

FORSCHUNGSVERBUND AGRARÖKOSysteme MÜNCHEN

JAHRESBERICHT 2002

Teilprojekt: LT2/LQ3 Kurztitel: Technik und Qualität

Thema: Umsetzung der Teilschlagtechnik und Erfassung der Qualität von teilschlagvariieren Applikationen

Antragsteller: Dr. M. Demmel, Prof. Dr. H. Auernhammer
 Mitarbeiter: Dipl.-Ing.(FH), M.Sc. M. Ehrl (LT2)
 Dipl.-Ing. W. Stempfhuber (LQ3)
 Institution: TUM, Fachgebiet Technik im Pflanzenbau
 TUM, Lehrstuhl für Geodäsie

- I. Einleitung und Fragestellung
- II. Positionsgenauigkeit
- III. Kommunikation
- IV. Zusammenfassung
- V. Publikationen
 - V.1 Verwendete Literatur
 - V.2 Eigene Publikationen

I. Einleitung und Fragestellung

Aufbauend auf den FAM-Jahresbericht 2000 und 2001 werden die Ergebnisse der TP LT2 und LQ3 zusammengefasst. Die Schlüsseltechnologien für den Präzisen Ackerbau (Precision Farming) ergeben sich durch die Erfassung und Verwaltung der Basisdaten, dem Globalen Positionierungssystem (GPS), den standardisierten Kommunikationsprotokollen auf der Basis des Landwirtschaftlichen-BUS-Systems (DIN 9684 bzw. ISO 11783) sowie der notwendigen Aktorik (DEMMELE, 2002). In den beiden Teilprojekten wurde sowohl das Ortungssystem als auch die standardisierte Kommunikation zwischen vernetzten Komponenten qualitativ und methodisch verifiziert.

Innerhalb der letzten Jahre stand im FAM die Teilschlagbewirtschaftung und die Erforschung ihrer ökologischen und ökonomischen Auswirkungen im Vordergrund. Aus diesem Grund wurden beim Großteil der Versuche mit Hilfe von GPS georeferenzierte Daten aufgezeichnet und analysiert. Erreichbare Genauigkeiten bezüglich der Ortung als auch der Datenverarbeitung in nachgeschalteten Systemen stellen wichtige Kennwerte dar und zeigen darüber hinaus die technischen Grenzen bei der Umsetzung der Teilschlagbewirtschaftung auf. Die automatische Datenerfassung, das Flottenmanagement oder Feldrobotik stellen verschiedene Anforderungen und Genauigkeitsklassifikationen an die einzelnen Subsysteme. Diese Anwendungen benötigen verschiedene Positionsgenauigkeiten von mehreren 10 Metern bis hin zu wenigen Zentimetern.

Die durchgeführten Untersuchungen bilden eine wichtige Grundlage für die Datenanalyse und -Dateninterpretation im FAM als auch zur Verbesserung und Leistungssteigerung von zukünftigen Precision-Farming Systemen. Durch die stetige Weiterentwicklung und Standardisierung der eingesetzten Technik kann die Landwirtschaft mit Hilfe von Precision Farming den wachsenden ökologischen und ökonomischen Anforderungen unserer Zeit gerecht werden. Hierzu ist eine Untersuchung und Diskussion der gegenwärtigen Möglichkeiten und ihres Entwicklungsstandes mit Blick auf die Erfordernisse des FAM notwendig.

II. Positionsgenauigkeit

Aus der Vielfalt der geodätischen Messinstrumente erfüllt GPS nahezu alle Anforderungen eines Ortungssystems für den landwirtschaftlichen Einsatz. Je nach Verfahren können mit dem stand-alone- und differenziellen- (Codemessungen) sowie dem real time kinematic- (RTK, Trägerphasenmessungen) GPS Positionsgenauigkeiten in den jeweils benötigten Genauigkeitsklassen erreicht werden. Eine Verifizierung von GPS-Empfängern zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit und Minimierung der Fehlereinflüsse ist zur Klassifizierung des Einsatzbereiches unabdinglich. Tabelle 1 zeigt einige Ergebnisse aus statischen Genauigkeitsuntersuchungen am Lehrstuhl für Geodäsie (TUM).

