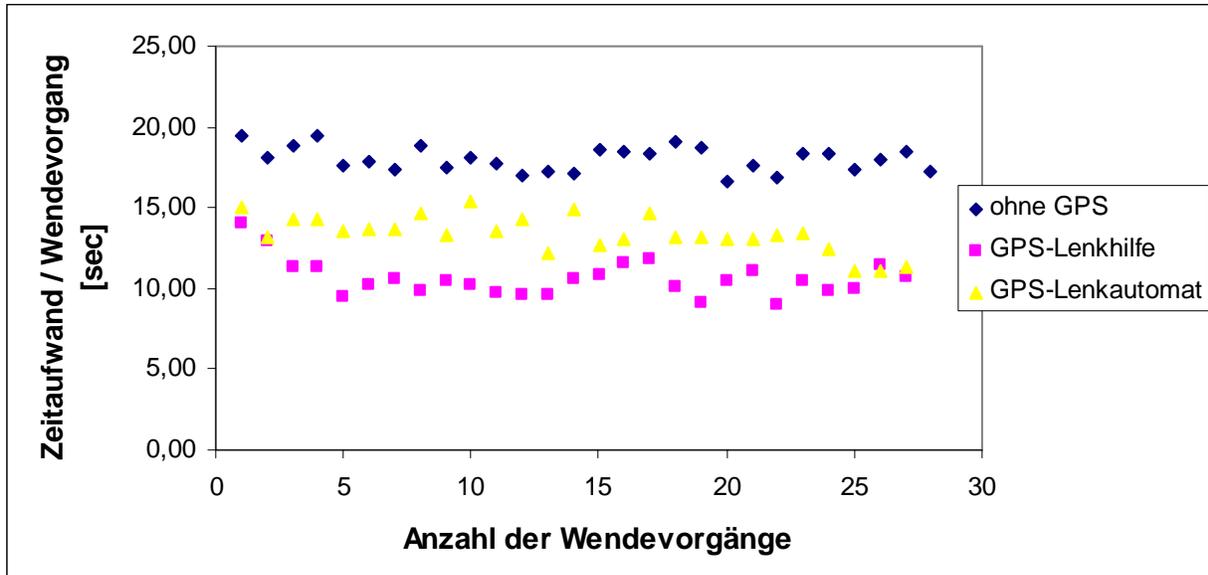


Abbildung 14: Dauer der einzelnen Wendevorgänge

Das Wenden mit dem GPS-Lenkautomaten war im Vergleich zur GPS-Lenkhilfe etwas zeitintensiver, da die automatische Lenkung bei einer zu hohen Geschwindigkeit während des Wendevorganges erst leicht verzögert in die richtige Spur fand (vgl. Abbildung 14). Somit musste man beim Fahren mit dem GPS-Lenkautomaten eine verringerte Geschwindigkeit am Vorgewende wählen, konnte dafür aber bereits während des Wendens (ab knapp 90° zur Bearbeitungsfläche) die automatische Lenkung aktivieren. Der Traktor fand sofort die richtige Linie, wodurch eine sehr exakte Bodenbearbeitung durchgeführt werden konnte.

Zur allgemeinen Verdeutlichung dienen die in Abbildung 13 dargestellten Säulen, die die Feldarbeitszeitersparnis auch in % ausdrücken sollen. Bezogen auf die Versuchspartellen ermöglicht die GPS-Lenkhilfe eine Arbeitszeitersparnis von bis zu 13,4 %. Diesem Wert steht eine etwas geringere Ersparnis von 8,5 % beim GPS-Lenkautomaten gegenüber. Der in der Anschaffung teurere GPS-Lenkautomat zeigte in der Versuchsdurchführung eine bessere Arbeitsqualität und bietet zudem einen besseren Komfort. Wie man den nächsten Abbildungen 16 und 17 entnehmen kann, minimiert sich außerdem der Unterschied in der Arbeitszeitersparnis zwischen GPS-Lenkhilfe und GPS-Lenkautomaten mit zunehmender Feldstücksgröße und Feldstücklänge.

5.1.3 Flächenleistung

Die Flächenleistung ist vor allem für Betriebe, die ihre Arbeitszeit bzw. Arbeitskräfte knapp kalkulieren, ein sehr wichtiger Wirtschaftlichkeitsfaktor. Gerade in sehr arbeitsintensiven Zeiten ist die erhöhte Flächenleistung mit denselben Maschinen eine für viele Betriebe entscheidende Tatsache.

Die Untersuchungen (Abbildung 15) zeigen, dass durch die zusätzliche Überlappung bei der manuellen Fahrvariante ohne GPS die Flächenleistung pro Stunde zwischen 0,5 und knapp einem Hektar geringer als bei den beiden GPS-gestützten Systemen liegt. Umgerechnet auf einen ganzen Arbeitstag (12 Stunden), kann man mit GPS-Lenkautomaten bzw. GPS-Lenkhilfe mit der 5 m breiten Kurzscheibenegge um 5,4 bis 9 Hektar mehr Fläche bearbeiten als mit der herkömmlichen manuellen Fahrweise ohne GPS.

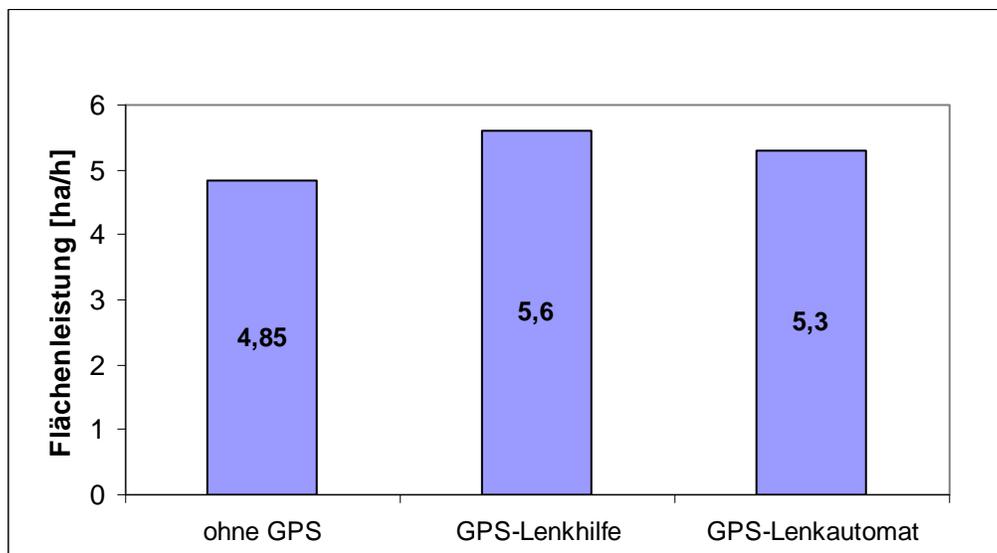


Abbildung 15: Flächenleistung pro Stunde

5.1.4 Veränderung der Feldarbeitszeit in Abhängigkeit von der Feldstückform

Zur weiteren Veranschaulichung wurden zwei Modelle für jeweils 10 ha große Felder mit den Maßen 500 m * 200 m, bzw. 200 m * 500 m erstellt, die auch mit der 5 m Kurzscheibenegge bearbeitet werden sollen. Für diese Modelle wurde die Vorgewendebearbeitung nicht berücksichtigt. Bei der Bearbeitung des Vorgewendes ist außerdem nur eine geringe Ersparnis möglich, da dort normalerweise nicht im Beetmodus, sondern mit dem „normalen“ Anschlussverfahren bearbeitet wird. Somit kommt beim Bearbeiten des Vorgewendes beim Wenden immer die Schwalbenschwanzwende zum Einsatz, da hier nur sehr wenige Längsfahrten notwendig sind.

Die Länge der in Abbildung 16 dargestellten Feldform beträgt 500 m und die Breite 200 m, bei der Abbildung 17 ist das Verhältnis umgekehrt, das heißt, die Länge beträgt 200 m und die Breite 500 m. Wie die beiden Abbildungen zeigen, ändert sich durch die unterschiedliche Feldlänge die Hauptzeit nur unwesentlich, weil die gesamte Bearbeitungsstrecke gleich lang ist. Durch die zahlreichen Wendevorgänge bei kurzer Feldlänge kann durch die schnelle Halbkreiswende, die bei Zuhilfenahme einer GPS-Lenkhilfe und eines GPS-Lenkautomaten angenommen wird, verhältnismäßig viel Zeit eingespart werden. Natürlich liegen nicht immer exakt rechteckige Schläge vor, aber die Abbildungen zeigen, dass auch bei kürzeren Feldstücken ein großes Einsparungspotenzial gegeben ist. Dieses Faktum ist für die vielen kleiner strukturierten Betriebe in Österreich ein besonders positiver Aspekt.

Wie man den Abbildungen 16 und 17 entnehmen kann, wird durch eine zunehmende Schlaglänge und Schlaggröße die Differenz an Arbeitszeiterparnis zwischen GPS-Lenkhilfe und GPS-Lenkautomaten immer kleiner. Je weniger Wendevorgänge nötig sind (bei großen Schlaglängen), desto geringer ist der Unterschied in der Feldarbeitszeit zwischen GPS-Lenkhilfe und GPS-Lenkautomaten. Der GPS-Lenkautomat ist somit bei zunehmender Bewirtschaftungsgröße eine stets interessanter werdende Investition.

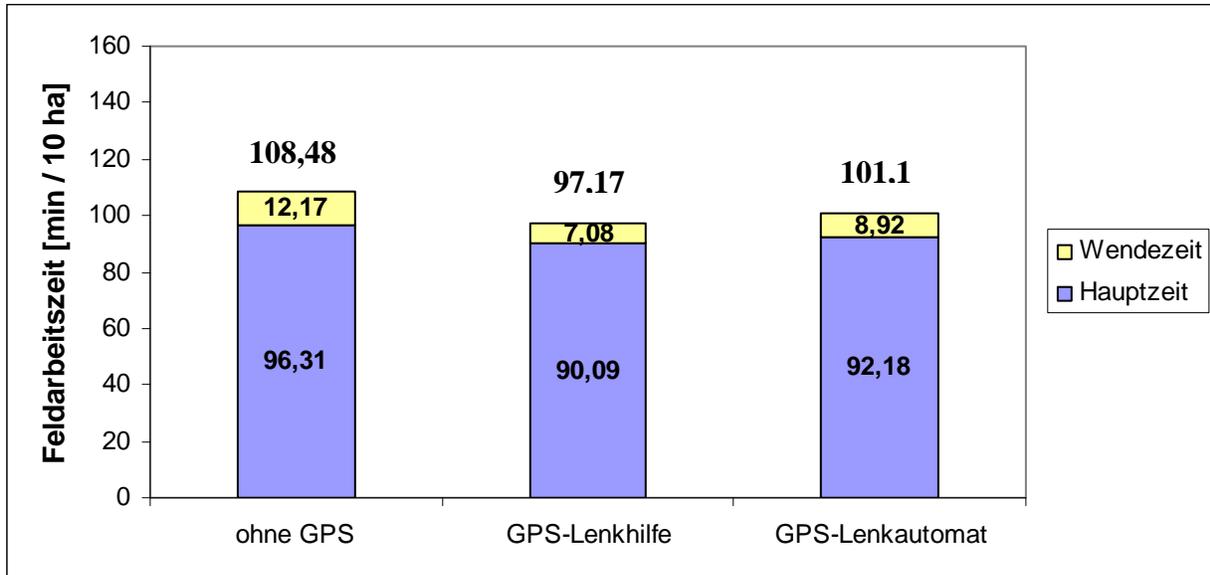


Abbildung 16: Modell für ein 10 ha Feld (500 m Länge x 200 m Breite), ohne Vorgewende

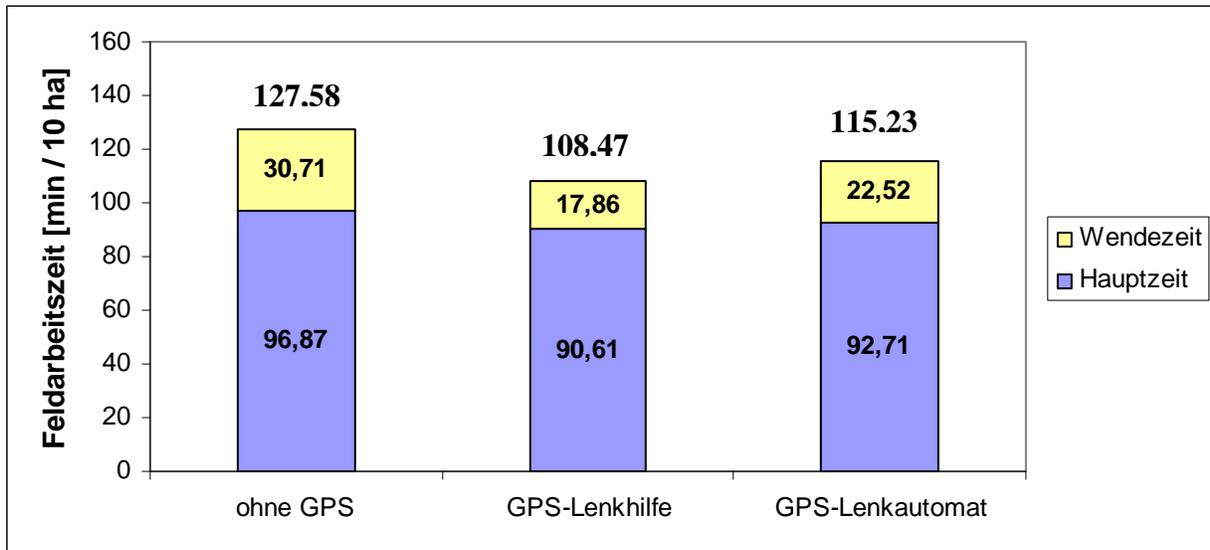


Abbildung 17: Modell für ein 10 ha Feld (200 m Länge x 500 m Breite), ohne Vorgewende

5.1.5 Dieserverbrauch

Der Dieserverbrauch variiert mit der unterschiedlichen Anzahl an Überfahrten pro Parzelle und der unterschiedlichen Wendemethode (somit auch feldarbeitszeitbedingt).

5.1.5.1 Dieserverbrauch laut Traktordisplay

Als Vergleichswerte wurden Mittelwerte des Dieserverbrauchs, die der Traktor am Display anzeigte (Verbrauch pro Stunde), genommen. Pro Längsfahrt auf der Parzelle wurden der momentane Dieserverbrauch und auch die Fahrgeschwindigkeit sechsmal notiert. Im gesamten Teilstück lieferten diese Notizen somit ca. 170 Werte, aus denen ein Mittelwert errechnet wurde.

Tabelle 5 gibt die am Traktordisplay angezeigten Dieserverbrauchswerte der verschiedenen Fahrvarianten und die dazugehörigen Werte der beschreibenden Statistik an. Die Mittelwerte geben einen durchschnittlichen Dieserverbrauch pro Stunde bei der reinen Feldbearbeitung ohne Wendemanöver an.

Tabelle 5: Werte der beschreibenden Statistik bezüglich Dieserverbrauch

	N	Mittelwert [l/h]	Standard- abweichung	Minimum [l/h]	Maximum [l/h]
Ohne GPS	174	36,013	4,3730	26,1	46,1
GPS Lenkhilfe	168	35,292	4,9250	19,3	47,2
GPS- Lenkautomat	168	34,403	3,9571	22,1	44,3
Gesamt	510	35,245	4,4757	19,3	47,2

Der vom Traktor angezeigte Dieserverbrauch pro Stunde wurde umgelegt auf die pro Parzelle benötigte Zeit.

Da die Wendemanöver einen anderen Dieserverbrauch als die Bearbeitung aufweisen, wurden zehn Wendevorgänge (Schwalbenschwanzwende und Halbkreiswende) hintereinander durchgeführt (nachgeahmt). Bei diesen Wendevorgängen wurden pro Manöver sechs Werte notiert und ein Mittelwert errechnet, aus dem mittels der Gesamtzahl an Wendevorgängen pro Versuchsparzelle der genaue Dieserverbrauch pro Versuchsparzelle ermittelt werden konnte.

Der Dieserverbrauch bei der Bearbeitung wurde mit dem Dieserverbrauch bei den Wendevorgängen addiert, wodurch ein Gesamtdieserverbrauch pro Versuchsparzelle (3,186 ha) errechnet werden konnte. Abbildung 18 stellt diese Ergebnisse dar.

