

Parallelfahrssysteme im Vergleich



Malte Bombien

Prof.-Udo-Riemann-Stiftung

Parallelfahrssysteme im Vergleich

November 2005

Malte Bombien ist Mitarbeiter des RKL.

Diese Arbeit wurde aus Mitteln der Prof.-Udo-Riemann-Stiftung gefördert. Ziel der Prof.-Udo-Riemann-Stiftung ist angewandte Forschung und praktische Erfahrungen auf dem Gebiet der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik zu unterstützen.

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Leiter: Dr. Hardwin Traulsen

Am Kamp 13, 24768 Rendsburg

Tel.: 04331-847940, Fax: 04331-847950

Internet: rkl-info.de, Email: mail@rkl-info.de

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Gliederung	Seite
1. Einleitung.....	1205
2. Geschichte.....	1206
3. Funktionsweise von GPS/DGPS	1206
3.1 Korrektursignale	1207
3.2 Genauigkeiten	1208
3.3 Ausblick.....	1209
4. Lenksysteme	1209
4.1 Manuelles Parallelführungssystem.....	1209
4.2 Automatische Lenksysteme	1210
5. Kaufkriterien	1211
6. Firmenübersicht	1211
7. Messverfahren.....	1219
7.1 Messergebnisse	1220
8. Einsparpotentiale	1221
9. Fazit.....	1223
10. Literaturverzeichnis	1224

1. Einleitung

Das Globale Positionierungssystem (GPS) ist aus dem landwirtschaftlichen Alltag kaum noch weg zu denken. Viele landwirtschaftliche Maschinen verfügen bereits über ein Empfangsgerät zur Positionsbestimmung. Der Einsatzbereich ist hierbei sehr vielfältig. Er geht von der teilflächenspezifischen Bearbeitung, der Ausbringung von Düngemitteln und Pflanzenschutz bis zur Ertragskartierung im Mähdrescher. Als zusätzlich Komponente ist seit einigen Jahren auch das Parallelfahren mit dieser Technik möglich. Die Funktion bestimmter Verfahren im landwirtschaftlichen Bereich sind ohne die GPS – Technik nicht mehr möglich. In dieser Schrift werden die Funktionsweise und die Nutzungsmöglichkeiten von unterschiedlichen Parallelfahrssystemen beschrieben, die das RKL im Sommer 2005 getestet hat. Das Hauptaugenmerk lag auf der Bedienung sowie der Spur – zu – Spur Genauigkeit, die für den praktischen Einsatz am wichtigsten sind.

2. Geschichte

Die Positionsbestimmung mittels GPS System ist ein Produkt des kalten Krieges. Die ersten Satelliten wurden 1979 ins All gebracht. 1993 befanden sich 24 Satelliten im Einsatz, die volle Funktionsfähigkeit wurde im April 1995 erreicht.

Um eine genaue Positionsbestimmung von nicht – autorisierten Nutzern (militärische Gegner) auszuschließen, wurde die Genauigkeit künstlich verschlechtert (> 30 m). Im Mai 2000 wurde diese künstliche Verschlechterung bei allen Satelliten abgeschaltet, so dass das System für andere genaue Positionsbestimmungen (< 5 m) im außer – militärischen Bereich genutzt werden kann.

3. Funktionsweise von GPS/DGPS

Die Satellitennavigation besteht aus drei wesentlichen Grundkomponenten. Der wichtigste Bestandteil ist das Raumsegment bestehend aus 24 geostationären Sattelliten, die die Erdoberfläche in einer Höhe von 20.200 km umkreisen. Jeweils vier Satelliten kreisen in sechs Bahnen, die um 60° versetzt angeordnet sind. Die Satelliten bewegen sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von 11.000 km/h auf ihrer Umlaufbahn, so dass ein kompletter Umlauf 12 h dauert. Die solarbetriebenen und bis zu 2 t schweren Satelliten sind so angeordnet, dass von jedem Punkt der Erde aus mindestens fünf, aber maximal 11 Satelliten sichtbar sein können.

Zusätzlich existiert ein Kontrollsegment aus fünf Kontrollstationen auf der Erde, deren Positionen genau bekannt sind. Diese kontrollieren und steuern die permanent ausgesendeten Daten der Satelliten auf ihre Präzision und Richtigkeit. Bei Fehlern werden Korrekturdaten zurückgesendet.

Die dritte Grundkomponente besteht aus dem Nutzersegment dem GPS – Empfänger, der Informationen wie Position, Höhe und Geschwindigkeit errechnen kann. Die Positionsermittlung basiert auf der Bestimmung der Zeit, die vom Versand eines bestimmten Satellitensignals – von mindestens vier Satelliten gleichzeitig – bis zum Empfang dieser Signale am GPS – Empfänger vergeht (Satellitensignal (Lichtgeschwindigkeit) \times Übertragungszeit = Empfängerentfernung).

Um eine hochgenaue Übertragung der Zeitangabe zu ermöglichen, sind alle 24 Satelliten mit Atomuhren ausgerüstet. Beim Empfang von vier Satelliten gleichzeitig, ist neben der Position auch die Höhe des Empfängers zu berechnen. Qualitätsmindernd wirkt sich die Zeiterfassung in den GPS–Empfänger aus, da diese aus Kostengründen keine Atomuhr eingebaut haben. Diese Uhren synchronisieren sich selbst mit den Satelliten, wenn der Empfänger eingeschaltet wird.

Weitere Einflussgrößen treten bei der Signalübertragung durch die Atmosphäre, durch Positionsfehler der Satelliten in ihrer Umlaufbahn sowie durch den

sogenannten Multi-Path-Effekt auf. Dieser Effekt kommt durch Spiegelungen des Funksignals an Gebäuden, Waldrändern, Hügeln oder Bergen zu Stande.