Hierbei ist es sinnvoll zunächst das statische Verhalten des Messensors genauer zu betrachten. Aufbauend auf der Empfehlung des „Institute of Navigation“ (ION) (ION STD 101, 1997) sowie anderer Autoren (EHSANI, 2002) ist es zweckmäßig zunächst den Kaltstart (Initialisierungszeit) und den Warmstart (Signalunterbrechung) zu bestimmen.

Tab. 1: Statische Genauigkeitsuntersuchen verschiedener GPS-Empfänger

<i>Empfängertyp / GPS-Verfahren</i>	<i>Lagegenauigkeit 2σ rms</i>	<i>Höhengenaugigkeit 2σ rms</i>
Stand-alone GPS		
eTrex (Garmin)	13,8 m	22,9 m
GS50 (Leica)	3,2 m	8,4 m
SR530 (Leica)	3,6 m	8,6 m
GEOmeter 12+ (Geo++)	4,9 m	16,4 m
Geoexplorer3 (Trimble)	4,2 m	14,9 m
AgGPS132 (Trimble)	5,8 m	10,8 m
PRETEC GPS-Card (Compaq)	17,5 m	24,7 m
DGPS		
Geoexplorer3 (Trimble, Alf)	3,8 m	12,8 m
AgGPS132 (Trimble, Omnistar)	0,9 m	2,3 m
SR530 (Leica, Rasant)	2,4 m	3,8 m
RTK-DGPS		
SR530 (Leica)	1,5 cm	2,5 cm

Alle untersuchten Empfänger (Leica SR530, Garmin eTrex, Trimble Ag132) sind in der Lage die stand-alone Position für Echtzeitanwendungen im NMEA- (National Marine Electronics Association) Format innerhalb weniger Sekunden zu berechnen und über die serielle Schnittstelle auszugeben. Die pseudorange-korrigierten Positionen benötigen zusätzlich einige Sekunden. So steht bei einer ausreichenden Satellitenanzahl die DGPS-Position nach etwa 20 s zur Verfügung. Die neu berechnete Position variierte nach der Reinitialisierung willkürlich im Rahmen der Messgenauigkeit. Alle Hersteller von RTKGPS-Empfängern haben mittlerweile Verfahren zur Lösung der Phasenmehrdeutigkeit entwickelt, die eine Position mit einer Messunsicherheit von wenigen Zentimetern innerhalb der gleichen Initialisierungszeit bereitstellt (z.B. ClearTrack-Algorithmus zur schnellen Signalempfang und Ambiguity-Lösung von Leica, (STANSELL et. al., 1999)).

Als Grundlage kinematischer Genauigkeitsuntersuchungen ist des weiteren die dynamische Positionsgenauigkeit zu untersuchen. Hierbei ist zwischen einer relativen und absoluten Positionsgenauigkeit zu unterscheiden. Die relative Positionsgenauigkeit von GPS- oder DGPS-Beobachtungen stellt lediglich die empirische Standardabweichung, d.h. die einzelnen Ablagen der berechneten Positionen zum Mittelwert dar. Die absolute Positionsgenauigkeit ist durch die Variationen zu einem bekannten Sollpunkt (z.B. im Referenzrahmen ETRS89) zu ermitteln. Dies ist besonders bei der Verwendung von GPS-Beobachtungen unterschiedlicher Empfängertypen und Pseudorangekorrekturendiensten zu beachten. Verschiedene Einflussfaktoren wie unterschiedlich verwendete Geoidhöhen oder Referenzstationsinformationen erzeugen hierbei systematische Fehler. Außerdem erzeugen die verwendeten Funktionen zur Korrektur der Signalausbreitung, Phasenglättungsfunktionen sowie verschiedene kinematische Positionenfilter Fehler. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse einer absoluten Genauigkeitsuntersuchung statischer GPS-Beobachtungen getrennt in Lage und Höhe.