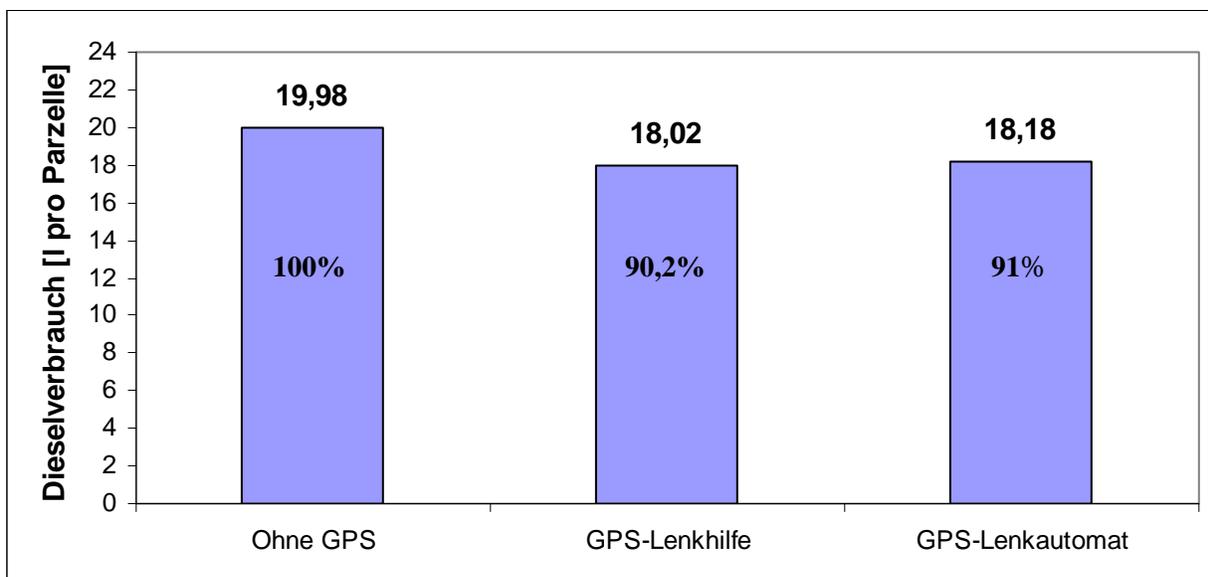


Abbildung 18: Dieserverbrauch pro Versuchsparzelle (3,186 ha), laut Traktordisplay

Der (vom Traktor angezeigte) Dieserverbrauch lässt sich durch GPS-gestützte Lenkmethoden um knapp ein Zehntel minimieren. Somit liegen sowohl Zeit- als auch Diesersparnis jeweils im Bereich von 10 %. Der Unterschied zwischen GPS-Lenkhilfe und GPS-Lenkautomat ist bei dieser Auswertung allerdings minimal.

5.1.5.2 Vergleich angezeigter und gemessener Dieserverbrauch

Laut Mitteilung vom LTC Korneuburg ist der tatsächliche Dieserverbrauch stets niedriger als der vom Traktor angezeigte. Dies bestätigte sich auch beim Versuch. Der tatsächliche Dieserverbrauch war bei allen drei Parzellen niedriger, allerdings war das Verhältnis zwischen tatsächlichem und angezeigtem Verbrauch zum Teil unterschiedlich. Dieses Verhältnis hätte bei den drei Parzellen normalerweise annähernd gleich sein müssen. Beim Fahren ohne GPS-Unterstützung und mit der GPS-Lenkhilfe war diese Differenz zwar ziemlich gleich, allerdings war das Verhältnis zwischen tatsächlichem Verbrauch und angezeigtem Verbrauch beim GPS-Lenkautomaten, im Vergleich zu den beiden anderen Fahrweisen, doch um einiges höher (vgl. Abbildung 19).

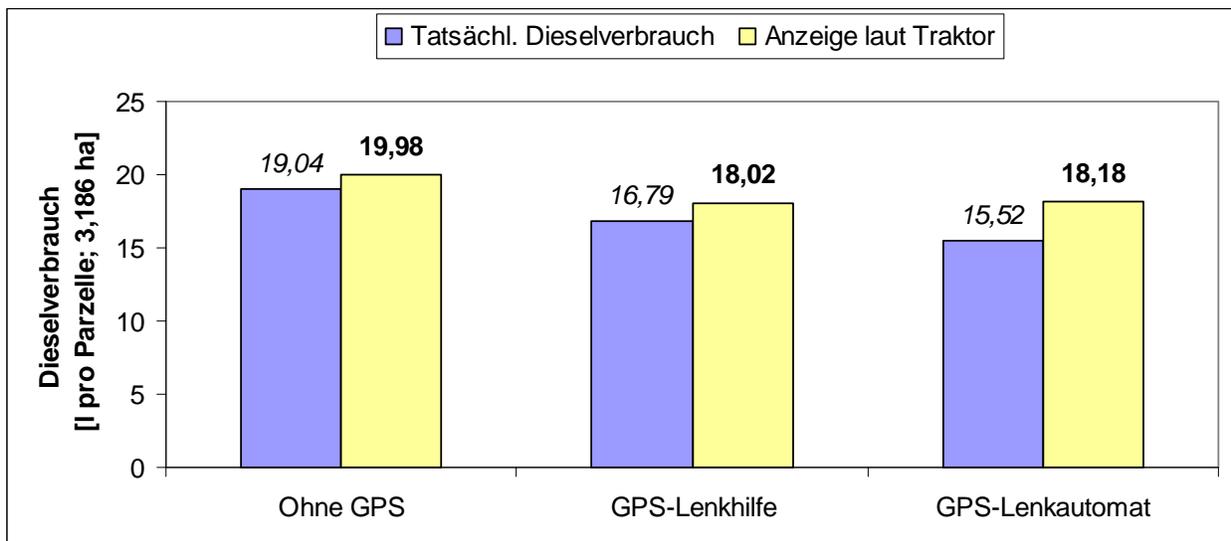


Abbildung 19: Vergleich tatsächlicher und angezeigter Dieserverbrauch

Folgende Erklärungen für den Unterschied können genannt werden:

Die Wendemanöver wurden beim Fahren mit dem GPS-Lenkautomaten mit geringer Motordrehzahl (1100 U/min) durchgeführt, um dem automatischen Lenksystem eine rechtzeitige Spurfindung zu ermöglichen. Dadurch benötigte man zwar etwas mehr Zeit, dieses Wenden mit weniger Umdrehungen pro Minute dürfte dafür allerdings relativ dieselsparend gewesen sein. Ein weiterer Störfaktor, der vielleicht eingetreten sein könnte, ist die Tatsache, dass der Dieseltank des Traktors beinahe 700 Liter fasst. Durch die Größe des Tanks könnten eventuelle Luftpneinschlüsse im

Tank zu einem verringerten Wert geführt haben. Diese Theorie ist allerdings eher in Frage zu stellen, da der Traktor zum Betanken auf einer völlig ebenen Fläche platziert war.

Auch FRASSL hat in seiner Diplomarbeit 2008 erkannt, dass zwischen dem ausgemessenen Dieserverbrauch und dem vom Traktor angezeigten Dieserverbrauch ein Unterschied festgestellt werden kann. Allerdings belief sich dieser Unterschied bei seinen Messungen auf lediglich 2 % und beeinflusste somit seine Ergebnisse nicht.

Für eine Gesamtbetrachtung bezüglich Dieserverbrauch kann eindeutig gesagt werden, dass durch die GPS-unterstützten Lenkvarianten auf jeden Fall eine beachtenswerte Diesersparnis erbracht werden kann.

5.1.6 Systemgenauigkeit

Beim Versuch wurden das kostenlose Korrektursignal Starfire SF 1 von John Deere und das Korrektursignal EGNOS verwendet. Die Genauigkeit war relativ hoch, da das System während der Durchführung mit 8 von 9 „Benutzten Satelliten“ arbeitete. Es ist dies die Anzahl der Satelliten, die der Empfänger in der aktuellen Positionsberechnung verwendet. Verfügbar gewesen wären 9 vom Empfänger „Verfolgte Satelliten“. Ein weiterer Indikator für die Messgenauigkeit ist der PDOP-Wert (Position Dilution of Precision, Positionsverzerrung der Präzision), der die vom Empfänger wahrgenommene GPS-Satellitengeometrie wiedergibt. Er setzt sich aus den beiden HDOP- (Horizontale Verzerrung der Präzision) und VDOP- (Vertikale Verzerrung der Präzision) Werten zusammen. Ein niedriger Wert (unter 3,5) deutet auf ein gutes Signal hin [JOHN DEERE, 2005]. Bei der Versuchsdurchführung lag der Wert zwischen 2,0 und 2,1, der für ein besonders genaues Signal spricht.

5.1.6.1 Abweichung von der Ideallinie

Für die Ermittlung der Arbeitsgenauigkeit wurde folgendermaßen vorgegangen: Bei jeder Parzelle wurden 26 Längsfahrten vorgenommen und anschließend wurde vom Parzellenende an fünf Punkten (nach 10 m, 65 m, 120 m, 175 m, 230 m) bis zur bearbeiteten Fläche gemessen. Im Ide-

alfall (5 m Arbeitsbreite) hätten noch 5 m auf die gesamte Parzellenbreite (135 m) unbearbeitet gewesen sein müssen. Da im Bedienteil des GreenStar Systems eine Arbeitsbreite von 4,9 m eingestellt wurde, um eine sichere Bearbeitung der Fläche zu gewährleisten, hätte somit unter Zuhilfenahme von GPS-Lenkhilfe/ GPS-Lenkautomaten eine bearbeitete Flächenbreite von 127,4 m (26 x 4,9 m) vorliegen müssen. Abbildung 20 zeigt die Abweichung von diesen 127,4 m an den oben genannten fünf Punkten.

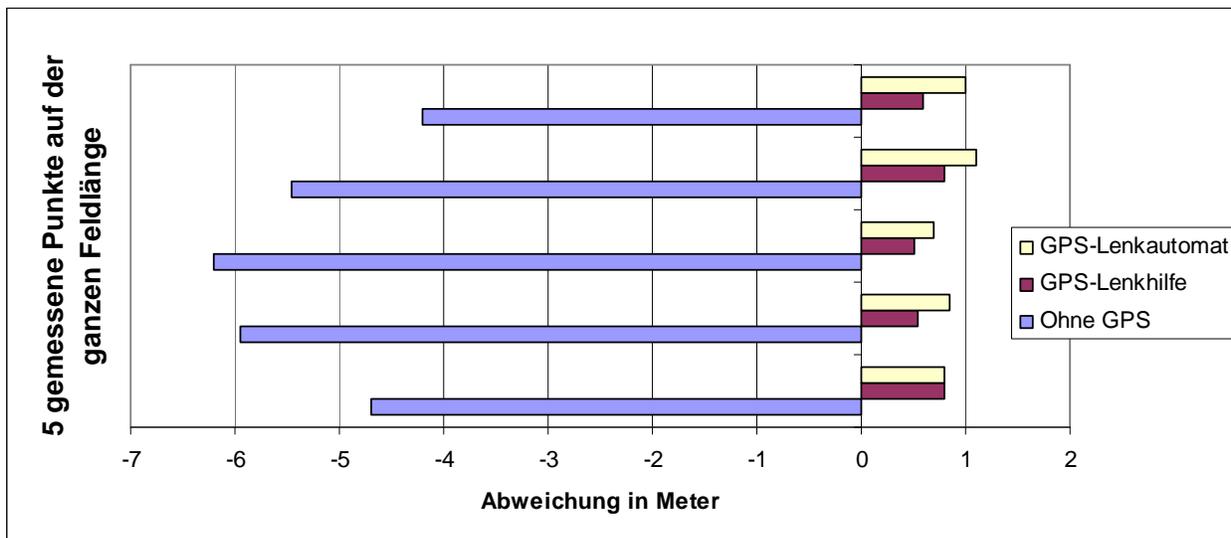


Abbildung 20: Abweichung von der Ideallinie

Der Punkt 0 auf der Skala stellt die Linie nach 26 Längsfahrten (127,4 m) dar, die Balken die Abweichung von dieser Linie in m.

Bei der Fahrweise ohne GPS, die sich in Abbildung 20 auch auf 127,4 m bezieht, war die Abweichung von der Ideallinie durch die starke Überlappung, um mit Sicherheit die gesamte Fläche zu bearbeiten, nach 26 Überfahrten besonders hoch. Der Fahrer musste sich besonders darauf konzentrieren, bei der relativ hohen Bearbeitungsgeschwindigkeit beim Anschlussfahren nicht zu viel Abstand zur bearbeiteten Fläche zu lassen. Dadurch fährt man normalerweise „auf Sicherheit“ und nimmt eine unnötige Überlappung in Kauf, um nicht einzelne Streifen unbearbeitet zu lassen. Beim Fahren mit der GPS-Lenkhilfe bzw. mit dem GPS-Lenkautomaten war die Abweichung von der 127,4 m Linie relativ gering. Bei beiden Varianten betrug die Abweichung an allen fünf Messpunkten nach 26 Überfahrten lediglich 50 cm bis 110 cm. Bei diesen beiden Fahrweisen

wurde nicht weniger Breite als 127,4 m bearbeitet, sondern um 50 cm bis 110 cm mehr. Da die Kurzscheibenegge eine technische Breite von 5 m besitzt und somit nach 26 Längsfahrten eine theoretische Breite von 130 m bearbeitet hätte werden können, hatte diese Ungenauigkeit keine Konsequenzen. Die vorgegebene Feldbreite wurde folglich vollständig bearbeitet.

Die Abweichung von 50 cm bis 110 cm könnte durch folgende Faktoren begründet werden: Vom Hersteller des Systems wird bei dem verwendeten Korrektursignal Starfire SF 1 eine Ungenauigkeit von +/- 20 cm angegeben. Diese Ungenauigkeit könnte durch den „Zeitfehler“ (kleine Ungenauigkeiten zwischen Empfängeruhr und Satellitenuhr), der „Mehrwegeausbreitung“ (Reflexion des Satellitensignals an Objekten, Bäumen), dem „Orbitalen Fehler“ (die Kreisbahn der Satelliten entspricht nicht der vorausgerechneten Bahn) und durch den „Atmosphärischen Fehler“ (Fehler als Folge von atmosphärischen Einwirkungen) hervorgerufen werden (POKORNY, 2009).

Bei der Parzellenbearbeitung mit der GPS-Lenkhilfe kam es durch leichte Fahrfehler zu einer partiellen Streifenbildung (vgl. Abbildung 21).



Abbildung 21: Partielle Streifenbildung bei der Bearbeitung mit der GPS - Lenkhilfe

Aufgrund der relativ hohen Geschwindigkeit (14 km/h) war es vor allem bei der ersten Bearbeitungsrichtung (jede 2. Spur) relativ schwierig, ohne Anschluss an eine bearbeitete Fläche, nur nach dem Bildschirm auf 10 cm genau, eine gerade Linie zu halten. Wahrscheinlich wäre es bei einer derartigen Geschwindigkeit für den Fahrer einfacher, im Bedienteil eine Arbeitsbreite von 4,8 m einzugeben. Somit wäre mehr Platz für etwaige Fahrfehler und man hätte trotzdem noch weniger Überlappung, als ohne GPS-Lenkhilfe zu fahren.

5.1.6.2 Überlappungsgrad

Um ein aussagekräftiges Ergebnis darzustellen, wurde für alle drei Varianten die Überlappung des Bearbeitungsgerätes pro Überfahrt in Prozent errechnet. Tabelle 6 gibt zunächst die durchschnittliche, effektiv bearbeitete Flächenbreite nach 26 Überfahrten, die unbearbeitete Flächenbreite nach eben diesen 26 Längsfahrten und die Überlappung pro Überfahrt in Prozent an.

Tabelle 6: Bearbeitungsbreite, Überlappungen

	Bearbeitete Breite	Unbearbeitete Breite	Überlappung pro Überfahrt	Prozentualer Überlappungsgrad
Ohne GPS	122,1 m	7,9 m	30,3 cm	6,07 %
GPS-Lenkhilfe	128,05 m	1,95 m	7,5 cm	1,5 %
GPS-Lenkautomat	128,29 m	1,71 m	6,6 cm	1,32 %

Die Überlappung pro Überfahrt beim Bearbeiten ohne GPS – Unterstützung ist im Vergleich zu den beiden anderen Varianten relativ hoch. Es wird somit deutlich, dass durch die Genauigkeit von GPS-gestützten Lenksystemen Ersparnisse in vielen Bereichen (Betriebsmittel, Arbeitsgeräte, Kraftstoff, Arbeitszeitbedarf) möglich sind. Zwischen GPS-Lenkhilfe und GPS-Lenkautomaten ist der Unterschied marginal, allerdings ist die Genauigkeit in der Spurführung des GPS-Lenkautomaten um einiges besser (siehe oben: Partielle Streifenbildung).

Die „unnötig“ doppelt bearbeiteten Flächen verringern die Flächenleistung und verursachen zusätzliche variable Kosten.