Die Genauigkeit von GPS – Empfängern liegt im Bereich von mehreren Metern. Um genauere Positionsbestimmungen durchzuführen, ist der Einsatz von Differential-GPS Empfängern notwendig. Beim differentiellen GPS wird eine ortsfeste Referenzstation genutzt, die das GPS – Signal von den GPS-Satelliten empfängt. Die geographische Position der Referenzstation ist mit sehr hoher Genauigkeit bekannt, so dass der Fehler bei der Positionsbestimmung durch GPS ermittelt werden kann. Für jeden empfangenen GPS – Satelliten wird der Fehler einzeln bestimmt und durch die Referenzstation per Funk an die DGPS – Empfänger übermittelt.

Jeder DGPS – Empfänger empfängt die GPS – Signale der GPS – Satelliten und zusätzlich die Korrektursignale der Referenzstation. Der DGPS – Empfänger kann mit dem Korrektursignal die ungenauen GPS – Signale korrigieren und so eine sehr viel bessere Positionsbestimmung durchführen. Die für die Korrektursignale notwendige Empfangsantenne ist meistens in die GPS – Antennen integriert. Damit kann der Empfänger für jeden Satelliten separat die GPS – Signale korrigieren und auf diese Weise seine Positionsbestimmung verbessern. Fällt die Funkverbindung aus, schaltet der DGPS – Empfänger auf den GPS – Mode ohne Korrektursignal und verliert damit seine hohe punktuelle Genauigkeit.

3.1 Korrektursignale

Abhängig vom Standort können unterschiedliche Korrekturdienste zum Einsatz kommen. Neben den ortsfesten Referenzstationen gibt es das Differential – Signal auch über geostationäre Satelliten. Diese werden wiederum über eine Referenzstation auf dem jeweiligen Kontinent gespeist. In Europa heißt dieses System EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) und in Amerika WAAS (Wide Area Augmentation System). Standort unabhängig sind die satellitengestützten Korrektursignale (Omnistar bzw. Starfire).

Als kostenlose Referenz- oder Korrektursignale können für Norddeutschland das Seefunksignal (Beacon), das Sapos-Signal, das die ARD - Rundfunkanstalten über das RDS ihrer UKW-Sender ausstrahlen und der europäische Korrekturdienst EGNOS genutzt werden. Das EGNOS Signal sollte seit dem 1. Mai 2004 permanent senden. Dies ist aber noch nicht der Fall, so dass man sich auf dieses Korrektursignal nicht verlassen kann. Die Korrektur über Langwelle ist auf Grund ihrer physikalischen Eigenschaften bei Maschinen mit Elektrik und Elektronik nicht zu gebrauchen.

Als kostenpflichtige Korrektursignale stehen die kommerziellen Signal-Anbieter (Omnistar (VBS und HP), Starfire (SF2) von John Deere) zur Verfügung. Bei diesen kann man zwischen zwei Genauigkeitsstufen wählen. Das Omnistar HP und das Starfire SF2 Signal senden die genauesten Positionssignale. Bei Verlust dieser

Signale stellen die Systeme auf das nächst schwächere Signal automatisch um. Die Initialisierungszeit dieser hohen Genauigkeiten liegt bei ca. 20 Minuten. Genauso lange dauert auch das Wiederfinden des Signals bei Verlust. Diese senden über geostationäre Satelliten und verlangen für ihre Dienste bis zu 1000€ im Jahr. Es besteht bei einigen Anbietern die Möglichkeit, das Korrektursignal für drei Monate zu mieten. Das Signal ist verschlüsselt und jeder Empfänger erhält eine eigene Decodierungssoftware. Die Qualität und eine hohe Verlässlichkeit der kommerziellen Signale gewährleisten ein sicheres Arbeiten.

3.2 Genauigkeiten

GPS Satelliten senden auf zwei verschiedenen Frequenzen (L1 und L2) ihre Signale aus. Da die meisten Empfänger nur das Signal einer Frequenz empfangen und verarbeiten können liegt die maximale absolute Genauigkeit mit Hilfe von differenziellen Korrektursignalen in einem Bereich von 60-70 cm. Die absolute Genauigkeit von Zweifrequenz GPS-Empfängern liegt in einem Bereich von 0,5 bis 2 cm. Ausschlaggebend bei der Parallelführung ist nicht die absolute Genauigkeit sondern die Spur-zu-Spur Genauigkeit. Diese Genauigkeit gibt den Fehler bei der Bestimmung des Abstandes zwischen zwei benachbarten Spuren innerhalb von 15 Minuten an.

Die Spur-zu-Spur Genauigkeit von Einfrequenz-Empfängern liegt bei Parallelfahrssystemen und automatischen Lenksystemen in Abhängigkeit von Korrektursignal und Umgebungsbedingungen in einem Bereich von 10 bis 30 cm. Für Zweifrequenz – Empfänger liegt dieser Bereich bei 5 bis 10 cm. Verwendet man zusätzlich eine eigene Referenzstation (RTK, Real Time Kinematik) so liegt dieser Wert bei 1 bis 2 cm.

In den Geräteunterlagen der Hersteller sind die unterschiedlichsten Begriffe in Bezug auf die Genauigkeit zu finden. Um GPS Systeme miteinander vergleichen zu können, müssen die wichtigsten Begriffe definiert werden.

Die meisten Hersteller geben die „statistische Genauigkeit“ an, da diese mit dem geringsten Aufwand zu ermitteln ist. Bei dieser Messmethode wird das Gerät auf einem Punkt mit bekannten Koordinaten gestellt. In einem Zeitraum von meist 24 h werden dann in regelmäßigen Intervallen (~ 1 Sekunde) die Koordinaten gespeichert. Die gespeicherten Daten druckt ein entsprechendes Grafikprogramm aus. Die gesammelten Punkte sind unregelmäßig um die wahre Position gruppiert und bilden ein so genanntes Streudiagramm. Je geringer die Abweichungen der gespeicherten Punkte zu der wahren Position, umso genauer ist das GPS Gerät.