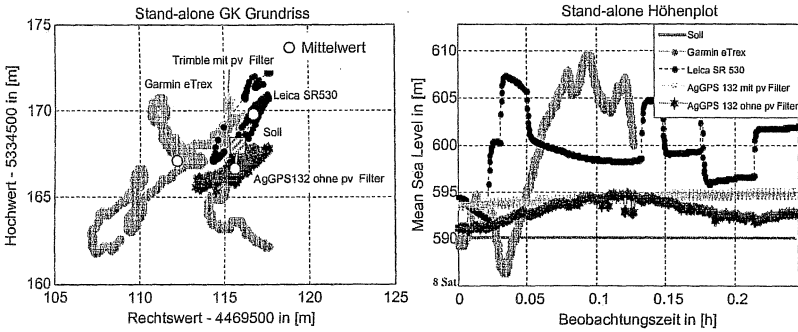


Abb. 1: Statistische Genauigkeitsuntersuchungen verschiedener GPS-Empfänger

Die Beobachtungsdauer sollte idealer Weise über mehrere 11,58 h (Umlaufdauer der Satelliten um die Erde) Perioden verteilt sein. In der Praxis erzeugen Mehrwegeeffekte, Signalrauschen, Antennenexzentrizitäten, Cycle Slips, Abschattungen und Multipath zusätzliche Fehler bei einer Positionsbestimmung mit GPS.

Genauigkeitsuntersuchungen kinematischer GPS-Beobachtungen können auf der anderen Seite durch einen Vergleich von geometrisch bekannten Sollinformationen wie Kreis- bzw. Linearbewegungen (STOMBAUGH et. al., 2002) oder durch Verwendung eines Referenzsystems (Messunsicherheit Referenzsystem von wenigen Zentimetern) durchgeführt werden (EHRL et. al., 2002). Anders als beim Vergleich der gemessenen GPS-Positionen zur wahren Sollspur durch orthogonale Abstände können mit dem Referenzsystem die Ablagen zwischen Soll und Ist durch den Betrag und der Richtung angegeben werden. Die exakte Bestimmung eines virtuellen Sollpunkts zum Messpunkt wird aus den geometrischen Verhältnissen rechnerisch bestimmt. Der Abstand der GPS-Antennen zueinander sollte mindestens mehrere Dezimeter betragen (im Beispiel Abb. 2 jeweils 1 m), so dass keine Störungen beim Empfang der GPS-Signale auftreten (STEMPFHUBER, 2002).

Die Ergebnisse eines Feldversuchs beim Pflügen zur Verifizierung der DGPS Positionsgenauigkeit eines Trimble AgGPS 132 Empfängers mit Omnistar Korrekturservice sind in Abb. 2 dargestellt. Hierbei wird links die Variation des Positionsrauschens in der Ebene (X-Y) abgebildet, während rechts die Lage- (kumulierte X-Y Ablage) sowie die Höhenkomponente (Z) zum gerechneten Sollpunkt gezeigt wird. Die Horizontal Dilution of Precision (HDOP) stellt einen von GPS erzeugten Genauigkeitsindikator dar, welcher jedoch keinerlei Korrelation mit der gemessenen Lagegenauigkeit ergeben hat.

Die Lagegenauigkeit dieser Messanordnung kann mit besser 3 m und einer Standardabweichung von 0,97 cm angegeben werden. Bei der Verwendung der Z-Koordinaten (z.B. Planung von Bewirtschaftungsrichtungen oder Gradientenbestimmung zur Definition von Abflussrichtungen) muss eine Variation von 4,5 m berücksichtigt werden.

Genauigkeitsuntersuchung Trimble AgGPS 132 Empfänger mit Omnistar Korrektur vs. Referenzmesssystem

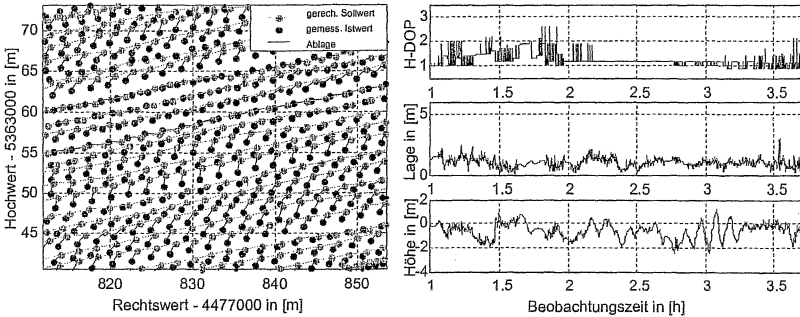


Abb. 2: Genauigkeitsuntersuchung eines DGPS Empfängers beim Pflügen

Im FAM-Jahresbericht 2001 wurden Angaben zur Latenzzeit verschiedener GPS-Empfänger aufgeführt. Durch die Verfügbarkeit aller notwendigen Rohmessungen aus den Orbitdaten, den präzisen Ephemeriden und den Codemessungen wurden bei einem Leica SR530 die genauen Empfängerzeiten während dem Signalempfang berechnet. Jeder berechnete Messzeitpunkt in der koordinierten GPS-Systemzeit UTC (Universal Time Coordinated) inklusive der Variation von $0.5 \mu\text{s}$ stellte den Zeitstempel der beobachteten Position zur Messepoche dar (Abb. 3).

