

FORSCHUNGSVERBUND AGRARÖKOSYSTEME MÜNCHEN

JAHRESBERICHT 2001

Teilprojekt: LT2 und 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, Dr. W. Maurer (LQ3)
 Institution: TUM, Fachgebiet Technik im Pflanzenbau
 TUM, Lehrstuhl für Geodäsie

- I. Einleitung und Fragestellung
- II. Material und Methoden
 - II.1 Referenzmesssystem
 - II.2 Ertragsermittlung Mähwerk
- III. Ergebnisse und Diskussion
- IV. Schlussfolgerung und Ausblick
- V. Publikationen
 - V.1 Verwendete Literatur
 - V.2 Eigene Publikationen

I. Einleitung und Fragestellung

Die Teilprojekte LT2 und LQ3 zielen mit ihren Untersuchungen auf die Beurteilung der Qualität und Präzision von teilschlagvariierter Applikationsarbeiten. Die Ergebnisse der Evaluation sind für eine signifikante Verbesserung der Applikationsgenauigkeit von teilschlagspezifischen Maßnahmen unabdingbar. Diese aussagekräftigen Erkenntnisse sind für die Datengewinnung und -weiterverarbeitung insbesondere hinsichtlich einer zukünftigen „gläsernen Produktion“ notwendig. Das Wissen um technisch bedingte Fehlermöglichkeiten in landwirtschaftlichen Regelungs- und Ausbringsystemen, sowie deren Varianz, wird außerdem einen wichtigen Beitrag zur Akzeptanz und Überführung der Teilschlagbewirtschaftung in die Praxis leisten.

Benötigte Einsatzparameter lassen sich sowohl in Kennwerte für realistisch erreichbare Genauigkeiten der Ortungs- und Applikationstechnik, als auch in technische Reaktionszeiten der Teil- und Gesamtsysteme gliedern. Aufbauend auf die Systemanalyse des ersten Untersuchungsjahres (2000, FAM-Bericht 48) wurden die formulierten Ziele im Jahr 2001 weiter verfolgt, wobei bestimmte Teilaspekte bereits erschöpfend abgehandelt werden konnten.

Darüber hinaus wurde die lokale Ertragsermittlung beim Mähdrusch sowie bei der Silomais- und Kartoffelernte unterstützt und betreut. In enger Zusammenarbeit mit LT2 wurde ein System zur Ertragsermittlung im Mähwerk entwickelt und getestet, um die Ertragsvariation von Klee gras flächendeckend feststellen zu können.

II. Material und Methoden

II.1 Referenzmesssystem

Aufgrund einer ausführlichen Bewertung der Fehlereinflüsse auf das Gesamtsystem konnte als besonders einflussreicher Parameter die Ortungsgenauigkeit identifiziert werden. Untersuchungen des eingesetzten „*Differential Global Positioning System*“ (DGPS) bezogen sich sowohl auf die absolute Positionierungsgenauigkeit, als auch auf die Reaktionszeiten. Als Grundlage für diese zeit- und ortsbezogenen Untersuchungen musste ein hochpräzises Referenzmesssystem aufgebaut werden.

In der geodätischen Messtechnik existieren seit einigen Jahren verschiedene kinematisch taugliche Sensoren, die eine Bestimmung der Trajektorie bewegter Objekte in Echtzeit ermöglichen. Diese Messsysteme unterscheiden sich erheblich in ihrer Messfrequenz, Verfügbarkeit und Positionierungsgenauigkeit. Aus diesem Grund wurde ein hybrides Referenzmesssystem, bestehend aus einem „*Real Time Kinematic DGPS*“ (RTKDGPS) sowie einem zielverfolgenden Tachymeter (*Terrestrisches Positionierungssystem*, TPS) ausgewählt. Diese beiden, vom Messprinzip her völlig unterschiedlichen Systeme, lassen sich grundsätzlich nicht ohne gemeinsame Schnittstelle synchronisieren. Deshalb wurde eine zeitlich hochauflösende (für diesen Anwendungsfall echtzeitfähige) Registrierungssoftware entwickelt, welche die einzelnen Systeme sowohl synchronisiert, als auch die Da-