Mit der dadurch verringerten effektiven Arbeitsbreite erhöht sich folglich auch die Anzahl an Überfahrten, die pro Hektar notwendig sind. In Abbildung 22 wird diese Aussage für alle drei Varianten am Beispiel des Versuchsfeldes (Länge 236 m) dargestellt.

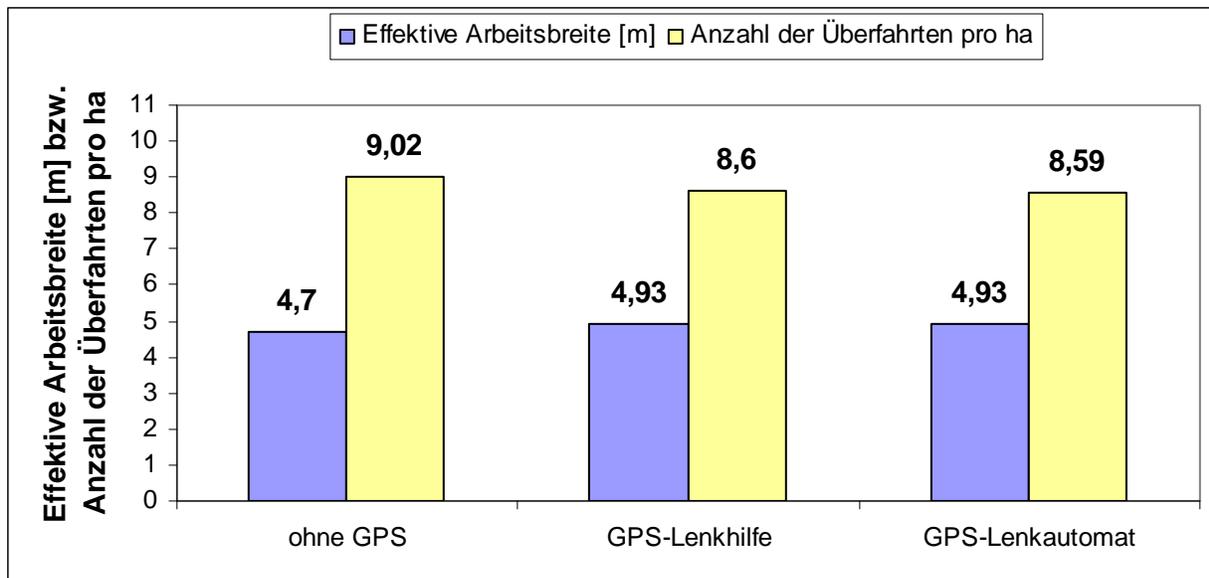


Abbildung 22: Überfahrten pro ha in Abhängigkeit von der effektiven Arbeitsbreite bei 236 m Schlaglänge (Technische Arbeitsbreite 5 m)

Die Verringerung der Überfahrten pro Hektar bewirkt eine Einsparung der variablen Kosten. Diese Kosteneinsparung bezieht sich auf die Bereiche Betriebsmittelkosten, Kraftstoffkosten, Maschinenkosten und Lohnkosten.

Auch Herr Keller vom Gut Möschenfeld, Grasbrunn, führte Untersuchungen zu Einsparungsmöglichkeiten beim Einsatz von GPS-Lenkautomaten durch. Auf seinem 411 ha großen Betrieb arbeitet er mit zwei Fendt Traktoren mit Auto Guide GPS-Lenkautomaten. Bei seinen Versuchen testete er die Arbeitsgenauigkeit des GPS-Lenkautomaten mit drei verschiedenen Arbeitsgeräten (Grubber mit 6,8 m Arbeitsbreite; Tiefgrubber mit 4 m Arbeitsbreite; Feldspritze mit 30 m Arbeitsbreite) aus. Bei den beiden Bodenbearbeitungsgeräten bearbeitete er nach 20 Längsfahrten mit dem Auto Guide System eine um jeweils ca. 7 m breitere Fläche als bei der Vergleichsfläche

ohne Lenkunterstützung. Daraus resultiert eine um 5 bis 9 % verringerte Überlappung. Dieser Wert ist den Ergebnissen aus dem Versuch mit der Kurzscheibenegge relativ gleichzusetzen. Bei seinem Vergleichsversuch mit der Feldspritze erreichte er eine um 10 % verringerte effektive Arbeitsbreite bei der manuellen Fahrvariante ohne GPS [KELLER, 2009].

5.1.7 Ökonomische Bewertung

In diesem Kapitel wird eine ökonomische Bewertung für eine Zwischenfruchtaussaat mit der im Versuch verwendeten Maschinenkombination vorgenommen.

5.1.7.1 Einsparung an Saatgut

Für die ökonomische Bewertung wurde ein Modell für die Aussaat der Zwischenfrucht „Öpulfit“ (Senf, Buchweizen) erstellt, wie sie im Jahr 2008, mit der beim Versuch verwendeten Kurzscheibenegge mit montiertem Feinsämereienstreuer, von einer Maschinengemeinschaft durchgeführt worden ist. Als Saatgutkosten wurden die handelsüblichen Preise angenommen und die Maschinen- bzw. Lohnkosten wurden über die vom ÖKL vorgeschlagenen Werte errechnet.

Durch die mit verringerter effektiver Arbeitsbreite erhöhte Anzahl an Überfahrten erhöhen sich auch der Saatgutbedarf und somit auch die Saatgutkosten. Der Saatguterzeuger empfiehlt eine Menge von 25 kg / ha, von der auch bei diesem Modell bei der Abdreprobe und somit auch bei der Basisberechnung (Idealfall 5 m Arbeitsbreite, somit keine Überlappungen) ausgegangen wurde. In Abbildung 23 wird somit ersichtlich, dass durch die jeweiligen Überlappungen mehr Saatgut pro Hektar notwendig wird, und somit auch die Kosten steigen.

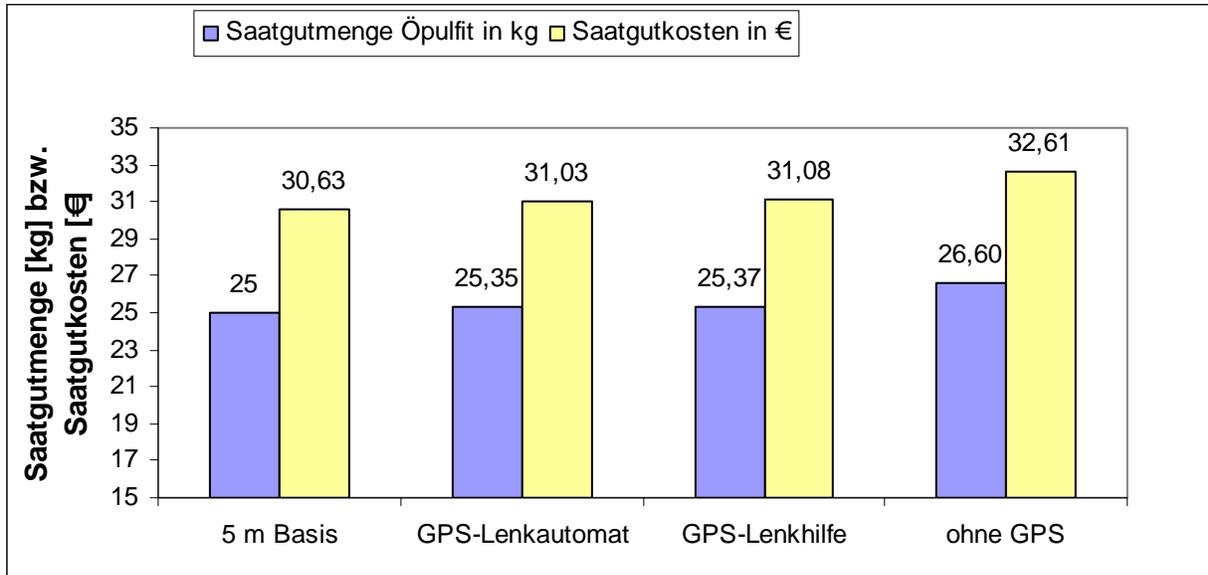


Abbildung 23: Saatgutmenge und –kosten pro ha Zwischenfruchtaussaat

5.1.7.2 Einsparung an Arbeitserledigungskosten

Die Kostenersparnis bezieht sich allerdings nicht nur auf die Betriebsmittelkosten wie beim dargestellten Saatgut (Abbildung 23), sondern auch auf die Arbeitserledigungskosten (Abbildung 24), die durch eine verringerte Zahl an Überfahrten ebenfalls geringer sind.

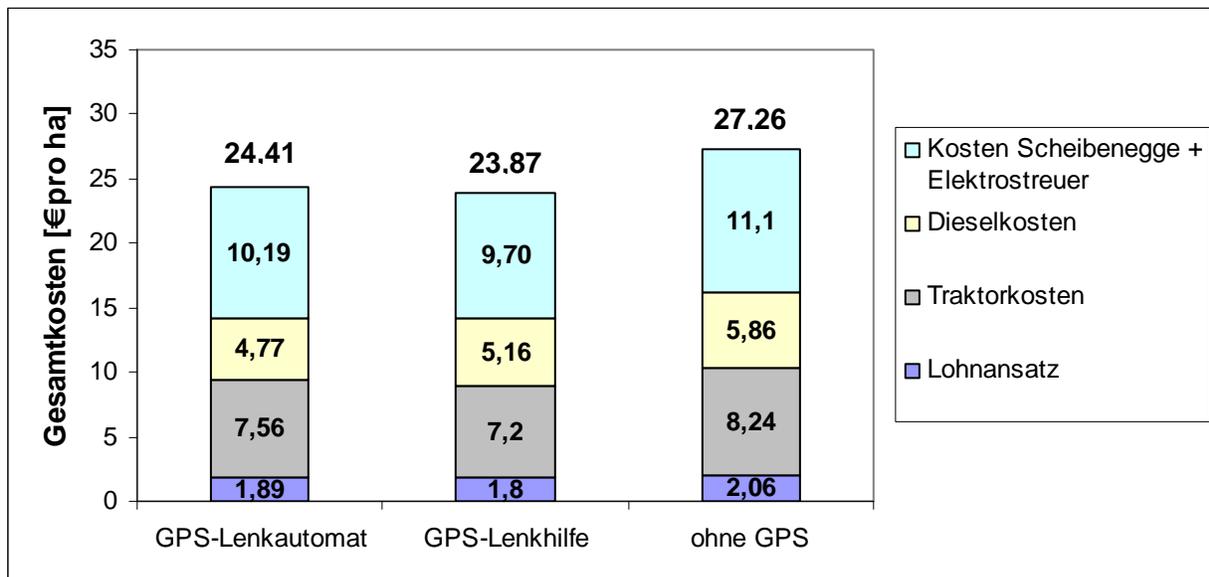


Abbildung 24: Arbeitserledigungskosten bei der Zwischenfruchtaussaat auf 1 ha (in Bezug auf 236 m Schlaglänge und ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für das Lenksystem)

Für diese Arbeitserledigungskosten wurden reale Werte angenommen, die vom ÖKL bezogen wurden. Als Lohnansatz für den Fahrer wurden 10,00 €/pro Stunde kalkuliert, der Traktor wurde, ohne Diesel, mit 40,00 €/pro Stunde angesetzt. Die Dieselkosten wurden mit dem auf der jeweiligen Parzelle entstandenen Verbrauch, mit einem Preis von 0,98 €/pro Liter, errechnet. Die Kosten für eine 5 m breite Kurzscheibenegge mit einem darauf montierten Feinsämereienstreuer beliefen sich in diesem Modell auf 53,90 €/pro Stunde.

Mit den genannten Werten und den Feldarbeitszeiten auf den einzelnen Parzellen konnte Abbildung 24 erstellt werden, die einen Kostenvergleich der einzelnen Lenkvarianten zeigt. Auch bei den Arbeitserledigungskosten ist eine beachtliche Einsparung von bis zu 3,50 €/pro Hektar möglich. Es muss allerdings erwähnt werden, dass bei diesem Modell die Investitionskosten für das

GPS-Lenksystem noch nicht berücksichtigt worden sind. In der anschließend durchgeführten Wirtschaftlichkeitsrechnung kommen die Investitionskosten für das GPS-Lenksystem natürlich zu Tragen.

Ein Faktor, den man eigentlich nicht monetär bewerten kann, der aber vor allem für den GPS-Lenkautomaten spricht, ist die damit erreichbare verbesserte Arbeitsqualität. Der Unterschied in der Einsparung zwischen GPS-Lenkhilfe und GPS-Lenkautomaten ist sehr gering. Es sind vor allem der gebotene Komfort und die Genauigkeit in der Spur (siehe partielle Streifenbildung), die für dieses Lenksystem sprechen. Die nachfolgende Tabelle 7 zeigt eine Darstellung der Gesamtkosten bei der Zwischenfruchtaussaat mit dieser Maschinenkombination.

Tabelle 7: Gesamtkosten bei der Zwischenfruchtaussaat auf 1 ha (in Bezug auf eine Schlaglänge von 236 m und ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für das Lenksystem)

	GPS-Lenkautomat	GPS-Lenkhilfe	Ohne GPS
Notwendige Überfahrten	8,59	8,6	9,02
Bearbeitete Fläche [ha]	1,0134	1,0148	1,0647
Saatgutbedarf [kg]	25,33	25,37	26,62
Saatgutkosten [€]	31,03	31,08	32,61
Arbeitsstunden [h]	0,189	0,18	0,206
Lohnansatz [€]	1,89	1,8	2,06
Traktorkosten [€]	7,56	7,2	8,24
Dieselskosten [€]	4,77	5,16	5,86
Aussaatkosten [€]	10,19	9,7	11,1
Gesamtkosten	55,44 €	54,95 €	59,87 €
Differenz	4,43 €	4,92 €	

Die Gesamtkostenersparnis bei der Zwischenfruchtaussaat beträgt bei der GPS-Lenkhilfe 4,92 € (8,2%) und beim GPS-Lenkautomaten 4,42 € (7,4%). Mit diesen Werten und den Investitionskosten für eine GPS Lenkhilfe bzw. einen GPS-Lenkautomaten wurde eine Annuitätenrechnung und weiters eine Wirtschaftlichkeitsrechnung erstellt, ab welcher Einsatzfläche sich derartige Systeme rechnen. Um die Kalkulation zu vereinfachen, wurde diese Rechnung unter der Annahme durchgeführt, dass dieses System nur für die Zwischenfruchtaussaat verwendet wird (vgl Tabelle 8).

Eine Gesamtkalkulation für alle Arbeitsvorgänge, bei denen diese Lenksysteme Anwendung finden, folgt im zweiten Versuch.

Tabelle 8: Kostenersparnis und Mindesteinsatzfläche beim Zwischenfruchtanbau bei Verwendung von Lenkhilfe und Lenkautomaten

	Parallel Tracking GPS-Lenkhilfe	AutoTrac GPS-Lenkautomat
Investitionskosten [€]	4940	15210
Nutzungsdauer [Jahre]	6	6
Zinssatz [%]	6	6
q	1,06	1,06
Annuität (Kapitalkosten) [€/Jahr]	1004,61	3093,15
Kostenersparnis auf 1 ha [€]	4,92	4,42
Mindesteinsatzfläche ha/Jahr	204	700

Die Kalkulation wurde mit Produkten der Firma John Deere (GPS-Lenkhilfe, genannt Parallel Tracking und GPS-Lenkautomat, genannt AutoTrac) und den aktuellen Preisen vom August 2009 erstellt. Bei der GPS-Lenkhilfe und dem GPS-Lenkautomaten wurde von einer Nutzungsdauer von sechs Jahren und einem Zinssatz von 6 % ausgegangen, was als realistisch angesehen werden kann. Der in der Anschaffung deutlich teurere GPS-Lenkautomat rechnet sich nur für größere Einsatzflächen. Geht man aber davon aus, dass das System sicherlich bei fünf bis sechs Arbeitsgängen pro Fläche und Jahr eingesetzt werden kann, verringert sich daher die für die wirtschaftliche Rentabilität des Systems notwendige Betriebsgröße.

5.2 Versuch im April 2009

Mit dem zweiten Versuch dieser Diplomarbeit sollten Modellparameter für die Wirtschaftlichkeitsrechnung einer GPS-Lenkhilfe bzw. eines GPS-Lenkassistenten für einen realen Betrieb gewonnen werden. Um Möglichkeiten für monetäre Einsparungen aufzuzeigen, sind die wichtigsten Ergebnisse der Parzellenversuche kurz angeführt:

In Abbildung 25 ist die Feldarbeitszeit für die einzelnen Fahrvarianten mit dem Grubber (3 m) dargestellt. Das Ergebnis ist mit dem des Versuches im August 2008 vergleichbar und bestätigt nochmals das Einsparungspotential durch die GPS-Lenkhilfe und den GPS-Lenkassistenten in punkto Feldarbeitszeit. Die meiste Zeitersparnis ergibt sich durch die veränderte Wendemethode bei der GPS-Lenkhilfe und dem GPS-Lenkautomaten.