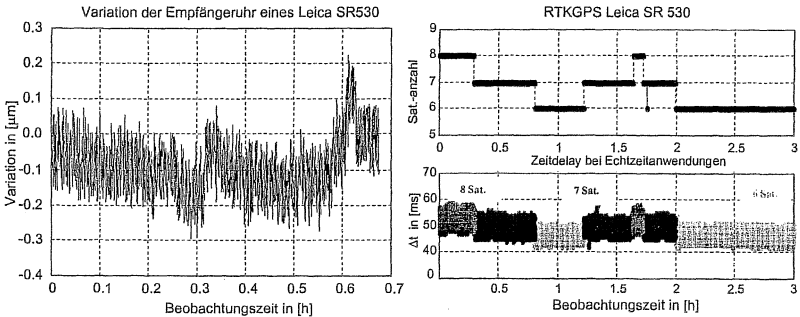


Abb. 3: GPS-Beobachtungs- und Latenzzeiten

Die abschließende Übersicht in Abbildung 4 listet einzelne Kriterien zur Komponentenprüfung von GPS-Empfängern für landwirtschaftliche Einsatzzwecke mit den jeweils relevanten Parametern auf.

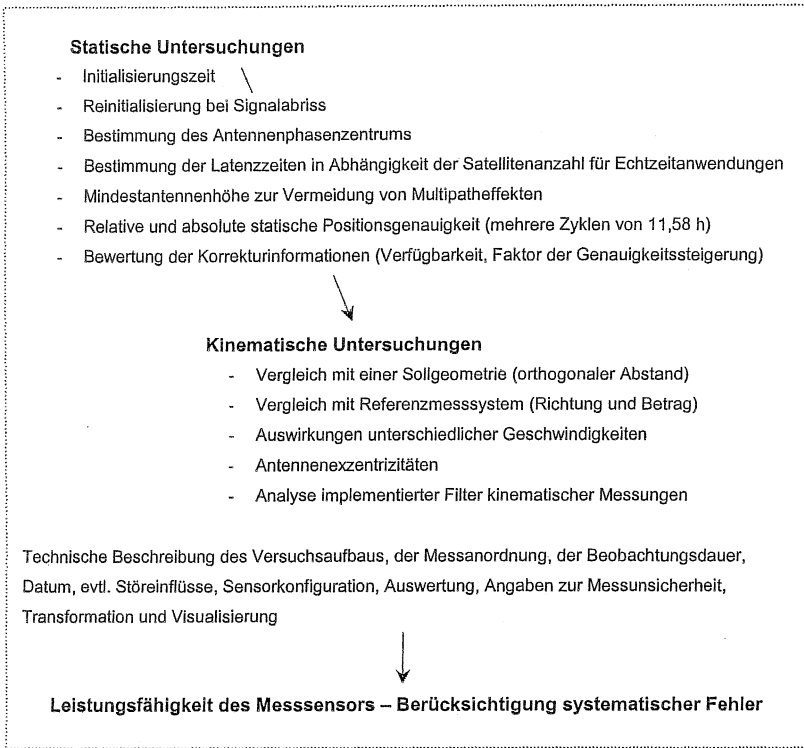


Abb. 4: Katalog zur Überprüfung von GPS-Empfängern für landwirtschaftliche Applikationen

III. Kommunikation

Die Kommunikation zwischen einzelnen '*Electronic Control Units*' (*ECU*'s) in mobilen Arbeitsmaschinen (z.B. Motor-, Getriebe-, Anbaugerätesteuerung, usw.) hat sich mit zunehmendem Elektronikeinsatz von Punkt zu Punkt Verbindungen hin zu intelligenten Kommunikationsnetzwerken entwickelt. Aufgrund steuerungstechnischer Gründe wie Fehlertoleranz oder robusten Übertragungsmöglichkeiten bildete sich das von Bosch entwickelte '*Controller Area Network*' (*CAN*) als hauptsächlich eingesetztes Kommunikationsprotokoll heraus. Basierend auf *CAN* wurden speziell für landtechnische Anwendungen die Normen *LBS* (*DIN 9684*) und *ISOBUS* (*ISO 11783*) entwickelt. Ein derartiges Netzwerk einer Traktor/Gerätkombination ist in Abb. 5 dargestellt.