tenaufzeichnung übernimmt. Das mit dieser Konfiguration aufgebaute System genügt somit den Anforderungen einer hochgenauen Referenz zur Bestimmung der absoluten Positionsgenauigkeit. Es ist jedoch nicht in der Lage, auftretende systembedingte Zeitverzüge zu ermitteln. Hierzu ist eine hochpräzise Referenzzeit notwendig. Das UTC-Zeitsystem (Universal Time Coordinated), welches eine koordinierte Weltzeit höchster Genauigkeit darstellt, bietet sich zur Verwendung als universelle Zeitbasis an. Außerdem arbeitet GPS bereits in diesem Zeitrahmen, d.h. eine Transformation ist nicht mehr notwendig. Umfangreiche Recherchen zeigten drei verschiedene Lösungsmöglichkeiten zur Synchronisation der einzelnen Messsysteme mit UTC auf:

- DCF77 Zeitsignal
- GPS / PPS Zeitstempel
- neuartiger Internet-Zeitservice

In Deutschland ist seit 1978 die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig für die Darstellung und Verbreitung einer auf UTC basierten Zeitbasis beauftragt. Die PTB gibt die Abweichung mit $1,2 \cdot 10^{-14}$ Sekunden an, was einer Abweichung von einer Sekunde in 2,5 Millionen Jahren entspricht. Eine Möglichkeit dieses UTC-Zeitsystem kostenlos zu nutzen, ergibt sich durch die von der PTB und der deutschen Telekom gemeinsam betriebene Langwellenstation DCF77 (Deutscher Langwellensender Frankfurt; Trägerfrequenz 77,5 kHz) in Mainflingen. Sie sendet im Sekundentakt ein BCD (Binary Coded Decimal) Signal mit einer Genauigkeit deutlich unter einer Millisekunde und einer Reichweite von etwa 2000 km aus. Das empfangene Signal variiert jedoch bei einer Senderentfernung von ca. 350 km um etwa 100 ms (STEMPFHUBER, 2001), was sich aufgrund zahlreicher Messungen mit verschiedenen Empfängern herausgestellt hat. Die Ursache für dieses Langzeitrauschen (Kurzzeitgenauigkeit je nach Empfänger $\sim \pm 2-3$ ms) ist hauptsächlich in der Überlagerung der Boden- und Raumwelle des Langwellensignals in einer Höhe von ca. 70-100 km begründet. Zu den weiteren Einflussparametern zählt der Sonnenstand, die Atmosphäre sowie eventuell auftretende Funkstörungen entlang des Signalwegs. Hochwertige und dadurch sehr teure DCF77 Empfänger können durch Kreuzkorrelation die verrauschten Flanken des Signals relativ gut eliminieren und erreichen dadurch eine Genauigkeit unter einer Millisekunde (vgl. www.hopf.com, www.meinberg.de).

Eine zweite Möglichkeit der Zeitsynchronisation bietet das „Pulse Per Second – Event“ (PPS) bei speziell ausgestatteten GPS Empfängern. Durch die Navigationslösung, den Orbitdaten der Satelliten und die daraus abgeleitete Laufzeitmessung kann eine UTC-Zeit mit einer Genauigkeit von wenigen Nanosekunden vom GPS-Empfänger aufgelöst und ausgegeben werden.

Die Synchronisation per Internet basiert zunächst ebenfalls auf einem der beiden Systeme. Verschiedene Anstalten und Firmen (www.ptb.de, www.timing-systems.de, etc.) bieten Zeitserver an, welche in erster Linie für eine Synchronisation von PCs oder Arbeitszeiterfassungsgeräten vorgesehen sind. Diese Server benutzen zur Weitergabe der Zeitinforma-