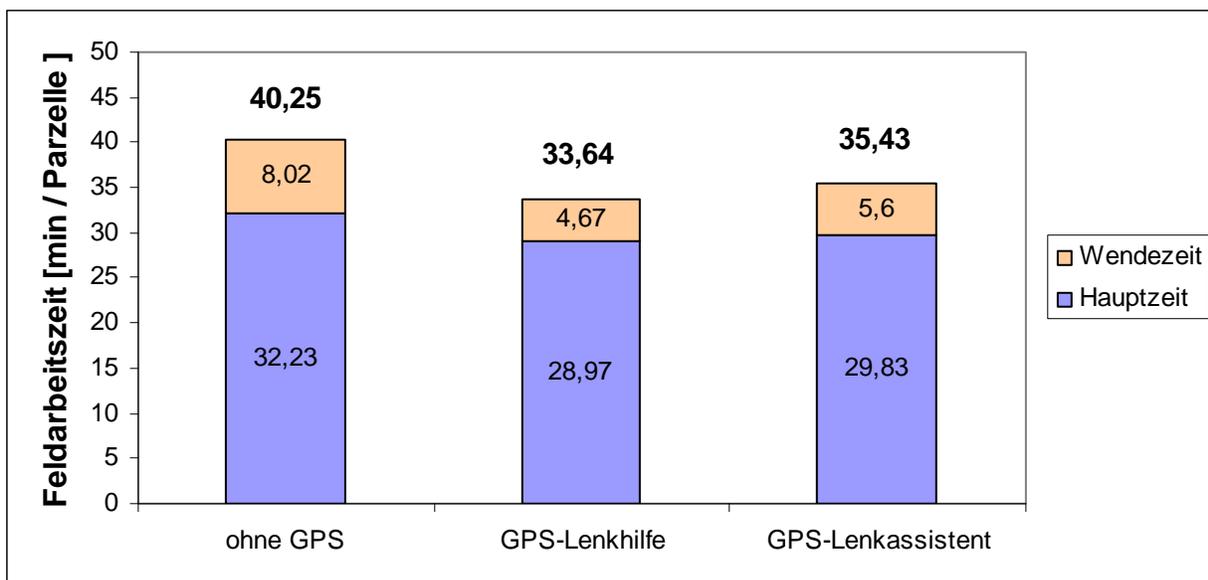


Abbildung 25: Feldarbeitszeit für eine Parzelle (184 m x 81 m; 1,49 ha)

Die Abbildungen 26 und 27 stellen die effektiven Arbeitsbreiten des 3 m Bodenbearbeitungsgerätes und des 15 m Anbaugerätes bei unterschiedlichen Lenkvarianten dar. Im Bedienungsmonitor des GPS – Programmes wurde jeweils eine um 10 cm verringerte Arbeitsbreite eingestellt, das heißt 14,9 m bzw. 2,9 m.

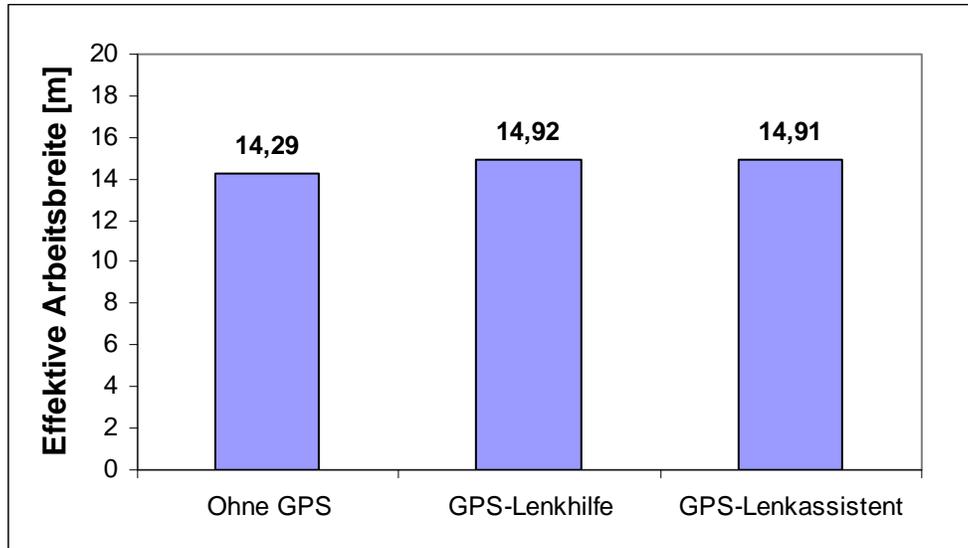


Abbildung 26: Effektive Arbeitsbreite 15 m Gerät

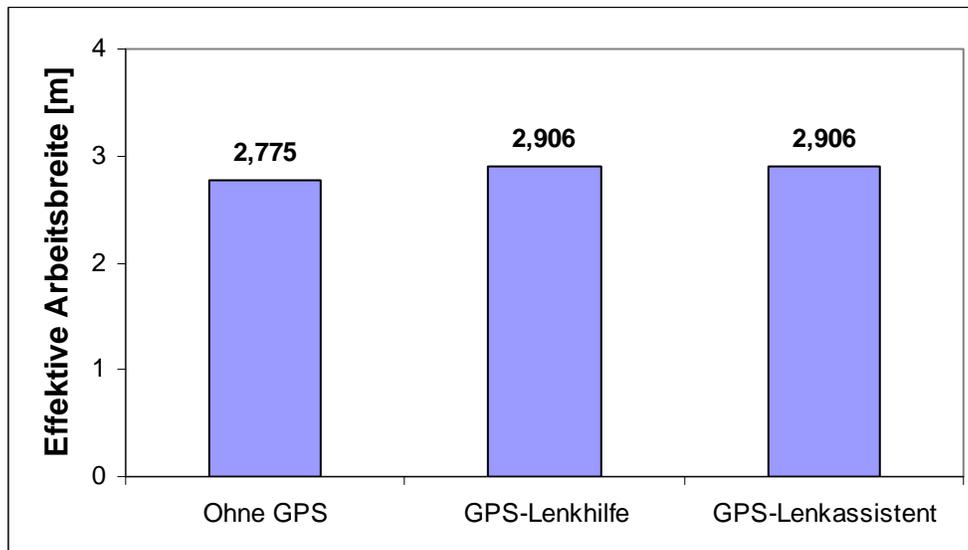


Abbildung 27: Effektive Arbeitsbreite 3 m Gerät

Mit Hilfe dieser Werte, der durchschnittlichen Geschwindigkeit, dem durchschnittlichen Dieselverbrauch, sowie den Parametern Maschinenkosten, Lohnkosten und Betriebsmittelkosten konnten die nachfolgenden Berechnungen durchgeführt werden. Ergänzend muss noch erwähnt werden, dass bei den Kontrollmessungen beim 15 m-Versuch bei der manuellen Lenkvariante, ohne GPS, Fehlstellen entdeckt wurden. Als Toleranzgrenze für die applizierte Flächenbreite einer

Überfahrt wurde durch Kontrollmessungen eine Breite von 15,2 m festgelegt. Bei dieser Breite sind noch keine Fehlstellen erkennbar, da bis zu dieser maximalen Breite der Dünger noch sichtbar gleichmäßig verteilt ist. Bei der Lenkvariante ohne GPS-Unterstützung kam es allerdings zu kleinen unbehandelten Fehlstellen, wo der Abstand von Fahrspur zu Fahrspur mehr als 15,2 m betrug. Für die nachstehenden Berechnungen wurden die Fehlstellen mit einem prozentuellen Gesamtflächenanteil von 0,63 % nicht berücksichtigt. Diese Fehlstellen liefern folglich weniger Ernteertrag, allerdings ist eine monetäre Bewertung dieser unbehandelten Flächen in Zusammenhang mit einer Wirtschaftlichkeitsrechnung relativ schwierig durchzuführen.

Beim Bodenbearbeitungsversuch mit dem 3 m breiten Grubber konnten bei allen drei Varianten keine Fehlstellen erkannt werden.

In einem im Frühjahr 2009 durchgeführten Versuch für die Zeitschrift „Der fortschrittliche Landwirt“ wurde ebenfalls die Arbeitsgenauigkeit des GPS-Lenkassistenten „John Deere AutoTrac Universal“ getestet. Wie auch bei dem im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführten Versuch, wurde das Original Lenkrad des Versuch-Traktors demontiert, das AutoTrac-Lenkrad aufgebaut und das kostenlose SF 1 Signal verwendet. Der Hersteller garantiert für dieses Signal eine Genauigkeit von +/- 20 cm. Im Praxisversuch versuchte man mit diesem Signal ohne Spurreißer die Maisausaat. Obwohl für dieses Signal eine Arbeitsungenauigkeit von bis zu 20 cm angegeben wurde, klappte die Maisaussaat perfekt und die Anschlussgenauigkeit war der eines geübten Fahrers mit Spurreißer gleichzusetzen. Auch der integrierte Neigungsausgleich funktionierte zur vollsten Zufriedenheit und glich Bodenunebenheiten und Hangneigungen automatisch aus. Die seitliche Abdrift von gezogenen Geräten kann allerdings nur mit einem zweiten Empfänger am Gerät ausgeglichen werden. Die Genauigkeit, die bei diesem Versuch erreicht wurde, war bis vor wenigen Jahren nur mit kostenpflichtigen Korrektursignalen möglich [PAAR, 2009].

Selbiger GPS-Lenkassistent erreichte auch bei dem für diese Diplomarbeit durchgeführten Versuch eine erstaunlich hohe Genauigkeit.

5.2.1 Betriebsbezogene Wirtschaftlichkeitsrechnung – Modellierung

Um eine betriebsbezogene Wirtschaftlichkeitsrechnung durchführen zu können, werden in den nächsten Seiten die in Punkt 4.2.4 angeführten Arbeitsvorgänge behandelt. Die Maschinenkosten sind anhand der ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten 2009 [ÖKL-2009] berechnet worden. Bei Betrachtung der einzelnen Arbeitsschritte werden allerdings die Investitionskosten für eine GPS-Lenkhilfe bzw. für einen GPS-Lenkassistenten noch nicht berücksichtigt. In den Abbildungen 28 bis 35 wird das Einsparungspotential aufgrund der schnelleren, effektiveren Arbeitsweise monetär dargestellt. Bei der abschließenden Wirtschaftlichkeitsrechnung werden schließlich mit Hilfe der Investitionskosten für eine GPS-Lenkhilfe bzw. einen GPS-Lenkautomaten die Mindesteinsatzflächen bzw. die Mindestgrundflächenausstattung errechnet. In dieser Diplomarbeit wird, wie bereits erwähnt, nur eine rechteckige Feldform angenommen. Unterschiedliche Feldformen würden eine enorme zusätzliche, komplizierte Rechnungsweise verlangen. Die Grundaussagen können mit der Annahme dieser Feldform gemacht werden. Alle nachstehenden Berechnungen beziehen sich auf eine Feldstücksgröße von 3,62 ha, eine Feldlänge von 309 m und eine Feldbreite von 117,25 m.

5.2.1.1 Glyphosatanwendung im Frühjahr nach Zwischenfrucht

Die Kennwerte für die Glyphosatanwendung (Tabelle 9) dienen als Grundlage für die Berechnung des Einsparungspotentials bei der Glyphosatanwendung im Frühjahr.

Tabelle 9: Kennwerte für die Glyphosatanwendung

Traktor 90 kW (ohne Diesel)	16,13	€/h
Feldspritze 15 m (Luftunterstützt)	44,09	€/h
Lohnansatz	10	€/h
Glyphosatkosten	7,9	€/l
Aufwandmenge	3,5	l/ha
Treibstoffverbrauch	9,2	l/h
Treibstoffkosten pro l	0,89	€
Treibstoffkosten pro h	8,19	€

Die Berechnung erfolgte nach dem in der Praxis üblicherweise gehandhabten Schema:

Zuerst wird das Feld rundherum bearbeitet und anschließend werden die einzelnen parallelen Längsfahrten bis zum Ende des Feldes durchgeführt. Bei der letzten Überfahrt können die 5 Teilbreiten (je 3 m) der 15 m breiten Feldspritze einzeln abgeschaltet werden, um eine bereits applizierte Fläche nicht nochmals zu bearbeiten.

Mit Hilfe der Ergebnisse aus den Versuchspartzen wurde die Dauer für eine einzelne Überfahrt und für einen einzelnen Wendevorgang errechnet. Mit diesen Werten und der effektiven Arbeitsbreite wurde für jede Lenkvariante die Feldarbeitszeit eines Feldes (3,62 ha) errechnet.

Die Gesamtkosten und die potentielle Ersparnis für ein Feldstück (3,62 ha) sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Mögliche Ersparnis bei der Glyphosatanwendung auf einem Feldstück (3,62 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)

	Manuell	GPS-Lenkhilfe	GPS-Lenkassistent	
Feldarbeitszeit	0,35	0,317	0,32	h
Gesamtkosten	134,35	127,18	127,40	€
Ersparnis		7,18	6,95	€

Die gesamte im Frühjahr behandelte Fläche von 165 ha entspricht 45,5 Feldstücken. Abbildung 28 stellt somit die Gesamtkosten und das Ersparnispotential bei diesem Arbeitsvorgang dar.

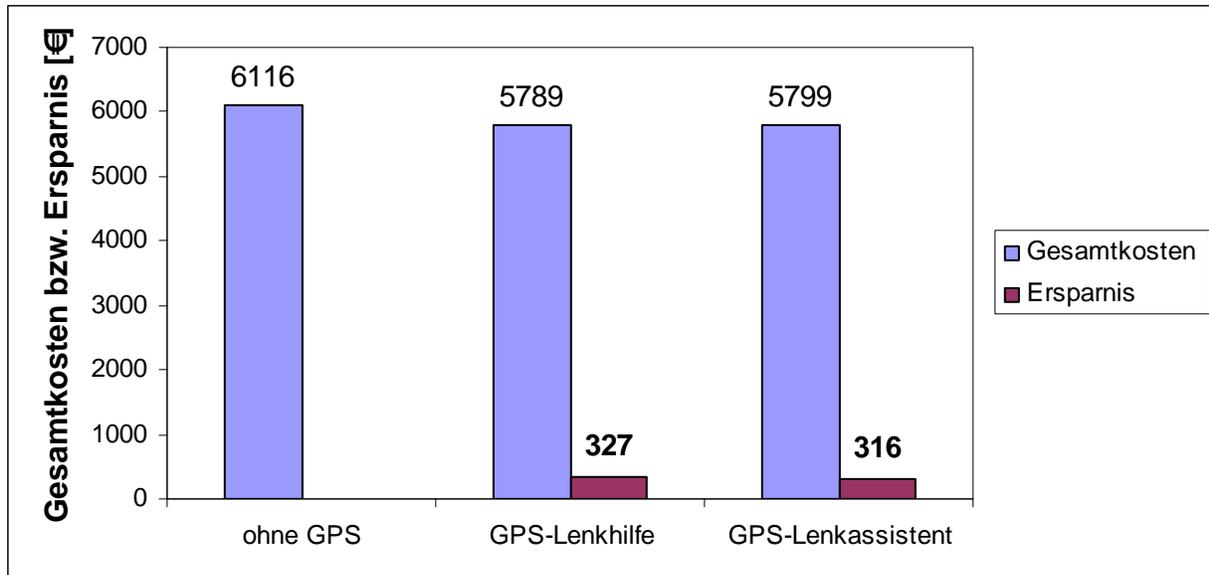


Abbildung 28: Gesamtkosten für die Glyphosatanwendung im Frühjahr (165 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)

5.2.1.2 Ausbringung von Mineraldünger

Die Ausbringung von Mineraldünger wird auf den Feldern der Gemeinschaft nur bei zwei Arbeitsvorgängen mit Lenkunterstützung durchgeführt. Bei den restlichen Applikationen sind normalerweise Fahrgassen vorhanden, wodurch keine GPS-Unterstützung notwendig ist.