Die begonnenen Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf Komponenten, die den Anforderungen der Normen *LBS* oder *ISOBUS* entsprechen.

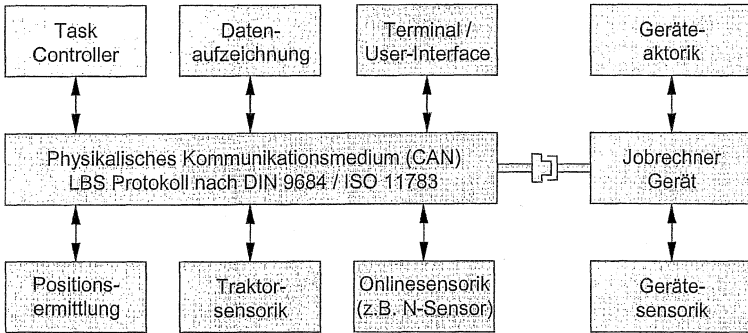


Abb. 5: Generelles Kommunikationsnetzwerk einer Traktor / Geratkombination

III.1 Problem

Bei der Realisierung des bereits seit 1996 fertiggestellten DIN Standards von Seiten der Industrie sind gewichtige Probleme aufgetreten. So führte unterschiedliche Interpretationen der Norm durch die verschiedenen Hersteller letztendlich zur Inkompatibilität der Produkte. Dadurch konnte das wichtige Ziel eines einheitlichen und Hersteller unabhängigen Standards nicht erreicht werden. Um dieses Problem beim zukünftigen *ISOBUS* Standard zu vermeiden, wurde eine 'Open Source Library', die *LBS_{lib}* entwickelt (SPANGLER et al., 2001). Das Ziel dieser Referenzimplementierung ist es, eine Hardware unabhängige Softwarebibliothek zu erstellen, welche den Datenaustausch zwischen den einzelnen Applikationen und dem *CAN* Netzwerk streng nach Norm bewerkstelligt. Somit können verschiedene Hersteller diese Bibliothek in ihre Applikationen integrieren, was letztendlich die Kompatibilität und damit auch eine erfolgreiche Realisierung des Standards sicherstellt. Das *LBS* Protokoll wurde bereits vollständig in der *LBS_{lib}* umgesetzt und ist sowohl auf PC Plattform (Windows) als auch auf eingebetteten Systemen lauffähig. Momentan werden elementare Bestandteile des *ISOBUS* Standards umgesetzt, welche mittels der in Abbildung 6 dargestellten Konfiguration getestet werden.

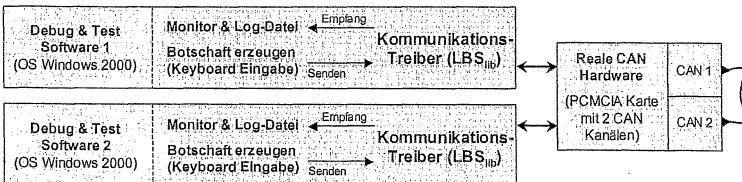


Abb. 6: Entwicklungs- und Testumgebung für den Kommunikationstreiber *LBS_{lib}*

III.2 Untersuchung des Datenverkehrs

Eine umfassende qualitative Untersuchung des eingesetzten offenen Kommunikationsstandards erscheint in einem angemessenen Rahmen als unerfüllbar. Ein Problem ist die große Abhängigkeit der softwaretechnischen Implementierung bei einer Vielzahl von unterschiedlichen Herstellern. Weitere Begrenzungen resultieren aus einer eingeschränkt zur Verfügung stehenden Anzahl von LBS/LBS+ Komponenten sowie praktisch nur Prototypimplementierungen nach ISOBUS.