tion das „*Network Time Protocol*“ (NTP). Nach Vorversuchen musste diese Möglichkeit aufgrund mangelnder Genauigkeit für die Aufgabenstellung als nicht brauchbar eingestuft werden. Die ungewisse Signallaufzeit des Internets und der Einfluss der Zugangsgeschwindigkeit (Modem vs. LAN) erlauben eine maximal zugesicherte Genauigkeit von etwa 20 ms. Außerdem ist ein mobiler Einsatz nicht oder nur sehr schwer realisierbar. Die außerordentlich hohe Präzision bei den gegebenen Einsatzbedingungen führte zur Auswahl des GPS / PPS Signals als hochgenaue Zeitreferenz. Für die Messungen wurden zwei Geräte unterschiedlicher Hersteller genutzt, welche in der angestrebten Messgenauigkeit von 1ms absolut identische Werte lieferten.

Die Registriersoftware wurde dazu um eine zusätzliche Schnittstelle erweitert und ist damit in der Lage alle an das Referenzsystem gestellten Bedingungen zu erfüllen. Das Messsystem verfügt derzeit über 4 serielle Schnittstellen (Abb. 1).

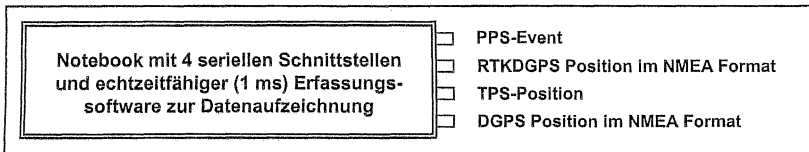


Abb. 1: Schematischer Aufbau des Messsystems zur Echtzeitdatenerfassung

Bei den Messungen wird eine Log-Datei mit den Datenstrings (Rohdaten) der einzelnen Geräte und dem zugehörigen PC-Zeitstempel in Millisekunden gespeichert (Abb. 2).

33092385	\$PLEIR,HPT,137936000,1130*18	(PPS)
33092676	\$GPGGA,071701.00,4823.9440650,N,01143.7749272,E,1,07,1.1,504.074,M,*,*30,	(RTKDGPS)
33092791	\$GPGGA,071701.00,4823.9440653,N,01143.774928,E,1,06,1.1,504.45,M,*,*30,	(DGPS)
33092638	TPS,2279290,72.4239,3.238	(TPS)

Abb. 2: Rohdatenausgang aus Log-Datei am Beispiel einer Messepoche

Bei diesem Verfahren müssen deterministische und stochastische Fehleranteile sowie Fehler während des Beobachtungsprozesses berücksichtigt werden. Untersuchungen mit dem System ergaben jedoch, dass sich diese in einer Bandbreite von ± 1 ms bewegen (STEMPFHUBER, 2001). Das auf der UTC-Zeitbasis synchronisierte Hybridmesssystem muss des Weiteren hinsichtlich der auftretenden Stör- und Fehlereinflüsse (GPS-Bahnfehler, GPS-Uhrenfehler, Laufzeitverzögerungen, Mehrwegeeffekte, GPS – Antennenexzentrizitätsfehler, mechanische Einflüsse bei TPS (INGENSAND, 2001), TPS Sensorsynchronisation, Initialisierung, Güte implementierter Filter, etc.) verifiziert werden (STEMPFHUBER, 2002). Dadurch besteht die Möglichkeit mit Hilfe des Referenzsystems folgende potentielle Fehlerquellen aufzudecken und zu quantifizieren:

- Latenzzeitbestimmung des Ortungssystems, der CAN-Kommunikation und der Umsetzung der Aktorik

- Ablagen zwischen Positionierungssystem und Bezugspunkten
- Stabilität und Verhalten des Gesamtsystems
- Fehler aus zusätzlichen Einflussgrößen (Spannungsschwankungen, Zubehör, Funkstörungen, Datenübertragungsmedien, etc.)

II.2 Ertragsermittlung Mähwerk

Für die kontinuierliche Ertragsermittlung von Kleegrasbeständen wurde ein Scheibenmähwerk mit Aufbereiter und Schwadleger mit einer Durchsatz- und Ertragsmesseinrichtung ausgestattet. Dieses System basiert auf der Bandwiegetechnik. Das ganze Querförderband des Schwadlegers ist auf Wiegezellen gelagert (Abb. 3).