Die Abweichung mehrerer GPS Messungen von ihrem Mittelwert wird als „relative Genauigkeit“ bezeichnet. Im Gegensatz zur absoluten Genauigkeit spielt es keine Rolle wie weit der Mittelwert von der wahren Position entfernt ist.

Die „absolute Genauigkeit“ wird aus dem Vergleich von der vom Empfänger gemessenen Position und von einer bekannten Position ermittelt. Die absolute Genauigkeit ist bei der Schlagvermessung, dem Wiederfinden von Bodenpunkten und Gullideckeln und der GPS-gesteuerten Ausbringung relevant.

3.3 Ausblick

Um unabhängiger von den Entwicklungen der USA (Navstar) rund um das GPS – System zu werden bzw. dem russischen GLONASS System, hat die EU 1999 damit begonnen ein eigenes System zu entwickeln und einzusetzen. GALILEO soll 2008 in Dienst gestellt werden. Dieses System soll eine höhere Genauigkeit bieten und mit dem derzeitigen GPS–Empfängern kompatibel sein. Über 30 geostationäre Satelliten und ein präziseres Datenübertragungssystem sollen dies gewährleisten und zusätzlich die Signale der Navstar–Satelliten mit nutzen.

4. Lenksysteme

Man unterscheidet bei den Lenksystemen zwischen manuellem Parallelfahrssystem und automatischem Lenksystem, wobei man dieses wiederum in Lenkassistenzsystem und automatisches Lenksystem unterteilt.

4.1 Manuelles Parallelführungssystem

Bei den manuellen Parallelfahrssystem werden Fahrfehler durch eine LED –Anzeige oder über einen Monitor angezeigt. Am Markt werden von den Herstellern reine Lichtbalkensysteme (LED–Anzeige), Systeme mit Lichtbalken und Monitor sowie reine Monitore angeboten. Als zusätzliches Hilfsmittel werden zum Teil akustische Warnsignale verwendet, wenn der Fahrer von der Sollspur abweicht.

Die Lichtbalken können zum einen im Frontscheibenbereich mit Saugnäpfen, mit Klebepads oder Magnetfüßen befestigt werden. Einige Hersteller favorisieren die Befestigung mittig auf der Motorhaube, um die LED–Anzeige nicht zu dicht am Auge des Fahrers zu positionieren.

Beim Fahren mit einem manuellen Parallelfahrssystem sollte die Anzeige nur aus dem Augenwinkel betrachtet werden. Bei einigen Herstellern wird der zu erwartende Lenkfehler vor berechnet und das Gerät gibt die Lenkempfehlung, damit dieser Fehler möglichst gering gehalten wird. Um den Lenkempfehlungen ohne große Abweichungen folgen zu können, bedarf es einiger Übung mit der entsprechenden

Technik. Die geforderten Lenkbewegungen müssen fein dosiert und nicht zu ruckartig erfolgen.

Bei den manuellen Parallelführungssystemen liegt die Spur–zu–Spur Genauigkeit im Bereich von 15–30 cm. Aufgrund dieser Genauigkeit eignen sich diese Geräte zur Grundbodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz sowie bei Arbeiten mit fehlenden Fahrgassen.

Kehrt man nach einer Arbeitsunterbrechung von mehreren Stunden zu der Sollspur zurück, kann der Abstand größer sein als ein Meter durch die Veränderung der Satellitenpositionen. Einige System bieten aber entsprechende Technik, diesen Fehler per Tastatur zu korrigieren.

4.2 Automatische Lenksysteme

Bei den automatischen Lenksystemen muss man zwischen den Lenkassistenzsystem und dem automatischem Lenksystem unterscheiden.

Lenkassistenzsysteme können die Fahrzeuge mit 10 bis 30 cm bzw. 5 bis 10 cm Genauigkeit auf der Soll–Fahrspur halten. Lenkassistenzsysteme greifen über einen Elektromotor oder direkt über die Lenkhydraulik in die Lenkung ein. Im Gegensatz zur manuellen Parallelfahrhilfe hat der Fahrer keinen Einfluss auf die Fahrfehler, da die Führung automatisch gesteuert wird. Bei diesem System muss der Fahrer sein Fahrzeug aber genau auf die angezeigte Spur fahren und kann dann den Lenkassistenten per Knopfdruck starten.

Diese Lenkassistenten finden ihren Einsatzbereich ebenfalls in der Grundbodenbearbeitung sowie im Pflanzenschutz und der Düngung. Für die Saat ist dieses System zum Teil noch zu ungenau.

Die **automatischen Lenksysteme** werden entweder vom Hersteller direkt im Fahrzeug installiert oder können nachträglich in entsprechende Fahrzeuge nachgerüstet werden. Bei diesen Systemen wird direkt in die Lenkhydraulik eingegriffen. Ein weiterer Unterschied zu den Lenkassistenten ist, dass die automatischen Lenksysteme den Fahrer bereits beim Einlenken in die Spur unterstützen bzw. ab einem bestimmten Winkel zur gewünschten Spur, die Spur nach der Aktivierung des Systems selbstständig ansteuern und diese dann halten. Der Fahrer braucht dann nur die entsprechende Lenkrichtung anzugeben und kann sich dann auf seine Anbaugeräte konzentrieren.

Die meisten automatischen Lenksysteme verfügen über einen Neigungsausgleich, so dass Positionsfehler, die bei Seitenneigung entstehen, korrigiert werden können. Dabei unterscheiden sich die Ausgleichskomponenten von Hersteller zu Hersteller. Bei Kauf entsprechender Technik ist auf diese Ausstattungsvarianten zu achten.

Die automatischen Lenksysteme lassen sich ebenfalls für die oben genannten Arbeiten einsetzen. Zusätzlich kommt bei einem Genauigkeitsbereich von 2 bis 5 cm die Saat noch hinzu. Bei den ganz genauen RTK–Systemen (Real Time Kinematik),

die über eine eigene Referenzstation am Feldrand oder am Hof verfügen, liegt die Genauigkeit bei +/- 2 cm. Bei dieser Genauigkeit kann man die Technik für das Anlegen von Reihenkulturen bzw. Dammkulturen verwenden, sowie für die mechanische Unkrautbekämpfung in Reihenfrüchten.