In Kenntnis dieser Problematik wurde entschieden, mit Hilfe der LBS_{ib} eine repräsentative Testumgebung zu entwickeln. Der Kommunikationstreiber gewährleistet dabei den sicheren und normgerechten Datenverkehr zwischen einzelnen ECU 's im Netzwerk. Um auf Basis der LBS_{ib} eine möglichst realitätsnahe Untersuchungs- und Testumgebung aufzubauen, kommen für landtechnische Steuerungszwecke typische ECU 's mit 16bit Controllern (Infineon 167 Baureihe) zum Einsatz. Abbildung 7 zeigt den Aufbau der Testumgebung mit Düngestreuer ECU, Traktor ECU, Implement Indikator (IMI), GPS/Datenaufzeichnung, Terminal und einem PC-Busanalyseinstrument.

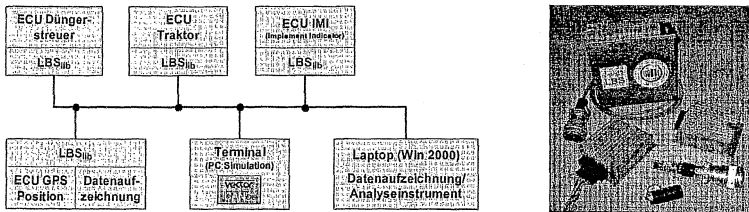


Abb. 7: Untersuchungs- und Testumgebung mit realen Hardwarekomponenten

III.3 Qualitätsparameter

Um das angestrebte Ziel einer qualitativen Untersuchung des Datenverkehrs näher zu spezifizieren wurden Parameter definiert, die den Ausdruck Qualität bezüglich dieses Anwendungsfalls näher erläutern.

Die aufgelisteten Aspekte werden als Qualitätsindikatoren eines offenen Kommunikationsstandards angesehen:

- **Kompatibilität:**
Volle Kompatibilität ist ein entscheidender Faktor, den ein Standard bieten muss, um sich in der Praxis zu bewähren.
- **Verfügbarkeit:**
Die witterungsbedingte Abhängigkeit der Landwirtschaft, extreme Umweltbedingun-

gen und das Inkrafttreten des erweiterten Produkthaftungsgesetzes (seit 01.01.2002) fordern eine qualitativ hochwertige Verfügbarkeit und Lebensdauer.

- **Effizienz:**
Unter diesem Begriff werden Faktoren wie Reaktionszeiten, Botschaftsgröße, überflüssige Nachrichten oder unnötig hohe Erneuerungsintervalle von Messwerten verstanden. Aufgrund einer nur begrenzt verfügbaren Übertragungsbandbreite kann Effizienz auch als besonders wichtiger Qualitätsfaktor eingestuft werden.
- **Sicherheit:**
In jeglichen Bereichen, in denen menschliches Leben und Gesundheit in Gefahr ist, sind Sicherheitsbetrachtungen und Vorsichtsmaßnahmen unumgänglich. Ein offener Kommunikationsstandard bietet mehrere Möglichkeiten, ein definiertes Ziel zu erreichen, allerdings auf jeweils unterschiedlichen Sicherheitsniveaus.
- **Intelligenz, Flexibilität:**
Beide Standards implizieren bereits ein hohes Maß an Intelligenz, da mit ihrer Hilfe hoch komplexe Systemstrukturen mit vielfältigen Ausgestaltungen und Funktionalitäten entstehen können und sollen. Das Softwaredesign wird hier großen Einfluss auf zukünftige und heute noch nicht absehbare Anwendungen wie 'Gerät steuert Traktor' Szenarien oder ähnliches haben.

Diese Aspekte stellen die grundsätzlichen qualitativen Merkmale der Kommunikationsuntersuchungen dar. Darüber hinaus gibt es noch weitere wichtige Merkmale, welche zusammen ein zielführendes Testschema ergeben (Tab. 2).