Die Modellierung wurde für die Ausbringung von Volldünger vor der Frühljahrsaussaat von Mais und Zuckerrübe und für die Ausbringung der gleichen Menge Volldünger nach der Stoppelbearbeitung nach Winterweizen gemacht. Die relativ hohe Menge an Volldünger nach der Stoppelbearbeitung wird zwar nicht der Realität entsprechen, allerdings stand zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Schrift noch nicht fest, welcher Dünger hier eingesetzt werden wird. Aufgrund der zurzeit relativ hohen Schwankungen bei den Düngerpreisen wird diese Entscheidung erst kurzfristig getroffen. Somit wurde für diese Kalkulation einfach die gleiche Menge wie im Frühjahr angenommen, obwohl in Wirklichkeit wahrscheinlich nur die halbe Menge und ein Dünger mit

einer anderen Zusammensetzung (weniger Stickstoff, mehr Kalium) appliziert werden wird. Mit den in Tabelle 11 angeführten Kennwerten wurde die Berechnung vorgenommen.

Tabelle 11: Kennwerte für die Ausbringung von Handelsdünger

Traktor 90 kW (ohne Diesel)	16,13	€/h
Pneum. Exakt-Düngerstreuer	24,73	€/h
Lohnansatz	10	€/h
Vollkorn (17-10-14)	0,525	€/kg
Aufwandmenge	500	kg/ha
Treibstoffverbrauch	9,2	l/h
Treibstoffkosten pro l	0,89	€
Treibstoffkosten pro h	8,19	€

Die Berechnung erfolgte nach demselben Schema wie bei der Glyphosatanwendung. Zuerst wird rundherum bearbeitet und anschließend werden die parallelen Längsfahrten bis zum Ende der Parzellenbreite durchgeführt. Bei der letzten Parallelfahrt können wieder einzelne Teilbreiten des Exaktstreuers (vier Teilbreiten zu je 3,75 m) getrennt voneinander abgeschaltet werden, um eine doppelte Applikation zu vermeiden. Die Abbildungen 29 und 30 stellen die Gesamtkosten und das Einsparungspotential bei der Frühjahrsdüngung (131 ha) und bei der Nacherntedüngung (138 ha) dar.

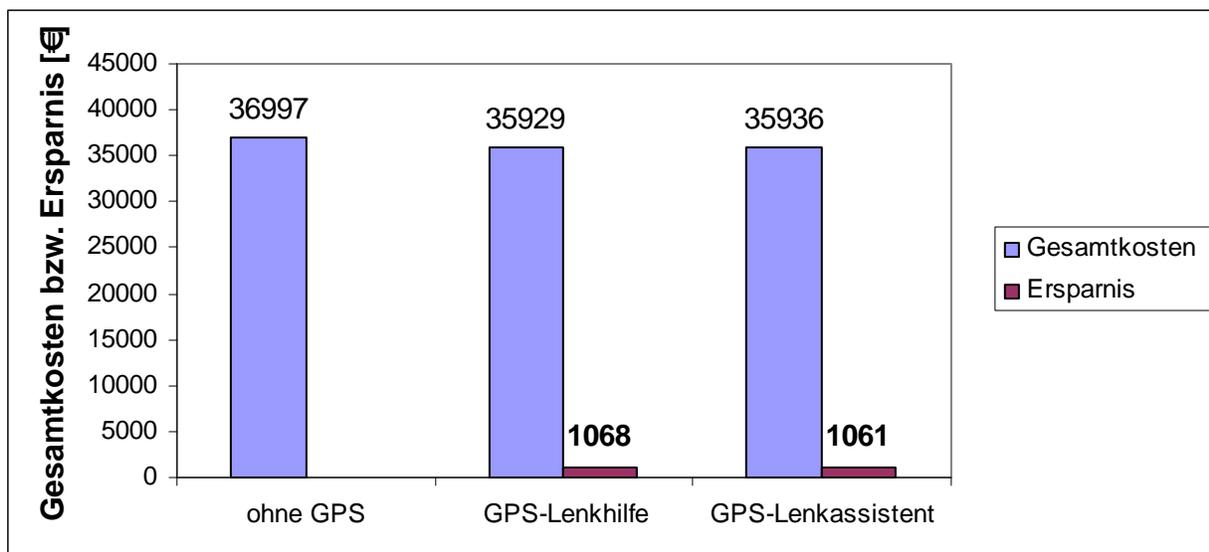


Abbildung 29: Düngung im Frühjahr vor Zuckerrüben- und Maisaussaat (131 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)

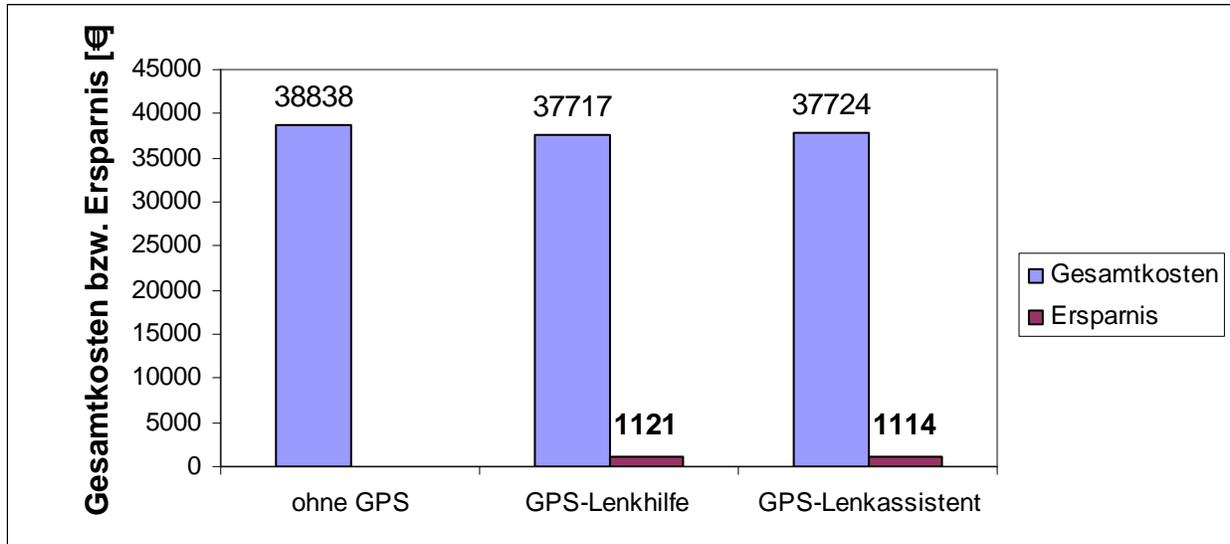


Abbildung 30: Düngung im Sommer nach der Stoppelbearbeitung (138 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)

Aufgrund der hohen Düngerpreise im aktuellen Frühjahr 2009 kann durch die GPS-Lenkhilfe bzw. den GPS-Lenkassistenten mittels geringerer Überlappung eine markante Einsparung erreicht werden. Bei den beiden Arbeitsvorgängen können insgesamt bis zu 2.200,00 € eingespart werden. Es gäbe zwar andere Möglichkeiten, die Arbeitsgenauigkeit auch ohne GPS Unterstützung zu verbessern, wie zum Beispiel mittels Messzirkel Fahrgassen abzustecken. Allerdings würde diese Tätigkeit bei der hier großen Anzahl an Feldern einen enormen Zeitaufwand bedeuten, womit für die Düngung beinahe mit dem doppelten Arbeitszeitbedarf gerechnet werden müsste.

Für die Arbeitsschritte mit 15 m breiten Anbaugeräten ist festzuhalten, dass durch die Wendevorgänge hier nicht viel Zeit eingespart werden kann. Bei dieser Arbeitsbreite liegt die Haupteinsparung vor allem im Bereich der Betriebsmittel.

5.2.1.3 Aussaat der Zwischenfrucht

Als ideal erweist sich der Einsatz von GPS-Lenkunterstützungen auch für die Zwischenfruchtaussaat mit einem Feinsämereienstreuer auf eine Arbeitsbreite von 15 m. Dieses Arbeitsgerät erlaubt eine Arbeitsbreite bis zu 20 m, allerdings würde da wahrscheinlich das Streubild bereits Abwei-

chungen darstellen. Die Aussaat der Zwischenfrucht soll auf den gegrubberten Weizenfeldern erfolgen, um danach mit der Kurzscheibenegge seicht eingearbeitet zu werden. Dieser Arbeitsschritt kann theoretisch mit dem Einarbeiten des Saatgutes kombiniert werden. In dieser Diplomarbeit sollen diese beiden Vorgänge getrennt voneinander erläutert werden. Für die Kalkulation in punkto Arbeitsgenauigkeit und Wendezeit wurden die Werte der Versuchspartellen vom April 2009 herangezogen. Als Zwischenfruchtsaatgut diente in dieser Kalkulation die Saatgutmischung „Öpulfitt“ und als Kostenfaktor wurde der handelsübliche Preis des Jahres 2008 angenommen.

Die Berechnung der Feldarbeitszeit erfolgte folgendermaßen: Zuerst bearbeitet man die Längsfahrten und zum Schluss das Vorgewende – auf beiden Seiten mit jeweils einer Überfahrt.

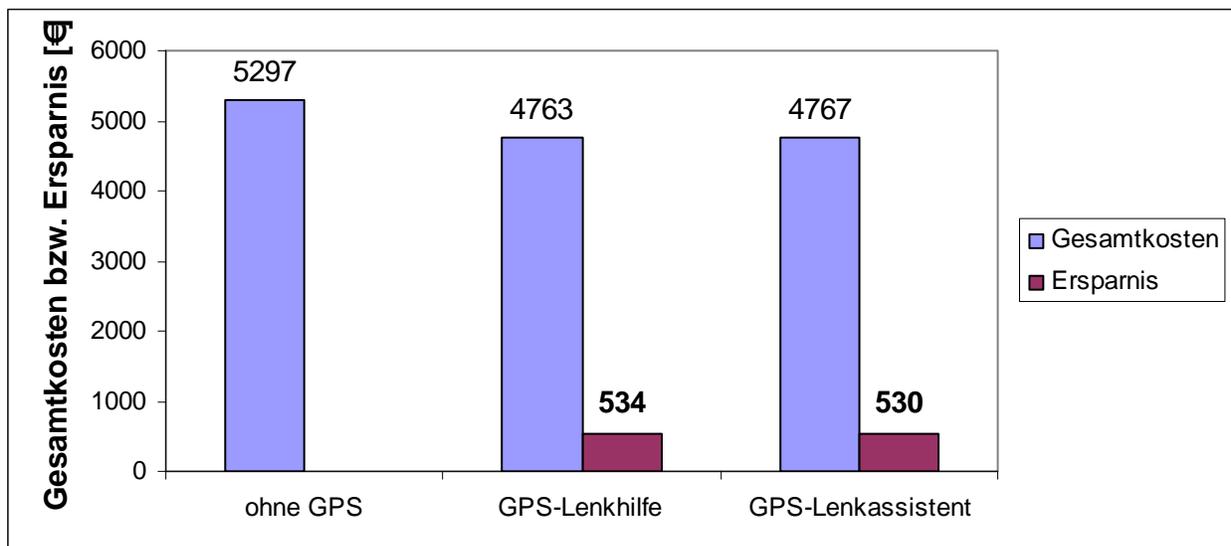


Abbildung 31: Gesamtkosten und mögliche Ersparnis bei der Zwischenfruchtaussaat mit einem Feinsämereienstreuer (138 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)

Den größten Beitrag zur möglichen Ersparnis stellen hier die Arbeitsgenauigkeit und somit die verringerten benötigten Betriebsmittel dar (vgl. Abbildung 31).

5.2.1.4 Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung wird stets mit 3 m breiten Arbeitsgeräten durchgeführt. Berechnungen bezüglich Einsparungspotential wurden für die bereits in Punkt 4.2.4 genannten Arbeitsschritte durchgeführt. Ein Großteil dieser Arbeiten wird mit dem Grubber durchgeführt, für den auch tatsächlich ausgemessene Daten des Versuches zur Verfügung stehen. Für die weiteren Bodenbearbeitungsvorgänge wurden bezüglich Dieserverbrauch und Fahrgeschwindigkeit relativ realitätsgetreue Werte angenommen (vgl. Tabelle 4 und 12).

Tabelle 12: Kennwerte für die Bodenbearbeitung

Traktor 90 kW (ohne Diesel)	16,13	€/h
Grubber (4-balkig)	24	€/h
Scheibenegge 3 m	20	€/h
Kreiselegge	20	€/h
Lohnansatz	10	€/h
Dieselpreis	0,89	€
Dieserverbrauch Grubber	17,2/18,5/18,1*	l/h
Dieserverbrauch Kreiselegge	17	l/h
Dieserverbrauch Scheibenegge	15	l/h

*ohne GPS, GPS-Lenkhilfe, GPS-Lenkautomat

Wie auch schon bei der Auswertung von Feldspritze und Düngerstreuer erwähnt, wurde bei der Berechnung des Einsparungspotentials so vorgegangen, wie es auch in der Realität praktiziert wird. Zuerst werden hier die Längsfahrten durchgeführt und zum Schluss das Vorgewende bearbeitet. In den nachstehenden Berechnungen wurde ein Vorgewende mit der Breite von ca. 12 m gewählt. Es wären somit pro Vorgewende vier Überfahrten notwendig. Mit den Daten des Parzellenversuches im April 2009 konnte eine durchschnittliche Bearbeitungsdauer einer Längsfahrt errechnet werden. Die jeweils unterschiedlichen Wendezeiten wurden für die Kalkulation mit einberechnet. Bei der Bearbeitung des Vorgewendes wurde als Wendemethode generell bei allen drei Fahrvarianten die Schwalbenschwanzmethode gewählt, da bei lediglich vier Querfahrten auch in der Praxis nur diese möglich ist.

In den nachstehenden Abbildungen 32 und 33 sind die möglichen Einsparungspotentiale bei den Bodenbearbeitungsvorgängen dargestellt.

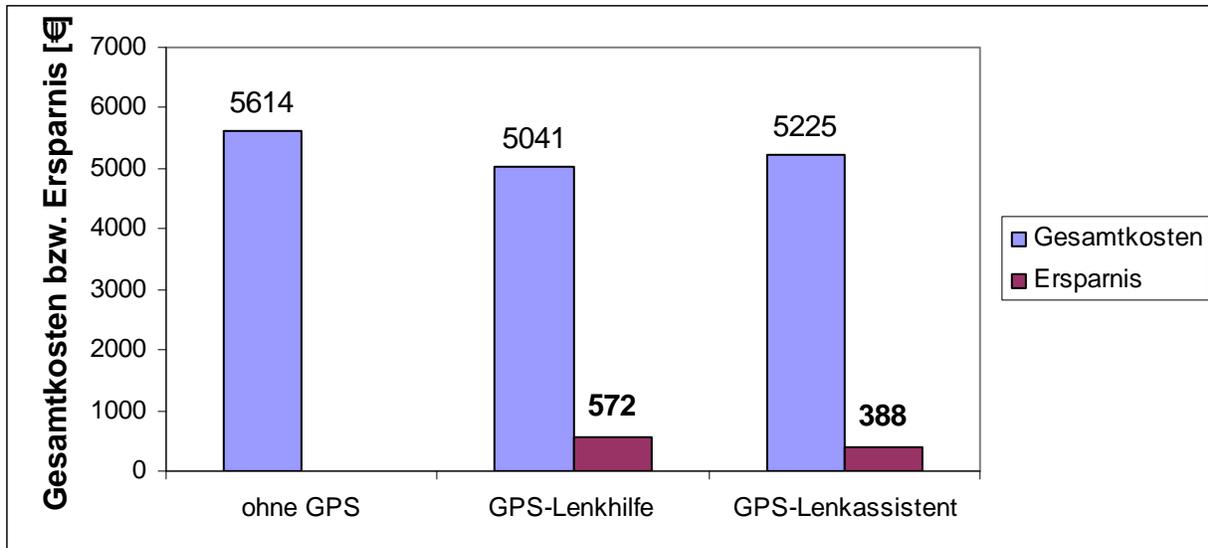


Abbildung 32: Gesamtkosten und mögliche Ersparnis bei der Bodenbearbeitung mit dem Grubber im Frühjahr (206 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)