5. Kaufkriterien

Die Empfangsrate des GPS-Empfängers sollte zwischen 5–15 Hz liegen, um ausreichend Datenmaterial für eine genaue Positionsbestimmung zur Verfügung zu haben. Bevor ein Gerät angeschafft wird, sollte man unterschiedliche Systeme mit verschiedenen Korrektursignalen testen, da nicht in jeder Region die gleiche Empfangsqualität gegeben ist bzw. einige kostenlose Korrekturdienste gleiche Qualitäten liefern wie kostenpflichtige. Die jährlichen Kosten für die Korrektursignale müssen bekannt sein und mit anderen Anbietern verglichen werden. Die Systeme sollten weiterhin über die Möglichkeit verfügen, andere Korrektursignale zu benutzen und nicht nur auf ein Signal abgestimmt sein, so dass bei Korrektursignalausfall auf ein anderes Signal zurückgegriffen werden kann.

Bei der Bedienung der Geräte muss eine einfache und verständliche Menüführung gewährleistet sein. Wichtig bei diesem Punkt ist auch die verwendete Sprachauswahl. Die Menüführung sollte möglichst in der Landessprache erfolgen. Der Kundendienst sollte möglichst schnell und einfach die Fehler beheben können. Bei unserem Test haben wir festgestellt, dass eine englische Menüführung sowie eine unzureichende englische Betriebsanleitung mit einem im Ausland sitzenden Kundendienst zu unbefriedigenden Ergebnissen auf Seiten des Anwenders führt.

Der verwendete Monitor bzw. der Lichtbalken müssen ausreichend groß dimensioniert sein, um ermüdungsfrei arbeiten zu können.

Weiterhin bringt es Vorteile, wenn die vorhandene Technik auf weitere Fahrzeuge übertragbar ist und Zusatzfunktionen wie die Steuerung der Pflanzenschutzspritze und des Düngerstreuers möglich sind.

6. Firmenübersicht

Der **AGCO**-Konzern hat das Spurführungssystem **Auto-Guide** für die Fendt Schlepper der 700, 800 und 900er Serie im Programm. Das Spurführungssystem gibt es in zwei Ausführungen (Standard und Präzision). Auto - Guide nutzt einen Zweifrequenz DGPS – Empfänger und das Korrektursignal Omnistar. Das Gerät ist auch für das kostenlose Referenzsignal EGNOS geeignet.

Die von uns getestete Version verfügte über beide Genauigkeitsstufen. Während des Test wurde mit der Standardversion (VBS) gearbeitet. Die Dateneingabe, Bedienung und die Ablesbarkeit des Terminals haben wir als gut befunden. Die Position des Bedienterminals ist jedoch zu weit rechts angeordnet, eine Positionierung in Fahrrichtung wäre günstiger. Bis zur Einsatzbereitschaft des genauen Omnistar HP-Signal vergehen ca. 20 min. Bei Verlust dauert die Reinitialisierung ebenso lange.



Abbildung 1: Bedienterminal des Auto-Guide-Systems von AGCO

Agrocom vertreibt das **OutbackS**-System. OutbackS verwendet GPS-Standard-Signale sowie den europäischen Korrekturdienst EGNOS. Zusätzlich gehören noch die e-Dif-Software und der Steering Guide zur Ausrüstung. e-Dif hält die Genauigkeit auch bei fehlendem Referenzsignal. Der Steering-Guide berechnet die Fahrzeugposition im Voraus und gibt entsprechende Lenkempfehlung. Die hier verwendete Version war mit einem DGPS-Empfänger ausgestattet und empfing EGNOS als Korrektursignal. Die Bedienung, die Dateneingabe sowie die Einstellung der Werte war gut gelöst. Während unseres Tests war die Stabilität des Korrektursignals gut. Die Position und die Ablesbarkeit der Anzeige an der Windschutzscheibe waren sehr gut. Das Einlenken in die gewünschte Spur war ohne Probleme nachzuvollziehen. Lediglich die Menüführung war etwas unübersichtlich. Das manuelle Parallelfahrssystem war nach 5 Minuten einsatzbereit. Das manuelle Konturfahren ist mit diesem System ebenfalls möglich, es bedarf jedoch einiger Übung.



Abbildung 2: Bedienterminal und LED-Anzeige in einem von Agrocom (Werkbild)

Die Firma **Autofarm** aus den USA vertreibt zwei automatische Lenksysteme, das System **Step One** und **Autosteer** mit eigener RTK Station. Zurzeit befindet sich das Händlernetz im Aufbau. Das System ermöglicht ein Fahren entlang von Geraden und Kurven. Der Einbau ist in fast alle gängigen Schlepper möglich und mit einer mobilen Kabinenbox von einem Schlepper auf den nächsten umsetzbar. Voraussetzung für die automatische Lenkung ist der Eingriff in das Hydrauliksystem des Schleppers. Die Bedienung über den Touch Screen war sehr gut und einfach nachzuvollziehen. Die Dateneingabe sowie die Einstellungen waren gut durchdacht. Die Ablesbarkeit der Anzeige durch den relativ großen Monitor war gut. Lediglich die Position der Anzeige war nicht mittig genug. Durch die eigene Referenzstation, die auf dem Betrieb bzw. am Feldrand aufgebaut werden kann, ist das Gerät nach 2 Minuten einsatzbereit. Zurzeit ist die Menüführung noch in englischer Sprache verfasst. Zum Herbst 2005 soll eine neue Version in deutscher Sprache auf dem Markt erscheinen.