Tab. 2: Testschema für qualitative Busuntersuchungen

Layer	Qualitätsmerkmale	Messbereich, Einheiten
Task / Applikation (e.g. Düngerstreuer- Steuerungssoftware)	System- und Arbeitssicherheit	verschiedene Bereiche
	Fehlfunktion	möglich (y/n)
	Fehlermanagement	Implementiert (y/n), versch. Bereiche
	Reaktions- / Antwortzeit	Latenzzeit [ms]
	Diagnosefähigkeit	Implementiert (y/n), versch. Bereiche
Kommunikations- treiber (Software) LBS _{lib}	Kompatibilität	verschiedene Bereiche
	Effizienz	Codegröße, Durchlaufzeit [ms], ...
	Flexibilität	Plattform unabhängig? ...
	Intelligenz	dyn. Speichermanagement (y/n), ...
	Fehlermanagement	implementiert (y/n), versch. Bereiche
...
Hardware (CAN- Bausteine, Steck- verbindungen,...)	Verfügbarkeit	absturz sicher/-frei (y/n), Watchdog, ...
	Temperaturbereich	Bereich ausreichend (y/n)
	Buslast	Bus_Off Risiko (y/n)

IV. Zusammenfassung

Die im FAM innerhalb der letzten Jahre intensiv untersuchte Teilschlagbewirtschaftung stellt hohe technische Anforderungen an die applizierenden Systeme. Georeferenzierte Datenerfassung, teilflächenspezifische Düngung und Pflanzenschutz sind wichtige Anwendungen, welche je nach System und Umgebung in der Applikationsgenauigkeit erheblich variieren. Erreichbare Genauigkeiten bezüglich der Ortung als auch der Informationsverarbeitung in nachgeschalteten Systemen stellen deshalb wichtige Kennwerte dar.

Schlüsseltechnologien wie GPS und LBS/ISOBUS konnten als zwei besonders einflussreiche Faktoren identifiziert werden. Aus diesem Grund wurde ein System zur Evaluierung von GPS-Empfängern bezüglich zeitlicher und positionsbezogener Kenngrößen entwickelt. Verschiedenartige Empfängertypen wurden jeweils unter konstanten Randbedingungen untersucht, was bei zukünftigen Messungen mit anderer Hard- oder Firmware zu miteinander vergleichbaren Ergebnissen führt.

Die komplexe Kommunikation in landwirtschaftlichen Bus-Systemen nach *LBS* oder *ISOBUS* wird unter flexiblen Bedingungen untersucht. Hierzu wurde eine realitätsnahe und repräsentative Testumgebung auf Basis des *LBS_{lib}* Kommunikationstreibers erarbeitet.

Die durchgeführten Untersuchungen bilden eine wichtige Grundlage für die Datenanalyse und -Dateninterpretation im FAM und sind darüber hinaus zur Entwicklung von zukünftigen Systemen wie automatischer Datenerfassung, Flottenmanagement oder Feldrobotik notwendig.

V. Publikationen

V.1 Verwendete Literatur

- EHSANI, R. (2002): Elements of a Dynamic GPS Test Standard, ASAE Annual International Meeting CIGR XVth World Congress, Chicago.
- INSTITUTE OF NAVIGATION STANDARDS, ION STD 101 (1997): Recommended test Procedures for GPS receivers. Alexandria, VA:ION.
- STANSELL, T. and MAENPA, J. (1999): ClearTrak™ GPS Receiver technology. www.leica-geosystems.com/gps/product/cleartrak.pdf.
- STOMBAUGH, T., SHEARER, S. A. and FULTON, J. (2002): Elements of a Dynamic GPS Test Standard. ASAE Chicago 2002, Paper No. 021150.

V.2 Eigene Publikationen

- DEMMELE, M. (2002): Landwirtschaftliche Entwicklungen für Precision Farming, FAM Statusseminar vom 27.-29.11.02.
- DEMMELE, M., EHRL, M., ROTHMUND, M., SPANGLER and A., AUERNHAMMER, H., (2002): Automated Data Acquisition with GPS and Standardized Communication - The Basis for Agricultural Production Traceability. ASAE Chicago 2002, Paper No. 023013.
- EHRL, M., DEMMELE, M., AUERNHAMMER, H. and STEMPFHUBER, W. V. (2002): Spatio-Temporal Quality of Precision Farming Applications. ASAE Chicago 2002, Paper No. 023084.
- SPANGLER, A., DEMMELE, M. und AUERNHAMMER, H. (2001): *LBS_{lib}* als Open Source für Jedermann. In: Tagung Landtechnik 2001, VDI-Berichte 1636. VDI-Verlag, Düsseldorf, 101-106.
- STEMPFHUBER, W. (2002): Kalibrierung GPS gestützter Positionsbestimmung in Precision Farming, DVW-Schriftenreihe 44/2002, GPS2002: Antennen, Höhenbestimmung und RTK-Anwendungen.