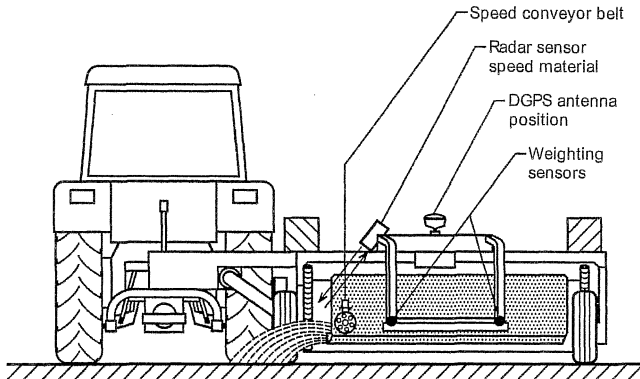


Abb. 3: Ertragsermittlung im Scheibenmähwerk mit Aufbereiter und Schwadleger

Die Auswerteelektronik arbeitet mit Filteralgorithmen zur Rohdatenaufbereitung. Quer- und Längsneigung werden über einen zweiachsigen Neigungssensor erfasst und ihr Einfluss auf das Gewichtssignal korrigiert. Die Materialgeschwindigkeit zur Ableitung des Masseflusses wird mit einem Radarsensor ermittelt. Die Position und Fahrgeschwindigkeit stellt ein RTKDGPS Empfänger zur Verfügung. Aus dem Massefluss und der Flächenleistung kann der aktuelle Flächenertrag berechnet werden. Dieser wurde in den Untersuchungen im Jahr 2001 mit einer Frequenz von 5 Hz zusammen mit den Positionsdaten abgespeichert.

Zur Untersuchung der Genauigkeit der Messeinrichtungen wurden zum ersten, zweiten und dritten Schnitt auf 2 bzw. 3 Feldern (A03, A09 und A12) jeweils 250 Parzellen mit 12 m² Fläche exakt gegengewogen. Die Ertragswerte dieser Flächen werden mit den Messwerten an den georeferenzierten Parzellenflächen (RTKDGPS) verglichen. Diese Auswertungen sind bisher noch nicht abgeschlossen. Erste Vergleiche auf wenigen Parzellen weisen Abweichungen von unter 5 % auf.

III. Ergebnisse und Diskussion

Empirische Untersuchungen des TPS- und RTKDGPS- Referenzmesssystems ergaben, dass die absolute Positionierungsgenauigkeit im Bereich weniger Zentimeter liegt. Bedingung ist jedoch, dass die beiden Systeme für kinematische Anwendungen kalibriert sind (STEMPFHUBER, 2001). Dieses Genauigkeitspotential des Referenzmesssystems entspricht auch der Datengrundlage (Genauigkeit der gesamten geodätischen FAM-Daten im GK-System $\pm 1-3$ cm) des Gesamtprojektes.

Die Varianz des eingesetzten DGPS - Empfängers (Trimble AgGPS 132 Empfänger mit Pseudostreckenkorrektur des Korrekturanbieters Omnistar) liegt im Meterbereich. Abbildung 4 zeigt einen Vergleich des Referenzmesssystems mit dem Trimble AgGPS 132 Empfänger.