Abbildung 3: Touch-Screen zur Bedienung des Autofarm-Systems (Werkbild)

Farmworks bietet mit **Guide Mate** eine Software für den Pocket-PC. Mit diesem Programm sind Parallel- und Konturfahren auf jedem Pocket-PC funktionsfähig. Es wird keine außenliegende Lightbar benötigt. Alle Anzeigen sind auf dem Display

abrufbar. Während des Tests haben wir zusätzlich einen außenliegenden Lichtbalken verwendet. Das Parallelfahrssystem von Farmworks ist eine günstige Einsteigerversion, die mit weiteren Einsatzmöglichkeiten des Pocket-PC gut kombinierbar ist. Bei der getesteten Version wurde mit dem Korrektursignal EGNOS gearbeitet. Es kann aber auch mit Küstenfunk gefahren werden. Die Eingabe der Daten sowie die Menüführung haben wir als gut befunden. Das Fahren mit Lichtbalken auf der Motorhaube funktionierte recht gut. Die Anweisungen auf dem Pocket-PC waren etwas träge und die Lenkimpulse wurden im Verhältnis zum Lichtbalken zu spät ausgeführt. Beide Anzeigen konnten gut abgelesen werden.



Abbildung 4: PC-Handheld als Orientierungshilfe (Werkbild Farmworks)

John Deere hat ein Parallelfahrssystem (**Greenstar-Parallel-Tracking**) sowie ein automatisches Lenksystem (**Greenstar-Autotrac**) im Programm. Beide Systeme benutzen das Zweifrequenz GPS –Signal sowie das Korrektursignal Starfire. Bei diesem Signal wird zwischen zwei Genauigkeitsstufen unterschieden. Dem Starfire 1 (kostenlos) und dem Starfire 2 (kostenpflichtig). Über den Terminal können zusätzlich Anbaugeräte gesteuert und Daten aufgezeichnet werden. Die Systeme sind für die 6020, 7020 und 8020 Serie sowie für die Mähdreschermodelle WTS, CTS und STS erhältlich. In unserem Test haben wir das Autotrac System mit dem Korrektursignal SF 2 getestet. Die Bedienung des Greenstar-Terminals war sehr gut. Die Einstellungen und die Menüführung sind gut strukturiert aufgebaut, so dass die erforderlichen Daten gut eingeben werden können. Das Korrektursignal war während unseres Tests sehr stabil und ging nicht verloren. Das Greenstar-Terminal ließ sich sehr gut ablesen, es könnte mehr mittig angeordnet sein. Das Fahren von Kurven ist zurzeit nur mit dem manuellen Parallelfahrssystem möglich.



Abbildung 5: Greenstar-Terminal zur Bedienung des Parallelfahrersystems
(Werkbild John Deere)

LH Agro vertreibt die manuellen Parallelfahrhilfen **Swath XL** und **Centerline**. Als Bedienterminal wird das **Smartpad II** eingesetzt. Die erforderlichen Daten werden über das Smartpad II eingegeben. Die Position ist je nach Halterung frei wählbar. Die Grundausstattung wird ohne GPS geliefert und kann an jeden beliebigen GPS-Empfänger angeschlossen werden. Bei unserem Test haben wir einen 5 Hz DGPS-Empfänger mit dem Korrektursignal von Omnistar eingesetzt. Handbuch und Dateneingabe im Smartpad II sind in englischer Sprache verfasst. Als Anwender muss man sich mit den entsprechenden Fachbegriffen auseinandersetzen, um keine falschen Daten einzugeben. Die Bedienung sowie die Dateneingabe und Einstellungen waren als befriedigend zu bewerten. Die Ablesbarkeit sowie die Positionierung der Centerline Anzeige waren gut. Störend waren die Kabelanschlüsse an der Rückseite des Lichtbalkens, die eine gute Ausrichtung der Centerline Anzeige an der Windschutzscheibe erschwerten.



Abbildung 6: Bedienterminal Smartpad II von LH-Agro (Werkbild)

Müller Elektronik bietet das Isobus-kompatible Parallelfahrssystem **Track-Leader** an. Es arbeitet in Kombination mit dem Basic Terminal und einer LED – Anzeige auf der Motorhaube. Das Terminal ist auch zur Steuerung von Anbaugeräten und zur Datenaufzeichnung geeignet. Bei dem Test wurde als Korrektursignal EGNOS verwendet. Die Dateneingabe sowie die Bedienung des Terminals waren gut zu bewerkstelligen. Die Menüführung war einfach und gut nachzuvollziehen. Die Korrekturdatenstabilität war während unseres Tests problemlos. Die Ablesbarkeit sowie die Position des Lichtbalkens auf der Motorhaube funktionierten einwandfrei und erlauben ermüdungsfreies Arbeiten. Kurven fahren ist mit diesem System ebenfalls möglich. Die Zeit bis zur Einsatzbereitschaft beträgt zwei Minuten.



Abbildung 7: LED-Anzeige Track-Leader von Müller Elektronik (Werkbild)

Trimble baut manuelle Parallelführungssysteme, Lenkassistenzsysteme und automatische Lenksysteme. Diese können als Nachrüstätze in fast alle gängigen Traktoren nachgerüstet werden. Bei den manuellen Parallelführungssystemen werden die Lenkhilfen über eine Kombination aus Lichtbalken und Monitor mit unterschiedlichen perspektivischen Darstellungen angezeigt. Bei dem automatischen Lenksystem **AgGPS Autopilot** wird dieser Monitor ebenfalls eingesetzt. Bei der getesteten Version handelt es sich um diesen Autopilot. Die Bedienung und die Dateneingabe sowie die dazugehörige Menüführung waren gut und einfach zu verstehen und nachzuvollziehen. Es wurde ein 5Hz DGPS – Empfänger eingesetzt der zur Korrektur die Daten das Omnistar-HP-Signals eingesetzt hat. Die Zeit bis zur Einsatzbereitschaft des genauen HP-Signals betrug 20 Minuten. Die Stabilität war während des gesamten Tests einwandfrei auch beim Einsatz an Knickrändern. Durch die frei wählbare Position des Monitors kann sich der Fahrer die gewünschte Position optimal aussuchen. Die verschiedenen Möglichkeiten der Anzeige waren gut lesbar. Der AgGPS-Autopilot fährt auch Kurven exakt nach. Durch vorherige Einstellungen kann ausgewählt werden, welche Spur die Referenzspur sein soll. Zum einen kann

die jeweils vorher gefahrene Spur oder zum anderen die Ausgangsspur als Referenzspur gewählt werden.