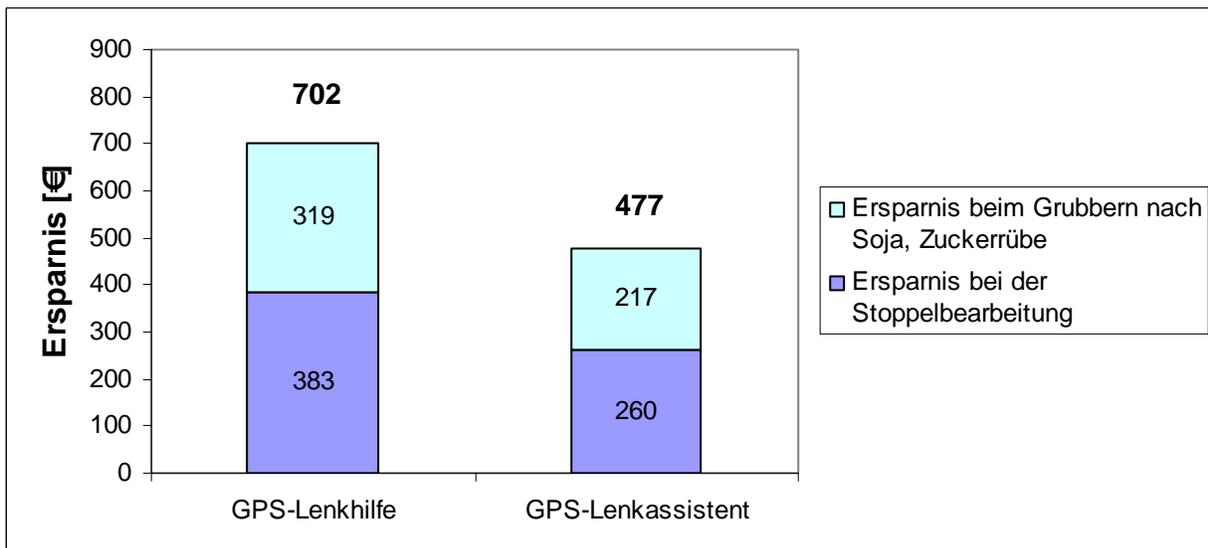


Abbildung 33: Mögliche Ersparnis bei der Bodenbearbeitung mit dem Grubber bei der Stoppelbearbeitung (138 ha) bzw. nach Sojabohne und Zuckerrübe (115 ha) und ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem

Das in den Abbildungen 32 und 33 dargestellte Einsparungspotential kann vor allem durch die zeitsparende Beetbearbeitung und der dafür verwendeten Halbkreiswende erreicht werden. Ein weiterer Faktor, der zu verringerten Kosten führt, ist die, im Vergleich zur herkömmlichen Fahrweise ohne GPS, erhöhte effektive Arbeitsbreite. Dadurch sind pro Feldstück einige Überfahrten einzusparen. Für die oben dargestellten Abbildungen konnten praktisch durchgeführte Messungen mit eben diesem Grubber herangezogen werden. Bei den weiteren Arbeitsvorgängen – die Frühjahrssaatbeetbereitung mit einer Kreiselegge und das Einarbeiten der oberflächlich gestreuten Zwischenfrucht (Arbeitsbreite jeweils drei Meter) – wurden die gleiche Arbeitsgenauigkeit und die gleichen Wendezeiten angenommen (Abbildung 34 und 35).

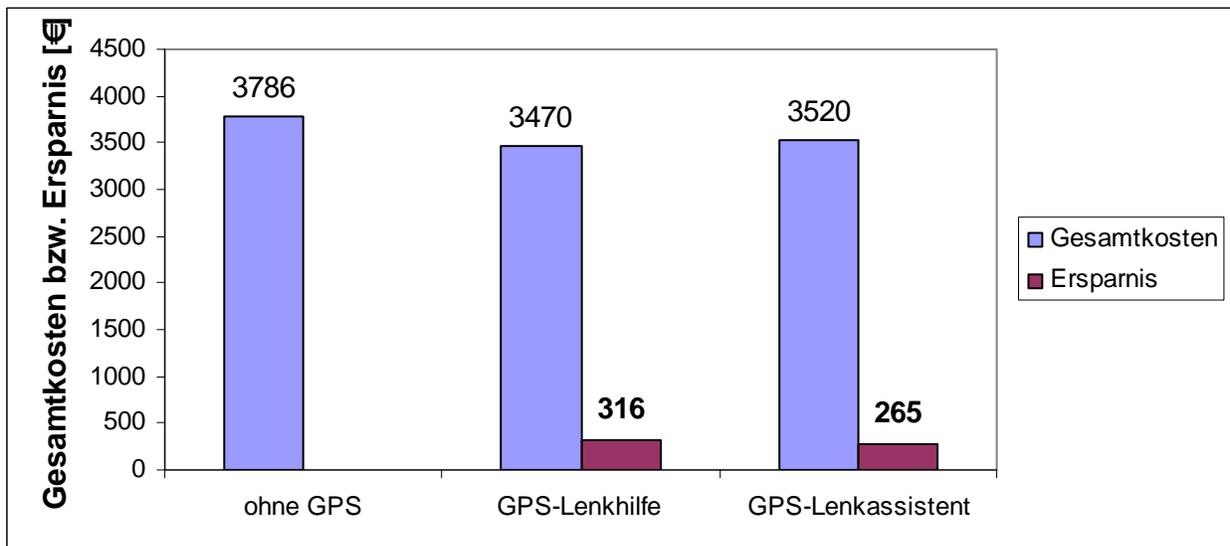


Abbildung 34: Gesamtkosten und mögliche Ersparnis bei der Saatbeetbereitung für Mais und Zuckerrübe mit der Kreiselegge (131 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)

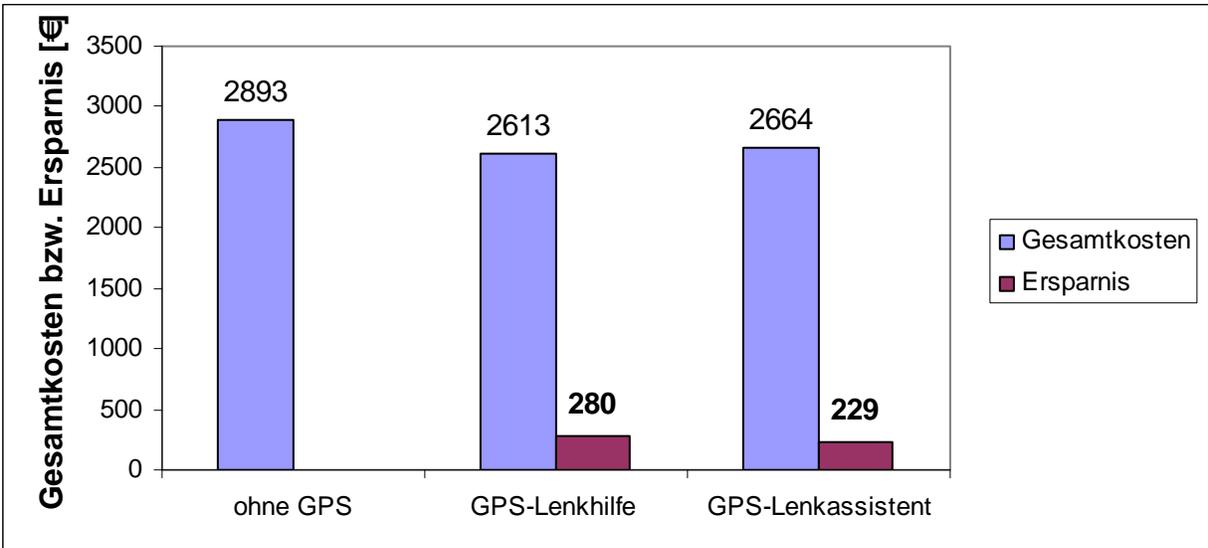


Abbildung 35: Gesamtkosten und mögliche Ersparnis beim Einarbeiten der Zwischenfrucht mit der Kurzscheibenegge (138 ha, ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem)

Wie die Abbildungen zeigen, ist auch bei Arbeitsvorgängen, bei denen keine Betriebsmittel außer Diesel benötigt werden, eine relevante Ersparnis möglich. Natürlich muss man auch bedenken, dass diese Berechnungen mehr oder weniger nur eine Modellierung sind und in der Praxis sicherlich andere Werte erzielt werden würden. In der Realität würde natürlich nie ein Feld dem anderen in Länge und Breite und auch in der Bodenstruktur gleichen. Auch die Hangneigung der einzelnen Felder wurde hier nicht berücksichtigt und würde vor allem die Arbeitsgenauigkeit der Bodenbearbeitungsgeräte durch die Seitenzugkräfte beeinträchtigen.

5.2.1.5 Übersicht über das Einsparungspotential von GPS-Lenkhilfe und GPS-Lenkassistenten ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für ein Lenksystem

Die nachfolgenden Abbildungen 36 und 37 stellen die prozentuale Einsparung der beiden Lenkunterstützungen bei den genannten neun Arbeitsvorgängen dar. Die prozentuale Verteilung ist ziemlich ähnlich, allerdings verändert sich das Verhältnis beim GPS-Lenkassistenten zugunsten der 15 m breiten, Betriebsmittel benötigenden Arbeitsgeräte.

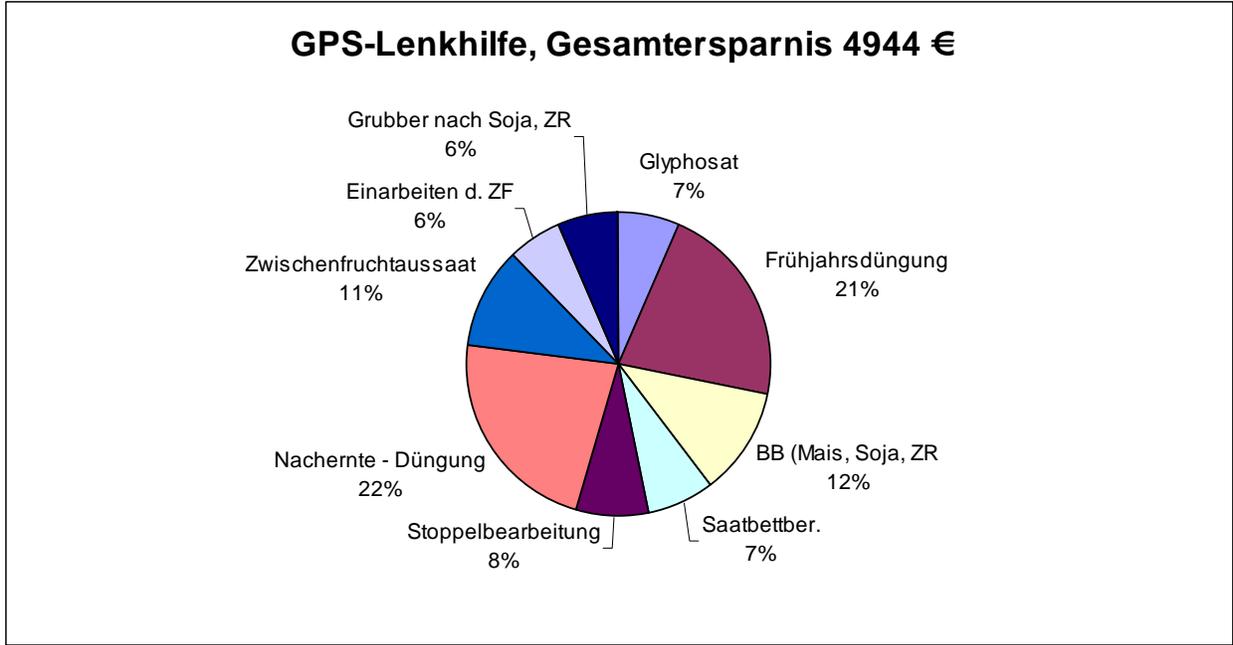


Abbildung 36: Verteilung der Gesamtersparnis bei GPS-Lenkhilfe (Gesamteinsatzfläche 1300 ha)

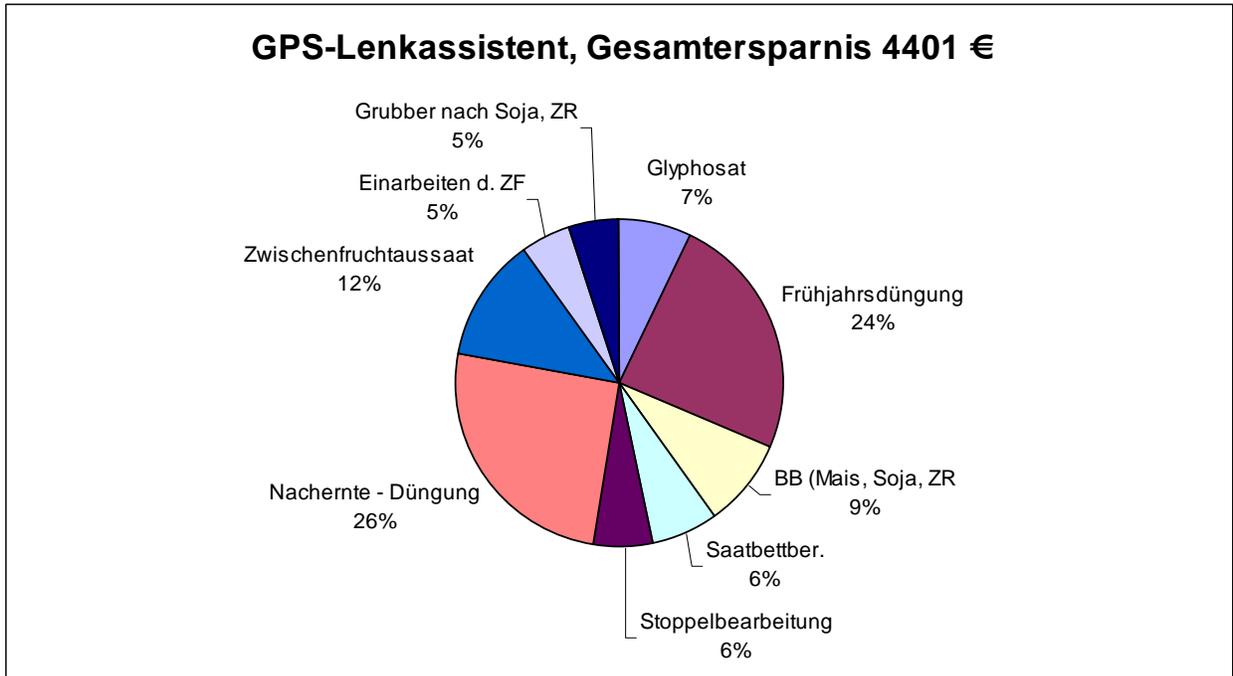


Abbildung 37: Verteilung der Gesamtersparnis bei GPS-Lenkassistenten (Gesamteinsatzfläche 1300 ha)

Die monetäre **Gesamtersparnis pro Hektar** Einsatzfläche liegt bei diesem Beispielbetrieb bei durchschnittlich **3,80 €/ha** bei der **Lenkhilfe** und bei **3,38 €/ha** beim **Lenkassistenten**. Diese Werte sind Durchschnittswerte der gesamten Arbeitsvorgänge und variieren je nach Arbeitsvorgang. Bei diesen Angaben wurden die Investitionskosten für das Lenksystem noch nicht berücksichtigt.

Herr Johann Keller vom Gut Möschenfeld sieht die größten Vorteile von GPS-Lenkunterstützungen auch in der Wirtschaftlichkeit, bei der Einsparung der variablen Kosten (ca. 5–10 %) und zusätzlich in der Entlastung des Fahrers. Bei schlechten Witterungs- und Sichtbedingungen (z.B.: Nebel, Staub) ist für ihn ein ruhigeres Arbeiten auf der Maschine möglich. Herr Keller zitiert: „Man optimiert nicht nur Flächenleistung, Dieserverbrauch und Wirtschaftlichkeit, sondern fördert auch die Leistungsbereitschaft der Mitarbeiter“ [KELLER, 2009].

Die von Keller genannten Einsparungen im Bereich von 5-10% bei den variablen Kosten sind den in dieser Diplomarbeit errechneten Einsparungen (Variable Kosten und Fixkosten) relativ gleichzusetzen, wobei es doch je nach Arbeitsvorgang gewisse Unterschiede gibt (Lenkhilfe 2,9 %-10,2 %, Lenkassistent 2,9 %-10 %).

5.2.1.6 Mindestbetriebs- bzw. Mindesteinsatzfläche

Tabelle 13 stellt die Gesamteinsatzfläche der GPS-Lenkunterstützung bei der Maschinengemeinschaft Dorninger – Zittmayr dar. Die GPS-Lenkunterstützung kommt somit auf ein und derselben Fläche einige Male zum Einsatz. Aufgrund der hohen Arbeitsgenauigkeit, die beim Versuch ermesselt wurde, kann der Einsatz der GPS-Lenkunterstützung auf jeden Fall noch ausgeweitet werden. Auch für die Aussaat von z.B. Winterweizen würde, wie der Versuch aufgezeigt hat, die Genauigkeit des SF 1 Signals ausreichen. Die Arbeitsgenauigkeit kann sicherlich mit der eines Spuranreißers verglichen werden.

In der Praxis wird die GPS-Lenkunterstützung bei der Maschinengemeinschaft mit Sicherheit nicht überall zum Einsatz kommen, da für drei Traktoren derzeit nur eine Lenkunterstützung zur Verfügung steht. Einige Arbeitsschritte würden sich zeitlich überschneiden.