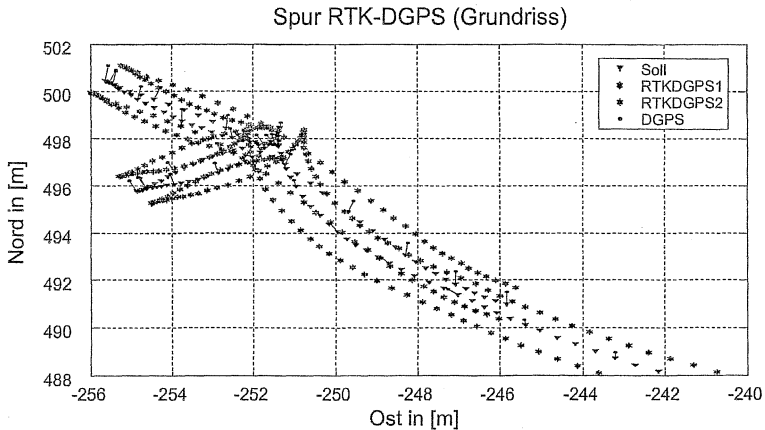


Abb. 4: Grundrissplot des Referenzsystems zum DGPS System

Der Ablagevektor zwischen der gerechneten Sollpositionen und der tatsächlich gemessenen Position liegt je nach Satellitenkonstellation, Abschattung, atmosphärischen Bedingungen, usw. in der Größenordnung von 1-3 m. Zur Zeit werden hierzu ausgedehnte Messungen durchgeführt, die das Messverhalten in Abhängigkeit von den genannten Faktoren bestimmen. Ziel ist, vermeidbare Fehlereinflüsse zu minimieren und anschließend ein Genauigkeitskriterium für das eingesetzte Ortungssystem abzuleiten.

Einen weiteren Einfluss auf die Genauigkeit übt die Latenzzeit der verwendeten Hardware aus. Die Latenzzeiten der untersuchten GPS-Empfänger, sowie des Referenzsystems bei verschiedenen Konfigurationen und Messmodi sind in Abbildung 5 graphisch dargestellt.

Zeitverzögerung Messzeit zur Ausgabezeit

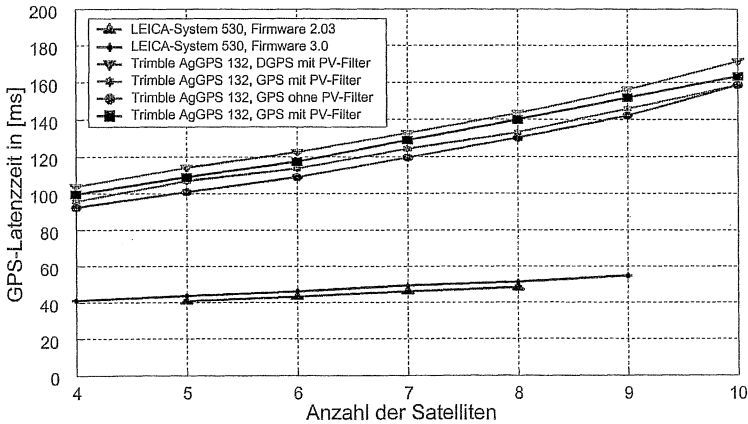


Abb. 5: Latenzzeiten der untersuchten Empfänger

Hier ist eine deutlich ansteigende Latenz bei zunehmender Anzahl sichtbarer Satelliten zu erkennen. Zusätzlich konnte eine Abhängigkeit vom Empfängermodus (DGPS, GPS, GPS mit und ohne Filter, etc.) festgestellt werden. Das Referenzsystem verhält sich analog, liegt jedoch mit den Latenzen deutlich unterhalb des Trimble AgGPS 132.

Auch die verschiedenen zielverfolgenden Tachymeter die im Projekt eingesetzt werden, weisen ein unterschiedliches Zeitverhalten auf. Hierzu muss die Arbeitsweise der einzelnen Subsysteme (Rohdatenverarbeitung, Winkel- und Distanzmessung sowie Datenausgabe und -speicherung) separat untersucht werden. Kalibrierungen für die Synchronisation der Einzelsensoren des Tachymeter ergaben Abweichungen laut Tabelle 1.