Lediglich am Vorgewende wird die Einfahrt in die nächste Spur etwas spät angezeigt.



Abbildung 8: Kombination aus LED-Anzeige und Monitor (Werkbild Trimble)

WTK–Elektronik setzt den **field–guide** in Verbindung mit dem Isobus-Terminal field–operator 205 ein. Der field–guide nutzt DGPS-Empfänger zur Positionsbestimmung. Das Terminal kann zusätzlich für Steuerungs- und Dokumentationsaufgaben eingesetzt werden. Als Korrektursignal kann zwischen dem Küstenfunk und EGNOS gewählt werden. Bei dem Test wurde mit dem Küstenfunksignal gefahren, welches die ganze Zeit verfügbar war. Die Daten und Einstellungen erfolgen über den Terminal field–operator 205. Diese lassen sich gut und ohne Probleme in das System eingeben. Datenänderung lassen sich über die gute Menüführung leicht durchführen. Die mittige Position über der Windschutzscheibe war gut einsehbar. Der Lichtbalken wird mittels Magnetfüßen befestigt. Das gesamte System ist innerhalb von drei Minuten einsatzbereit.



Abbildung 9: Field-Operator zur Dateneingabe (Werkbild WTK)

Tabelle 1: Bewertungskriterien der Parallelfahrssysteme
(unsere Ergebnisse praktischer Arbeiten)

	Trimble AgGPS Autopilot	John Deere Autotrac	Auto- farm Autosteer	Fendt Auto- Guide	Agro- com OutbackS	Farm- works Guide Mate	LH- Agro Smart- pad II	Müller Elektr. Track Leader	WTK field- guide
Einbau	+	+	+	+	+	0	0	+	+
Platzbedarf	+	+	+	+	+	+	0	+	+
Position der Anzeige	++	+	+	0	++	+	+	+	+
Bedienungs- anleitung	+	+	0	+	+	0	-	+	+
Menüführung	+	+	+	+	+	0	0	+	+
Referenzspur festlegen	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Lesbarkeit der Anzeige	++	++	++	++	+	+/0	+	+	+/0
Geradeaus navigieren	++	++	++	++	+	0	0	+	+
Korrekturdaten Stabilität	++	++	++	+	+	+	+	+	+
Konturfahren	ja	nein	ja	nein	ja	ja	ja	ja	nein

Bewertungskriterien: ++ = sehr gut, + = gut, 0 = befriedigend, - = ausreichend, -- = mangelhaft

Das Konturfahren ist nur in Verbindung mit den automatischen Lenksystemen effektiv einsetzbar. Das Konturfahren mit den manuellen Parallelfahrssystemen erfordert sehr viel Übung und bringt in den seltensten Fällen den gewünschten Erfolg.

Tabelle 2: Übersicht der automatischen Lenksysteme

	Trimble AgGPS Autopilot	John Deere Autotrac	Autofarm Autosteer	Fendt Auto-Guide
Preis	15.000 - 20.000 €	15.000 - 20.000 €	ca. 36.000 €	16.500 - 21.000 €
Korrektursignal	Omnistar HP	Starfire 2	eigene RTK Station	Omnistar VBS
jährliche Kosten f. d. Korrektur- signal	1.200 €	1.000 €	keine	800 €
Eignung	säen, pflanzen, spritzen, usw.	säen, pflanzen, spritzen, usw.	mech. Unkrautbek. Säen, usw.	spritzen, Bodenbearbeitung, usw.
Anbieter	www.geo-konzept.de	www.deere.de	www.roden- landtechnik.de	www.fendt.com

Tabelle 3: Übersicht der manuellen Parallelfahrhilfen

	Agrocom Outback S	Farmworks Guide Mate	LH-Agro Smart-pad II	Müller Track Leader	WTK field-guide
Preis	5.500 €	3.700 €	ab 4.000 €	ab 3.590 €	ab 3.100 €
Korrektursignal	EGNOS	EGNOS	Omnistar VBS	EGNOS	Küstenfunk
jährliche Kosten f. d. Korrektur- signal	keine	keine	800 €	keine	keine
Eignung	Dünger- u. Gülleausbringung, beding. Bodenbe.	Dünger- u. Gülleausbringung, beding. Bodenbe.	Dünger- u. Gülleausbringung, beding. Bodenbe.	Dünger- u. Gülleausbringung, beding. Bodenbe.	Dünger- u. Gülleausbringung, beding. Bodenbe.
Anbieter	www.agrocom.de	www.farmworks.de	www.LH-Agro.de	www.mueller-elektronik.de	www.wtk-elektronik.de

7. Messverfahren

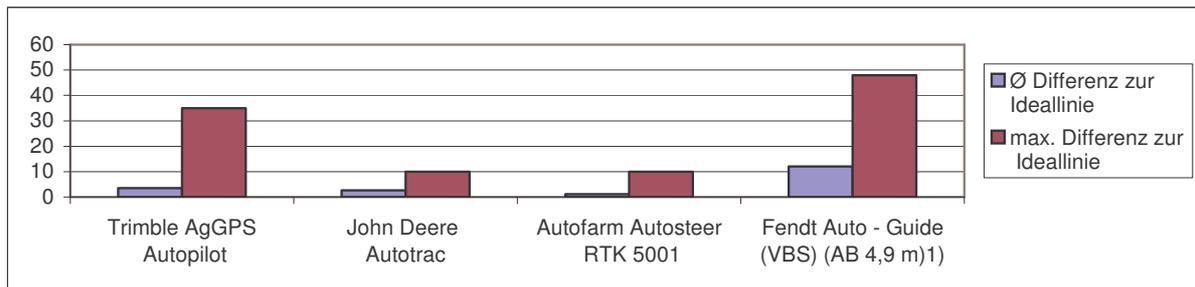
Bei unserem Test haben wir das Hauptaugenmerk auf die Bedienbarkeit und die Spur-zu-Spur Genauigkeit gelegt. Anhand einer Checkliste wurde jedes System einzeln beurteilt.