Tabelle 13: Ergebnisse der betriebsbezogenen Wirtschaftlichkeitsrechnung

	GPS- Lenkhilfe	GPS- Lenkassistent	
Anschaffungskosten	4940	16830	€
Nutzungsdauer	6	6	Jahre
Zinssatz	6	6	%
Jährliche Kapitalkosten	1004,61	3422,59	€
Gesamteinsatzfläche	1300,43	1300,43	ha
Ersparnis pro Jahr	4944	4401	€
Gewinn pro Jahr	3939,39	978,41	€
Grundfläche	344,12	344,12	ha
Überfahrten/ha	3,78	3,78	Überfahrten
Jahre/Amortisation	1,22	4,67	Jahre
Gesamtersparnis/ha	3,80	3,38	€
Gewinn nach 6 Jahren	23636	5870	€
Mindestbetriebsfläche bei 3,78 Überfahr- ten	70	268	ha
Mindesteinsatzfläche/Jahr	264	1013	ha

Am aussagekräftigsten ist wohl der Wert der Mindesteinsatzfläche pro Jahr. Auf 264 Hektar Fläche pro Jahr müsste die GPS-Lenkhilfe zum Einsatz kommen, um rentabel zu arbeiten. Je öfter man die GPS-Lenkunterstützung allerdings auf ein und derselben Fläche einsetzt, desto geringer kann die Betriebsgröße sein. Bei den hier angeführten Berechnungen wurden 3,78 Überfahrten pro Hektar getätigt –folglich wären 70 Hektar Mindestbetriebsfläche notwendig. Würde man fünf Überfahrten tätigen, kann die Betriebsgröße noch um einiges geringer sein. Es kommt somit immer auf den Einsatz pro Hektar Betriebsfläche an.

Diese Vorgangsweise ist auch für den GPS-Lenkassistenten gültig, der allerdings schon auf einer Fläche von 1013 Hektar pro Jahr eingesetzt werden muss, um ohne Verlust zu arbeiten (Mindestbetriebsfläche 268 ha bei 3,78 Überfahrten).

Im KTBL Heft 67 (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) berechnen NIEMANN ET AL, dass für den kostendeckenden Einsatz von GPS-Lenkhilfen eine Mindestbetriebsfläche von 100 ha, und von GPS-Lenkautomaten eine Mindestbetriebsfläche von 400 ha, nötig ist. Diese Angaben gelten für Marktfruchtbetriebe, bei Gemischtbetrieben mit Grünlandanteil und einer somit höheren Anzahl an Arbeitsgängen können diese Werte etwas nach unten korrigiert werden (NIEMANN ET AL, 2007).

Diese Mindestbetriebsflächenangaben laut KTBL sind etwas höher berechnet worden als die in

dieser Diplomarbeit errechneten Mindestbetriebsflächen. Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass KTBL mit anderen Anschaffungspreisen gerechnet hat und auch andere bzw. weniger GPS-gestützte Arbeitsgänge pro Hektar Betriebsfläche durchgerechnet wurden.

Die nachfolgende Abbildung 38 stammt aus der Fachzeitschrift „Profi“ vom Juli 2009 und zeigt zusammenfassend nochmals die Kosten und Genauigkeiten von diversen GPS-Lenkhilfen, GPS-Lenkassistenten und GPS-Lenkautomaten. In dieser Abbildung werden außerdem die Kosten von RTK-Lenkautomaten (1-Frequenz und 2-Frequenz) dargestellt. Zusätzlich werden die Kosten pro Hektar von jährlichen Einsatzflächen von 100 ha bzw. 1000 ha dargestellt.

Kosten von Spuranzeigen und Lenksystemen

	Parallelfahrhilfe		Automatische Lenkung		
	manuell	elektrisch	elektrohydraulisch		
Korrekturdienst	EGNOS	EGNOS	Omnistar HP. Starfire 2	RTK (1-Frequenz)	RTK (2-Frequenz)
Spur-zu-Spur	± 20 bis 80 cm ¹⁾	± 10 bis 30 cm ²⁾	± 5 bis 20 cm ¹⁾	± 5 bis 20 cm ¹⁾	± 2 cm ²⁾
Anschaffung	ab 1 300 €	ab 6 800 €	ab 14 000 €	ab 20 000 €	bis 45 000 €
Nutzungsdauer	5 Jahre	5 Jahre	10 Jahre	10 Jahre	10 Jahre
Abschreibung	260 €	1 360 €	1 400 €	2 000 €	4 500 €
Zinskosten ¹⁾	39 €	204 €	420 €	600 €	1 200 €
Korrekturdienst	entfällt	entfällt	600 €	entfällt	entfällt
Gesamtkosten	299 €/Jahr	1 564 €/Jahr	2 420 €/Jahr	2 600 €/Jahr	5 700 €/Jahr
Kosten pro Hektar					
bei 100 ha/Jahr	2,99 €/ha	15,64 €/ha	24,20 €/ha	26 €/ha	57 €/ha
bei 1000 ha/Jahr	0,30 €/ha	1,56 €/ha	2,42 €/ha	2,60 €/ha	5,70 €/ha

¹⁾ Zinsansatz 6 %.

²⁾ Durchschnittliche Genauigkeit nach profi-Testergebnissen, ³⁾ Angabe laut Hersteller

Abbildung 38: Kosten von Spuranzeigen und Lenksystemen, Boehrnsen 2009

6 Schlussfolgerungen

Der am 26. August 2008 durchgeführte Versuch hat die Erwartungen erfüllt und gezeigt, welche Einsparungen GPS-gestützte Lenksysteme in den einzelnen Bereichen bringen können und wie genau diese arbeiten. Arbeitszeit- und Dieseleinsparung belaufen sich nach den durchgeführten Versuchen auf ca. 10 %. Verglichen mit anderen ähnlichen Studien, ist dieser Wert als realistisch zu betrachten, was für den Versuchserfolg besonders erfreulich ist (vgl. KELLER, 2009).

Die Durchführung des Versuches bedurfte einer exakten Planung, einer genauen Skizzierung der Versuchsflächen, einer genauen Messung der Parzellen, einer Zusammenstellung der Faktoren, die gemessen werden sollen und einer motivierten verantwortungsbewussten Mannschaft. Die Planung und Durchführung des Versuches hat viele Erfahrungen gebracht und gezeigt, auf wie viele Punkte man bei einem solchen Vorhaben achten muss. Diese Erfahrungen halfen bereits beim zweiten Versuch, der sich vor allem mit den betriebswirtschaftlichen Aspekten einer GPS-Lenkhilfe und eines GPS-Lenkassistenten beschäftigt.

Betrachtet und interpretiert man die Ergebnisse des zweiten Versuches, muss nochmals erwähnt werden, dass diese Modellierung nicht exakt der Realität entspricht. Es ist nur sehr schwer möglich, für die unterschiedlichsten Feldformen und Bodentypen Modelle aufzustellen. Die Versuchsdurchführung im April 2009 nahm, wie auch diejenige im August 2008, von der Planung über die Durchführung bis zur Nachbereitung sehr viel Zeit in Anspruch. Hätte man dann noch unterschiedlichste Feldformen mit einfließen lassen, wären diese Versuche eine Aufgabe für mehrere Wochen gewesen. Mit der verwendeten einheitlichen Feldform können die Grundaussagen in punkto Arbeitszeiterparnis, Arbeitsgenauigkeit und der damit verbundenen Betriebsmitteleparnis, getroffen werden.

Die Modellierung basiert auf den Richtwerten von ÖKL und auf den handelsüblichen Preisen der Betriebsmittel im Jahr 2008 bzw. im Frühjahr 2009. Somit ist die Höhe der Einsparung auf das heurige Jahr bezogen und dieser Wert kann sich auch durch die jährlich schwankenden Düngermittel-, Diesel- und Saatgutpreise ändern. Die Auswertung des Versuches im August 2008 wurde

zum Beispiel mit dem damals aktuellen Dieselpreis von 0,98 € pro Liter gerechnet, der 2. Versuch und die Modellierung bzw. Wirtschaftlichkeitsrechnung mit einem Dieselpreis von 0,89 €

Vergleicht man die Systeme GPS-Lenkhilfe und GPS-Lenkassistent bzw. GPS-Lenkautomat, so erfordert die GPS-Lenkhilfe ein relativ hohes Konzentrationsvermögen und auch einen gut geübten Fahrer, der bei einem leichten Abkommen von der Spur ohne Verreißen den Traktor auf die Ideallinie zurückführt. Verreißt man das Lenkrad hierbei ruckartig, so ist es viel schwieriger, wieder die Ideallinie zu finden. Beim GPS-Lenkassistenten bzw. GPS-Lenkautomaten fällt diese Aufgabe weg, hier ist es vor allem wichtig, die automatische Lenkung so bald als möglich (ab 90° zur Bearbeitungslinie) zu aktivieren, damit der Traktor rechtzeitig in die richtige Spur einlenken kann.

Durch den Einsatz dieser GPS Lenkunterstützungen sind, wie in dieser Modellierung bewiesen, hohe Kosteneinsparungen möglich und deren Anschaffung wird für viele Landwirte in Zukunft eine sinnvolle Investition sein.

7 Weiterführende Arbeiten

Im Rahmen dieser Diplomarbeit konnte anhand von zwei voneinander getrennten Versuchen die Arbeitsgenauigkeit von Lenkunterstützungen untersucht werden. Es gibt allerdings noch viele weitere Untersuchungsfragen, die in Versuchen erarbeitet werden könnten.

Die beiden Versuche wurden auf ebenen Flächen durchgeführt. Um umfassendere Aussagen machen zu können, könnte man die Arbeitsgenauigkeit auch noch auf Flächen mit Hanglinie und Schichtlinie untersuchen.

In dieser Diplomarbeit dienten GPS-Lenkunterstützungen der Marke John Deere als Versuchswerkzeuge. Man könnte noch weitere Modelle anderer Firmen in die Auswertung mit einfließen lassen und einen Vergleich der Modelle in punkto Arbeitsgenauigkeit erstellen.

Seit Kurzem gibt es in Verbindung mit GPS-Lenkautomaten auch Vorgewendeautomaten und Zwei-Empfänger-GPS-Lenkautomaten, bei denen ein Empfänger auf dem Traktor montiert ist und einer auf dem Arbeitsgerät. Die Zeitersparnis im Vergleich zu herkömmlichen GPS-Lenkautomaten könnte auch untersucht werden.

Um umfassendere Angaben zu einer Wirtschaftlichkeitsrechnung machen zu können, müssten noch virtuelle Beispielsbetriebe mit unterschiedlicher Flächenausstattung, Arbeitsgeräten und Fruchtfolgen, erstellt werden.

Eine weitere Untersuchungsfrage wäre, welchen Beitrag GPS-gestützte Lenksysteme zur physischen und psychischen Entlastung des Fahrers stellen. Für die Quantifizierung dieses Effekts wären medizinische Untersuchungen notwendig.

8 Zusammenfassung

GPS-gestützte Lenksysteme werden vermehrt zur Senkung der hohen Betriebsmittelkosten in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Praxisversuche durchgeführt, bei denen jeweils die Arbeitsgenauigkeit, der Arbeitszeit- und Kraftstoffaufwand bei der Verwendung von GPS-Lenkunterstützungen – GPS-Lenkhilfe, GPS-Lenkassistenten und GPS-Lenkautomaten – untersucht wurden.

Zunächst werden die Funktionsweise des GPS - Global Positioning Systems und die Arbeitsweise der am Markt befindlichen Spurführungssysteme (mit GPS und ohne GPS) erklärt. Das zentrale Thema ist hier der technische Fortschritt, welcher ein zunehmend genaueres Arbeiten mit GPS-Lenkunterstützungen ermöglicht. Anhand von zwei Versuchen sollen GPS-Lenkunterstützungen vorgestellt und hinsichtlich Arbeitsgenauigkeit untersucht werden.

Der **erste Versuch** wurde im August 2008 mit einem John Deere 8530 (261 kW) mit fix installiertem GPS-Lenkautomaten und einer 5 m breiten Kurzscheibenegge durchgeführt. Bei diesem Versuch wurde die Arbeitszeiteinsparung gegenüber dem manuellen Fahren, ohne GPS, durch zügigeres Wenden und geringere Überlappung bei drei 236 mal 135 Meter großen Parzellen (3,186 ha) ermittelt. Der Kraftstoffverbrauch wurde mittels „Einlitem“ erhoben, die Arbeitszeit mit einer Stoppuhr gemessen und die Arbeitsgenauigkeit mit einem Maßband gemessen.

Die Arbeitszeiterparnis lag mit der GPS – Lenkhilfe bei 13,4 % und mit dem GPS-Lenkautomaten bei 8,5 %, beim Kraftstoffverbrauch lag die Ersparnis bei 9,8 % bei der GPS-Lenkhilfe und bei 9 % beim GPS-Lenkautomaten. Der prozentuale Überlappungsgrad bei einem 5 m breiten Arbeitsgerät lag beim herkömmlichen manuellen Fahren ohne GPS bei ca. 6 %, durch die GPS-Lenkunterstützungen verringerte sich dieser Wert bei der GPS-Lenkhilfe auf 1,5 % und beim GPS-Lenkautomaten auf 1,3 %. Unnötige Doppelapplikationen werden dadurch möglichst eingeschränkt.

Der **zweite Versuch** wurde im April 2009 durchgeführt und diente als Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung für eine GPS-Lenkhilfe bzw. einen GPS-Lenkassistenten. Die Lenkun-

terstützung wurde auf einem Steyr Profi 4120 (90 kW) durch Auswechseln des Lenkrades montiert und die Arbeitsgenauigkeit wurde bei zwei unterschiedlichen Arbeitsgeräten (Grubber 3 m; Pneumatischer Düngerstreuer 15 m) auf Untersuchungspartzen (Größe jeweils 1,49 ha bzw. jeweils 3 ha) verglichen. Es wurde einmal ohne GPS, einmal mit der GPS-Lenkhilfe und einmal mit dem GPS-Lenkassistenten gearbeitet und der Kraftstoffverbrauch, die Feldarbeitszeit und die Arbeitsgenauigkeit erhoben. Diese erhobenen Parameter dienten als Basis für die anschließend durchgeführte Wirtschaftlichkeitsrechnung bei einer Maschinengemeinschaft (344 Hektar Ackerfläche). Die kostendeckende jährliche Einsatzfläche bei der GPS-Lenkhilfe beträgt 264 ha und beim GPS-Lenkassistenten 1013 ha. Dividiert man nun die jährliche Einsatzfläche durch die Anzahl an Überfahrten, die man mit der Lenkunterstützung in einem Jahr pro Hektar tätigen wird (beim vorliegenden Beispielsbetrieb 3,78 Überfahrten pro Jahr), so kommt man auf eine Mindestbetriebsfläche von knapp 70 ha bei der GPS-Lenkhilfe und auf 268 ha beim GPS-Lenkassistenten. Diese Werte decken sich mit Ergebnissen aus der Literatur.