Tab. 1: Verzugszeiten verschiedener Tachymetertypen (STEMPFHUBER, 2001)

Instrument	EDM-Modus, Kompensator, Registrierungssoftware	At und Std [ms]
Leica TCA 2003	Tracking, Komp. ein, Auto-Record	+ 285 ± 0.6
	Tracking, Komp. aus, Auto-Record	+ 243 ± 1.1
	FastTracking, Komp. ein, Auto-Record	- 116 ± 1.4
	FastTracking, Komp. aus, Auto-Record	- 103 ± 0.9
Leica TCAR 1101	Tracking, Komp. ein, Fast-Record	+ 230 ± 0.5
	Tracking, Komp. aus, Fast-Record	+ 112 ± 0.7
	FastTracking, Komp. ein, Fast-Record	+ 200 ± 0.9
	FastTracking, Komp. aus, Fast-Record	+ 91 ± 2.0
Leica TCAR 1103 (plus-Version)	FastTracking, Komp. ein, Fast-Record	+ 155 ± 1.2
	FastTracking, Komp. aus, Fast-Record	+ 80 ± 1.2
Geodimeter ATS-PT	Tracking, Komp. ein,	+ 232 ± 1.3

IV. Schlussfolgerung und Ausblick

Das Messsystem ist derzeit soweit entwickelt, dass sowohl absolute Positionsgenauigkeiten, als auch Latenzzeiten von einzelnen Hardwarekomponenten gemessen und bewertet werden können. Dies erlaubt im weiteren Projektverlauf neue bzw. bestehende Komponenten verschiedener Hersteller nach dem gleichen Schema zu untersuchen, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet.

Eine detaillierte Untersuchung des CAN – Busverkehrs stellt sehr hohe Anforderungen an Analyse- und Messwerkzeuge, da mit Übertragungsgeschwindigkeiten von 125 kBit/s (LBS) oder 250 kBit/s (ISOBUS) kommuniziert wird. Die CAN-Schnittstelle, welche am PC/Notebook in der Regel in Form einer PCI Einsteckkarte oder einer PCMCIA Karte realisiert ist, verfügt über einen eigenen Mikroprozessor, welcher in Abhängigkeit von Buslast und Busfehlern wiederum mit zusätzlichen Latenzen behaftet sein wird. Gegenwärtige Arbeiten beziehen sich auf eine Erweiterung des Messsystems im Hinblick auf eine hochpräzise Untersuchung des CAN Datenverkehrs.

Nach einer umfassenden Bestimmung der einzelnen Störgrößen ist eine Formulierung entsprechender Parameter für spezielle Systemausgestaltungen geplant.

V. Publikationen

V.1 Verwendete Literatur

- INGENSAND, H. (2001): Zur Angabe der Messunsicherheit in der geodätischen Messtechnik. In: DVW-Schriftenreihe 42/2001, Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik. Wittwer Verlag, Stuttgart, 108-119.
- MANSFELD, W. (1998): Satellitenortung und Navigation-Grundlagen und Anwendung globaler Satellitennavigationssysteme. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden.

V.2 Eigene Publikationen

- DEMMELE, M., ROTHMUND, M., SPANGLER, A. and AUERNHAMMER, H. (2001): Algorithms for data analysis and first results of automatic data acquisitions with GPS and LBS on tractor implementation combinations. In: ECPA, Third European Conference on Precision Agriculture 1, 13-18.
- SPANGLER, A., DEMMELE, M. und AUERNHAMMER, H. (2001): LBS_® als Open Source für Jedermann. In: Tagung Landtechnik 2001, VDI-Berichte 1636, VDI-Verlag, Düsseldorf, 101-106.
- STEMPFHUBER, W. (2001): System Calibration in Precision Farming Calibration. In: Grün/Kahmen (Eds), Optical 3-D Measurement Techniques V, October 1-4, 2001, Vienna, 366-376, FIG Commission 5 and 6, IAG Special Commission 4, ISPRS Commission 5.
- STEMPFHUBER, W. und MAURER, W., (2001): Leistungsmerkmale von zielverfolgenden Tachymetern bei dynamischen Applikationen. In: DVW-Schriftenreihe 42/2001, Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik. Wittwer Verlag, Stuttgart, 189-205.
- CZAJA, J., NEUHERL, TH. und STEMPFHUBER, W. (2002): Hybrides Messsystem zur kinematischen Positionierung von Schiffen, In: AVN-Nachrichten (in Druck).