Bei der Ermittlung der Spur-zu-Spur Genauigkeit wurde die gewünschte Arbeitsbreite eingestellt und anschließend eine Referenzspur durchsetzen von A- und B- Punkt auf einer Strecke von 100 m gelegt. Neben diese Referenzspur wurden dann im Parallelfahrmodus je nach technischer Ausstattung drei weitere Spuren gefahren. Zur Ermittlung der Genauigkeit wurden von einer Spur zur nächsten gemessen. Jeweils 25 Messpunkte pro 100 m wurden gemessen, so dass zur Berechnung der Spur-zu-Spur Genauigkeit 75 Messpunkte zur Verfügung standen.

7.1 Messergebnisse

Tabelle 4: Messergebnisse „Spur-zu-Spur“ bei automatischen Lenksystemen

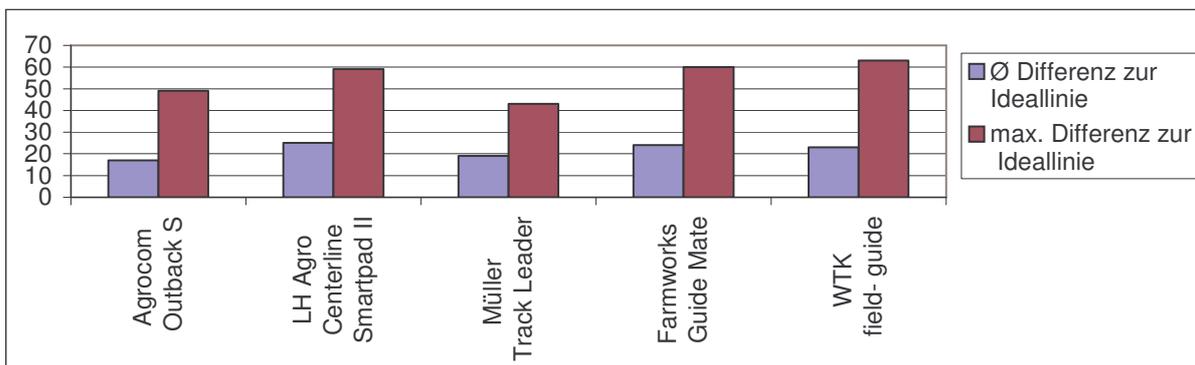
		Trimble AgGPS Autopilot	John Deere Autotrac	Autofarm Autosteer RTK 5001	Fendt Auto - Guide (VBS) (AB 4,9 m) ¹⁾
Ø Differenz zur Ideallinie	cm	3,5	2,6	1,2	12
max. Differenz zur Ideallinie	cm	35	10,00	10,00	48
Ø Arbeitsbreite	cm	403,3	401,6	400,9	486,0



1) Das genaue HP - Signal stand während des Test nicht zur Verfügung!

Tabelle 5: Messergebnisse „Spur-zu-Spur“ bei manuellen Parallelfahrhilfen

		Agrocom Outback S	LH Agro Centerline Smartpad II	Müller Track Leader	Farmworks Guide Mate	WTK field- guide
Ø Differenz zur Ideallinie	cm	17	25	19	24	23
max. Differenz zur Ideallinie	cm	49	59	43	60	63
Ø Arbeitsbreite	cm	415	427	415	426	389



Die obengenannten Tabellen zeigen, dass die automatischen Lenksysteme wesentlich genauer arbeiten, als die manuellen Lenkhilfen. Die höhere Ungenauigkeit wird durch den Einfluss des Fahrers verursacht. Da dieser nicht so genau den Lenkempfehlungen folgen kann.

8. Einsparpotentiale

Bei Arbeiten ohne Parallelfahrhilfe sind Überlappungen von 8 - 10 % normal. Bei der Verwendung eines Parallelfahrsystems kann diese Überlappung wesentlich reduziert und damit Geld gespart werden.

Nimmt man die Mittelwerte der durchschnittlichen Abweichungen zur Ideallinie aus den Tabellen (6 u. 7) für eine Beispielrechnung als Grundlage, so ergeben sich folgende Flächen- bzw. Kosteneinsparungen.

Tabelle 6: Flächeneinsparung bei Grubbereinsatz AB: 5 m (Netto: 1.000 ha)

	Ohne Lenkhilfe	Manuelle Lenkhilfe	Automatisches Lenksystem
Überlappung (%)	8,00	4,40	0,96
Überlappung (m)	0,40	0,22 ¹⁾	0,048 ²⁾
Gesamte Fläche durch Überlappung (ha)	1080	1044	1009,6

1) Mittelwerte aus der Differenz zur Ideallinie (manuelle Lenkhilfe)

2) Mittelwerte aus der Differenz zur Ideallinie (automatische Lenksysteme)

Tabelle 7: Flächeneinsparung bei Pflanzenschutz und Düngung
AB: 24 m (Netto: 1.000 ha)

	Ohne Lenkhilfe	Manuelle Lenkhilfe	Automatisches Lenksystem
Überlappung (%)	4,20	0,92	0,2
Überlappung (m)	1,00	0,22 ¹⁾	0,048 ²⁾
Gesamte Fläche durch Überlappung (ha)	1042,0	1009,2	1002,0

1) Mittelwerte aus der Differenz zur Ideallinie (manuelle Lenkhilfe)

2) Mittelwerte aus der Differenz zur Ideallinie (automatische Lenksysteme)