9 Literaturverzeichnis

BOEHRNSEN,A. (2009): Mit Spuranzeige fahren oder automatisch lenken?, Profi, Fachzeitschrift Nr.07/09

BOMBIEN, M. (2005): Parallelfahrssysteme im Vergleich, Rationalisierungs- Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

DEMMELE, M.(2006): Automatische Spurführung von Landmaschinen – Systeme, Einsatzbereiche, Wirtschaftlichkeit; Institut für Landtechnik, Freising, 2006

DÖRING, E. (2009): Parallelfahrssysteme in Theorie und Praxis, Fachseminar Wieselburg, 3.3.2009

FRASSL, F. (2008): Untersuchungen zum Einfluss von Lastschaltgetriebe und stufenlosem Getriebe auf den Kraftstoffverbrauch bei Bodenbearbeitung und Transport. Diplomarbeit, Boku Wien

INTERNET: Digitales Oberösterreichisches Raum – Informationssystem. www.doris.ooe.gv.at, Zugriff am 3. 4. 2009

INTERNET: John Deere Homepage. www.deere.de, Zugriff am 14.3.2009

JOHN DEERE (2009): Betriebsanleitung John Deere 8030

JOHN DEERE (2005): Greenstar – Leitsystem Parallel Tracking- und AutoTrac-Lenkunterstützungssysteme. Betriebsanleitung, 2005

KLOEPFER F. (2009): Parallelfahrssysteme – Kosten und Nutzen, Fachseminar Wieselburg 3.3.2009

MOITZI, G. (2006): Autopilot in der Praxis, Agritronica 2006, Bildungszentrum Mold

NIEMANN H, SCHWAIBERGER R UND FRÖBA N.(2007): Parallelfahrssysteme, KTBL Heft 67, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2007

ÖKL, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, Richtwerte online, www.oekl.at, Zugriff am 25.6.2009

PAAR J. (2009): John Deere lenkt Mitbewerb, Der fortschrittliche Landwirt, Fachzeitschrift Nr. 10/09

POKORNY M. (2009): Agrar Management Service, Mündliche Mitteilung

SCHULTEN-BAUMER F , SCHMITTMANN O, SCHULZE LAMMERS P (2009): Parallelfahrssysteme – Akzeptanz und Nutzen, Landtechnik 64 (1): 61 -63

THALLER G. E.(1999): Satellitennavigation. Das Global Positioning System (GPS), Verlag für Technik und Handwerk, Baden-Baden

10 Anhang

Anhangtabelle 1: Einzelergebnisse aus dem Versuch vom August 2008, Variante ohne GPS

Variante ohne GPS:		
Feldarbeitszeit für 3,186 ha		39 min 23 sec
Wendezeiten		Traktordisplay:
1. Feldseite	2. Feldseite	Mittelwert Fahrgeschwindigkeit 14,06 km/h
19,41	18,62	Mittelwert Diesel/h Hauptzeit 36,01 l/h
18,11	18,51	Mittelwert Diesel/h Wendezeit 9,96 km/h
18,85	18,29	
19,43	19,09	Dieserverbrauch Hauptzeit 18,59 l für 3,186 ha
17,59	18,78	Dieserverbrauch Wendezeit 1,39 l für 3,186 ha
17,91	16,59	Summe Dieserverbrauch 19,98 l für 3,186 ha
17,41	17,56	
18,86	16,9	Auslitern:
17,44	18,3	Summe Dieserverbrauch 19,04 l für 3,186 ha
18,1	18,34	
17,72	17,34	Arbeitszeitbedarf/ha 12,36 min
16,94	17,98	Wendezeit/ha 2,64 min
17,3	18,45	
17,07	17,28	
Mittelwert Wendezeiten		17,39
Arbeitsgenauigkeitsmessungen an 5 Messpunkten bei 26 Überfahrten (Technische Arbeitsbreite 5 m x 26 = 130 m), 236 m Feldlänge		
Abweichung von 130 m		
nach 10 m	7,3 m	
nach 65 m	8,55 m	
nach 120 m	8,8 m	
nach 175 m	8,05 m	
nach 230 m	6,8 m	
Mittelwert Abweichung	7,9 m	

Anhangtabelle 2: Einzelergebnisse aus dem Versuch vom August 2008, Variante GPS - Lenkhilfe

Variante GPS-Lenkhilfe:

Feldarbeitszeit für 3,186 ha 34 min 8 sec

Wendezeiten

1. Feldseite	2. Feldseite
13,98	10,82
12,98	11,56
11,28	11,88
11,37	10,09
9,51	9,12
10,26	10,44
10,59	11,14
9,82	8,97
10,41	10,52
10,24	9,8
9,78	9,93
9,55	11,5
9,62	10,74
10,64	

Traktordisplay:

Mittelwert Fahrgeschwindigkeit	14,05 km/h
Mittelwert Diesel/h Hauptzeit	35,29 l/h
Mittelwert Diesel/h Wendezeit	9,53 l/h
Dieserverbrauch Hauptzeit	17,26 l für 3,186 ha
Dieserverbrauch Wendezeit	0,76 l für 3,186 ha
Summe Dieserverbrauch	18,02 l für 3,186 ha

Auslitern:

Summe Dieserverbrauch 16,79 l für 3,186 ha

Feldarbeitszeit/ha 10,71 min
davon Wendezeit/ha 1,5 min

Mittelwert Wendezeiten 10,62

Arbeitsgenauigkeitsmessungen, 5 Messpunkte, 26 Überfahrten (Eingabe Bedienungsmonitor 4,9 m, 26 x 4,9 = 127,4 m), 236 m Feldlänge

Abweichung von 130 m

nach 10 m	1,8 m
nach 65 m	2,05 m
nach 120 m	2,1 m
nach 175 m	1,8 m
nach 230 m	2 m
Mittelwert Abweichung	1,95 m

Anhangtabelle 3: Einzelergebnisse aus dem Versuch vom August 2008, Variante GPS - Lenkautomat

Variante GPS-Lenkautomat:				
Feldarbeitszeit für 3,186 ha		36 min 3 sec		
Wendezeiten				
1. Feldseite	2. Feldseite			
15,04	12,64			
13,17	13,11			
14,27	14,63			
14,33	13,2			
13,57	13,12			
13,66	13,01			
13,61	13,01			
14,66	13,31			
13,3	13,38			
15,42	12,38			
13,54	11,09			
14,28	11,05			
12,16	11,38			
14,94				
Mittelwert Wendezeiten		13,38		
Arbeitsgenauigkeitsmessungen, 5 Messpunkte, 26 Überfahrten (Eingabe Bedienungsmonitor 4,9 m, 26 x 4,9 = 127,4 m), 236 m Feldlänge				
Abweichung von 130 m				
nach 10 m		1,8 m		
nach 65 m		1,75 m		
nach 120 m		1,9 m		
nach 175 m		1,5 m		
nach 230 m		1,6 m		
Mittelwert Abweichung		1,71 m		
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Traktordisplay: Mittelwert Fahrgeschwindigkeit 14,08 km/h Mittelwert Diesel/h Hauptzeit 34,4 l/h Mittelwert Diesel/h Wendezeit 9,53 l/h Dieserverbrauch Hauptzeit 17,22 l für 3,186 ha Dieserverbrauch Wendezeit 0,96 l für 3,186 ha Summe Dieserverbrauch 18,18 l für 3,186 ha Auslitern: Summe Dieserverbrauch 15,52 l für 3,186 ha Feldarbeitszeit/ha 11,32 min/ha davon Wendezeit/ha 1,89 min/ha </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"></td> </tr> </table>			Traktordisplay: Mittelwert Fahrgeschwindigkeit 14,08 km/h Mittelwert Diesel/h Hauptzeit 34,4 l/h Mittelwert Diesel/h Wendezeit 9,53 l/h Dieserverbrauch Hauptzeit 17,22 l für 3,186 ha Dieserverbrauch Wendezeit 0,96 l für 3,186 ha Summe Dieserverbrauch 18,18 l für 3,186 ha Auslitern: Summe Dieserverbrauch 15,52 l für 3,186 ha Feldarbeitszeit/ha 11,32 min/ha davon Wendezeit/ha 1,89 min/ha	
Traktordisplay: Mittelwert Fahrgeschwindigkeit 14,08 km/h Mittelwert Diesel/h Hauptzeit 34,4 l/h Mittelwert Diesel/h Wendezeit 9,53 l/h Dieserverbrauch Hauptzeit 17,22 l für 3,186 ha Dieserverbrauch Wendezeit 0,96 l für 3,186 ha Summe Dieserverbrauch 18,18 l für 3,186 ha Auslitern: Summe Dieserverbrauch 15,52 l für 3,186 ha Feldarbeitszeit/ha 11,32 min/ha davon Wendezeit/ha 1,89 min/ha				

Anhangtabelle 4: Einzelergebnisse aus dem 3 m – Versuch vom April 2009, Variante ohne GPS

Variante ohne GPS, 3 m Versuch		
Feldarbeitszeit für 1,49 ha:		40 min 15 sec
Wendezeiten:		
1. Feldseite	2. Feldseite	
17,41	16,55	
15,78	16,25	
16,47	16,81	
16,63	16,99	
Mittelwert Fahrgeschwindigkeit		11,23 km/h
Auslitern:		
Dieserverbrauch		11,55 l für 1,49 ha
Dieserverbrauch/ha		7,75 l/ha

15,42	17,31		
16,91	16,18		
17,57	15,83		
17,13	17,24		
16,5	16,7		
15,96	16,59		
16,5	17,21		
16,75	15,44		
16,75	15,4		
16,12	15,36		
19,34			
Mittelwert Wendezeit	16,59 sec		

Feldarbeitszeit/ha	27,01 min/ha
davon Wendezeit /ha	5,38 min/ha

Arbeitsgenauigkeitsmessungen an 5 Messpunkten nach 26 Überfahrten (26 x 3 m = 78 m), 184 m Feldlänge

	Abweichung von 78 m	
nach 12 m	6,1 m	Mittelwert Abweichung
nach 52 m	6,12 m	5,85 m
nach 92 m	6,25 m	Effektive Arbeitsbreite
nach 132 m	5,78 m	2,775 m
nach 172 m	5 m	

Anhangtabelle 5: Einzelergebnisse aus dem 3 m – Versuch vom April 2009, Variante GPS - Lenkhilfe

Variante GPS Lenkhilfe, 3 m Versuch	
Feldarbeitszeit für 1,49 ha: 33 min 38 sec	
Wendezeiten:	
1. Feldseite	2. Feldseite
15,7	10,88
12	10,11
9,56	9,35
10,22	12,26
14,81	10,49
9,05	8,96
8,25	9,41
8,79	9,29
8,32	13,79
8,46	9,71
8,99	9,97
9,48	8,81
9,44	8,9
15,48	
Mittelwert Wendezeit	10,39 sec

Mittelwert Fahrgeschwindigkeit	11,35 km/h
Auslitern:	
Dieserverbrauch	10,35 l für 1,49 ha
Dieserverbrauch	6,95 l/ha
Feldarbeitszeit/ha	22,58 min/ha
davon Wendezeit /ha	3,13 min/ha

Arbeitsgenauigkeitsmessungen an 5 Messpunkten nach 26 Überfahrten (Eingabe Bedienungsmonitor 2,9 m; 26 x 2,9 = 75,4 m), 184 m Feldlänge

	Abweichung von 78 m	
nach 12 m	2,75 m	Mittelwert Abweichung
nach 52 m	2,4 m	2,45 m
nach 92 m	2,4 m	Effektive Arbeitsbreite
nach 132 m	2,3 m	2,906 m
nach 172 m	2,4 m	

Anhangtabelle 6: Einzelergebnisse aus dem 3 m – Versuch vom April 2009, Variante GPS - Lenkassistent

1. Feldseite		2. Feldseite		Mittelwert Fahrgeschwindigkeit	11,35 km/h
	20,5		11,79		
	10,85		11,73		
	9,56		11,18		
	12,41		11,4		
	15,96		14,04		
	12,77		12,3		
	12,46		12,04		
	11,94		11,92		
	11,14		15,69		
	11,85		10,6		
	12,13		10,77		
	10,18		12,8		
	11,42		11,24		
	15,34				
Mittelwert Wendezeit		12,44 sec		Feldarbeitszeit/ha	23,78 min/ha
				davon Wendezeit /ha	3,76 min/ha
				Arbeitsgenauigkeitsmessungen an 5 Messpunkten nach 26 Überfahrten (Eingabe Bedienungsmonitor 2,9 m; 26 x 2,9 = 75,4 m), 184 m Feldlänge	
				Abweichung von 78 m	
			nach 12 m	2,55 m	Mittelwert Abweichung
			nach 52 m	2,2 m	2,44 m
			nach 92 m	2,5 m	Effektive Arbeitsbreite
			nach 132 m	2,55 m	2,906 m
			nach 172 m	2,4 m	

Anhangtabelle 7: Einzelergebnisse vom 15 m – Versuch vom April 2009, Variante ohne GPS

Variante ohne GPS, 15 m Versuch, Feldlänge 200 m, Feldbreite 150 m, 3 ha					
Durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit			9,2 km/h		
Hauptzeit 1 Überfahrt	1,35 min				
Wendezeiten:			Arbeitsgenauigkeitsmessungen in der Spur:		
			nach 10 m	nach 55 m	nach 100 m
			nach 145 m	nach 190 m	
14,15 sec		Beginn	7,2	7,7	7,75
12,68 sec		1. Spurweite	15	15,3	16
12,64 sec		2. Spurweite	14,4	14,15	14,35
12,72 sec		3. Spurweite	13,65	14	13,65
11,72 sec		4. Spurweite	14,25	14,85	15,4
13,77 sec		5. Spurweite	13,8	13	12,6
11,67 sec		6. Spurweite	14,3	14,8	14,55
12,05 sec		7. Spurweite	13,2	13,8	13,55
13,01 sec		8. Spurweite	14,9	14,5	14,75
14,22 sec		9. Spurweite	14,75	14,05	13,55
Mittelwert	12,86 sec	Randbreite	7,5	7,5	7,5
Gesamte Wendezeit	2,14 min	Restbreite	7,65	7,3	6,95
Feldarbeitszeit	16,99 min	Gesamtbreite	150,6	150,95	150,6
		Randbreiten	14,7	15,2	15,25
					15,6
					15,5

Mittelwerte	14,3	14,37	14,37	14,38	14,36
Mittelwert in der Spurführung			14,35 m	Minimum	12,3
Mit Restbreiten berechneter Mittelwert			14,29 m	Maximum	16,2
				Stabw	1,028

Anhangtabelle 8: Einzelergebnisse vom 15 m – Versuch vom April 2009, Variante GPS - Lenkhilfe

Variante GPS - Lenkhilfe, 15 m Versuch, Feldlänge 200 m, Feldbreite 150 m, 3 ha						
Eingabe Bedienungsmonitor 14,9 m						
Durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit	9,2 km/h					
Hauptzeit 1 Überfahrt	1,35 min					
Wendezeiten:	Arbeitsgenauigkeitsmessungen in der Spur:					
		nach 10 m	nach 55 m	nach 100 m	nach 145 m	nach 190 m
20,28 sec	Beginn	7,4	7,7	7,6	7,7	7,7
11,77 sec	1. Spurweite	15,1	14,95	15	14,9	14,85
14,5 sec	2. Spurweite	15	15,1	15,05	14,95	15
16,44 sec	3. Spurweite	15	14,85	14,7	14,85	15,05
16,4 sec	4. Spurweite	14,85	14,85	15	14,9	14,8
11,69 sec	5. Spurweite	14,85	14,85	15,05	14,85	15
15,02 sec	6. Spurweite	14,8	14,8	14,85	14,8	14,9
17,82 sec	7. Spurweite	14,85	14,75	14,85	14,95	14,9
13,12 sec	8. Spurweite	15,1	15	15,1	15,05	14,95
Mittelwert	9. Spurweite	15,15	14,95	15,05	14,75	14,95
Gesamte Wendezeit	Randbreite	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
2,28 min	Restbreite	0,8	0,9	0,8	0,9	0,6
Feldarbeitszeit	Gesamtbreite	150,4	150,2	150,55	150,1	150,2
15,78 min	Randbreiten	14,9	15,2	15,1	15,2	15,2
	Mittelwerte	14,96	14,93	14,98	14,92	14,96
	Mittelwert in der Spurführung			14,95 m	Minimum	14,7
	Mit Restbreiten berechneter Mittelwert			14,92 m	Maximum	15,2
					Stabw.	0,125

Anhangtabelle 9: Einzelergebnisse vom 15 m – Versuch vom April 2009, Variante GPS - Lenkassistent

Variante GPS - Lenkassistent, 15 m Versuch, Feldlänge 200 m, Feldbreite 150 m, 3 ha		Eingabe Bedienungsmonitor 14,9 m					
Durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit		9,2 km/h					
Hauptzeit 1 Überfahrt		1,35 min					
		Arbeitsgenauigkeitsmessungen in der Spur:					
Wendezeiten:			nach 10 m	nach 55 m	nach 100 m	nach 145 m	nach 190 m
23,21 sec		Beginn	7,5	7,6	7,55	7,5	7,3
16,28 sec		1. Spurweite	14,9	14,9	14,9	15	14,7
17,08 sec		2. Spurweite	15	15	15	14,9	15,15
17,42 sec		3. Spurweite	14,9	14,9	15	15,1	14,85
13,99 sec		4. Spurweite	14,8	15	14,9	15	15,1
17,46 sec		5. Spurweite	15,1	14,9	14,95	14,95	14,8
16,7 sec		6. Spurweite	15	15	15	15	15,1
16,45 sec		7. Spurweite	14,9	14,95	14,95	14,95	14,8
17,88 sec		8. Spurweite	14,8	14,95	14,95	15	15,1
Mittelwert	17,39 sec	9. Spurweite	15,1	14,9	15	14,9	14,7
Gesamte Wendezeit	2,61 min	Randbreite	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Feldarbeitszeit	16,11 min	Restbreite	0,8	0,9	0,9	0,7	1,3
		Gesamtbreite	150,3	150,5	150,6	150,5	150,4
		Randbreiten	15	15,1	15,05	15	14,8
		Mittelwerte	14,95	14,96	14,97	14,98	14,91
		Mittelwert in der Spurführung			14,95 m	Minimum	14,7
		Mit Restbreiten berechneter Mittelwert			14,91 m	Maximum	15,15
						Stabw.	0,102