Tabelle 8: Jahreskosten der Lenksysteme

	Kosten pro Jahr in €/ha	
	Automatisches Lenksystem	Manuelle Lenkhilfe
AfA (5 Jahre)	4.000,00 ¹⁾	1.000,00 ²⁾
Lizenzgebühr/a	1.000,00	0
Zinsansatz (A/2 x 6%)	600,00 ¹⁾	150,00 ²⁾
Reparaturkosten/a (5%)	1.000,00	250,00
Gesamtkosten/a	6.600,00	1.400,00

1) Anschaffungskosten (A) 20.000,00 €

2) Anschaffungskosten (A) 5.000,00 €

Tabelle 9: Kostenbetrachtung für Grubber, Pflanzenschutz und Mineraldüngung

Gesamte Nettofläche 1.000 ha			
	Normal, ohne Lenkhilfe	Manuelle Lenkhilfe	Automatisches Lenksystem
Gesamt Fläche durch Überlappung	1080 ha	1044 ha	1009,6 ha
Kosten Grubbereinsatz (5m)	25,00 €/ha	25,00 €/ha	25,00 €/ha
Summe	27.000,00 €	26.100,00 €	25.240,00 €
Jahreskosten Lenksystem	0	1.400,00 €	6.600,00 €
Zwischensumme	27.000,00 €	27.500,00 €	31.840,00 €
Gesamt Fläche durch Überlappung	1042 ha	1009,2 ha	1002 ha
Pflanzenschutz (160 €/ha)	166.720,00 €	161.472,00 €	160.320,00 €
Maschinenkosten PSM 7 €/ha bei 5 Überfahrten =35 €/ha	36.470,00 €	35.322,00 €	35.070,00 €
Gesamt Fläche durch Überlappung	1042 ha	1009,2 ha	1002 ha
Handelsdünger (115 €/ha)	119.830,00 €	116.058,00 €	115.230,00 €
Maschinenkosten Dünger 3 €/ha bei 4 Überfahrten = 12 €/ha	12.504,00 €	12.111,00 €	12.024,00 €
Gesamtsumme	362.524,00 €	352.463,00 €	354.484,00 €

Die Tabellen zeigen deutlich, dass ohne den Einsatz von Parallelfahrhilfen 80 ha doppelt gegrubbert, 42 ha doppelt gespritzt und 42 ha doppelt gedüngt werden. Rechnet man all diese Kostenpunkte zusammen, wird deutlich, wie hoch das Einsparungspotential mit dieser Technik ist.

Bei der Berechnung dürfen aber die Anschaffungskosten sowie die jährlich anfallenden Kosten nicht außer acht gelassen werden. Die Preisspanne ist ganz erheblich. Sie beginnt bei 3.500 € für einfache manuelle Parallelfahrssysteme und reicht bis 45.000 € für Autopiloten mit eigener Referenzstation. Die Kosten für die genau arbeitenden Autopiloten liegen im Bereich von 18.000 – 22.000 €. Hinzu kommen noch die jährlichen Kosten für die Korrektursignale Omnistar und Starfire 2. Diese liegen im Bereich von 600 – 1.000 €/a. Es besteht aber die Möglichkeit bei einigen Anbietern das Korrektursignal nur für 3 Monate im Jahr oder über eine Gesamtlaufzeit von 3 Jahren zu mieten. Die längeren Vertragslaufzeiten über mehrere Jahre können die Kosten für das Korrektursignal erheblich senken.

9. Fazit

Parallelfahrhilfen sind in einem weiten Einsatzfeld zu nutzen. Sie können in verschiedenen Bereichen des Ackerbaus Betriebsmittel und Arbeitszeit einsparen. Die meisten am Markt befindlichen Systeme bieten nicht nur die Möglichkeit des Parallelfahrens. Dokumentationsaufgaben und die Steuerung von Geräten sind ebenfalls mit integrierbar.

Die manuellen Parallelfahrhilfen sind für den Einsatz im Grünland (Gülleausbringung, Düngerstreuen) besser geeignet als im Ackerbau. Der Einsatz von manuellen System ist im Dauereinsatz recht ermüdend, da der Fahrer sich zu stark auf die Anzeige konzentrieren muss.

Für den Dauereinsatz bei der Bodenbearbeitung bzw. Säen ist das automatische Lenksystem empfehlenswert, da der Fahrer durch das System wesentlich entlastet wird. Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass die Schlepperfahrer länger und ermüdungsfreier arbeiten können.

Um erste Erfahrungen mit Parallelfahrssystemen zu sammeln, sollte aus Kostengründen als Einstiegsvariante das manuelle Parallelfahrssystem gewählt werden. Beim Kauf entsprechender Technik sollte darauf geachtet werden, dass die Umrüstung vom manuellen zum automatischen Parallelfahrssystem mit vorhandenen Komponenten möglich ist.

Bei den zusätzlichen Kosten, die bei einer Investition in diese Technik entstehen, ist es ratsam im Vorwege eine genaue Kosten – Nutzen – Analyse durchzuführen.

Da der Markt verschiedenste Möglichkeiten bietet, sollte vor einem Kauf genau überprüft werden, welches System zum Betrieb passt. Ebenso wichtig ist eine

Überprüfung der einzelnen Korrekturdatenanbieter, da die Qualität von Region zu Region stark schwankt. Die Systeme sollten daher immer auf dem eigenen Betrieb getestet werden.

10. Literaturverzeichnis

- | | |
|-------------------------|--|
| Backes, M | Das Globale Positionierungssystem (GPS), Getreide Magazin 10. Jg. 3/2005 |
| Hofmann, L. u. Klee, U. | Maschine lenkt selbst, Neue Landwirtschaft 4/2004 |
| Holtmann, W. | Das Meisterwerk aus Zeit und Weg, Profi GPS Special 1999 |
| Holtmann, W. | Korrektur orten nur mir Korrektur Profi GPS Special 1999 |
| Noack, P. O. | GPS gestützte automatische Lenksysteme
Landtechnik 5/2004 |
| Weltzien, C. | GPS-Empfänger Vergleich, DLG-Prüfbericht 5148F, 03/03
DLG Fokus Test |