

# Untersuchungen zur Genauigkeit von DGPS mit Pseudorange-Korrektur bei Feldarbeiten

THOMAS STEINMAYR, FREISING-WEIHENSTEPHAN  
HERMANN AUERNHAMMER, FREISING-WEIHENSTEPHAN  
MARKUS DEMMEL, FREISING-WEIHENSTEPHAN

## Abstract

*Examinations on the accuracy of DGPS made by the Institute of Agricultural Engineering Freising-Weihestephan using an Infrared-Tracking-System (ITS) as reference system in several field works show deviations of the DGPS from the reference system in the range of few meters and swaying in dependence of the position of the tracking prism in relation to the tachymeter site, suggesting errors in positioning of the reference system, too. Therefore, an exact detection of all troubling influences on the positioning by the tachymeter and a respective correction of the recorded data will be necessary before it can be used as reference system for DGPS.*

## 1 Einführung

Die Ortung landwirtschaftlicher Fahrzeuge (Schlepper mit Anbaugeräten, selbstfahrende Erntemaschinen) mit Differentiellen Globalen Positionierungssystemen (DGPS) hat eine zentrale Bedeutung im Konzept der teilflächenspezifischen Landwirtschaft, einerseits zur Georeferenzierung von Ertragsdaten während einer Erntefahrt und andererseits zur gezielten, teilflächenspezifischen Ausbringung von Dünger, Pflanzenschutzmitteln und Saatgut.

Die Qualität der Ortung ist besonders für die Auflösung bei der Ertragskartierung von grosser Bedeutung. Sie wird bestimmt durch die Verfügbarkeit von Ortungs- und Korrektursignalen und vor allem durch die Genauigkeit der Ortung im Sinne der Streuung der Positionsfehler. Diese ist statisch durch längere Messung an einer festen Position leicht zu untersuchen. Eine entsprechende Untersuchung für ein bewegtes Objekt erfordert hingegen ein Referenzsystem mit deutlich höherer Genauigkeit als DGPS. **Untersuchungen an bewegten Objekten wurden ohne Referenzsystem bisher nur ansatzweise durchgeführt (z.B. AUERNHAMMER et al. 1994, WILD 1998). Von der Landtechnik Weihestephan wird versucht, eine präzise Quantifizierung der Ortungsgenauigkeit von DGPS mit Pseudo-Range-Korrektur durch den Einsatz eines automatisch zielverfolgenden Tachymeters zu erreichen.** Entsprechende Felduntersuchungen wurden seit 1998 vorgenommen. Die Methodik, die Ergebnisse und Ansätze zu deren Interpretation werden im Folgenden beschrieben.

## 2 Methoden

Bei dem vom Institut für Landtechnik als Referenzsystem eingesetzten „Geodimeter System 4000“ der Firma GEOTRONICS handelt es sich um ein mit Servomotoren vertikal und horizontal schwenkbares Tachymeter mit einer Funktion für die automatische Zielverfolgung eines aktiven (mit Leuchtdioden versehenen) Prismas (Infrarottrackingsystem, ITS). Das Tachymeter misst direkt folgende Parameter: die wirkliche Distanz zwischen seinem Objekt und dem Prisma aus der Laufzeit eines emittierten und reflektierten Infrarotlaserstrahls (Schrägdistanz), seinen Drehwinkel zur z-Achse (Vertikalwinkel) und seinen Drehwinkel zur x-Achse (Horizontalwinkel). Aus diesen Messwerten und der einzugebenden Höhe des Objektivs über dem Fusspunkt errechnet die integrierte Software mittels geometrischer Funktionen die Horizontaldistanz (die Projektion der Schrägdistanz auf die Tangentialebene des Tachymeters) sowie die x-, y- und z- Koordinaten des Prismas bezogen auf den

Tachymeterfußpunkt. Die x-Achse ist die Verbindungslinie zwischen dem Tachymeterfußpunkt und einem anzuvisierenden Referenzpunkt.

Laut Hersteller hat das System eine Genauigkeit in der Streckenmessung von 0,2 bis 1 mm und einen konstanten Winkelmessfehler von 0,4 mgon (SCHLEMMER 1996).

Im Trackingmodus bleibt das Tachymeter mit Hilfe eines konischen Infrarotstrahls ständig auf das einmal aufgefasste Prisma ausgerichtet (solange keine Sichtbehinderung auftritt) und bestimmt mit einer Frequenz von 4 Hz die genannten Parameter.

Für die Referenzmessungen wurde das Tachymeter auf einem Stativ am Rande des Feldes vertikal über einem mit DGPS eingemessenen Punkt aufgestellt (Abbildung 1).

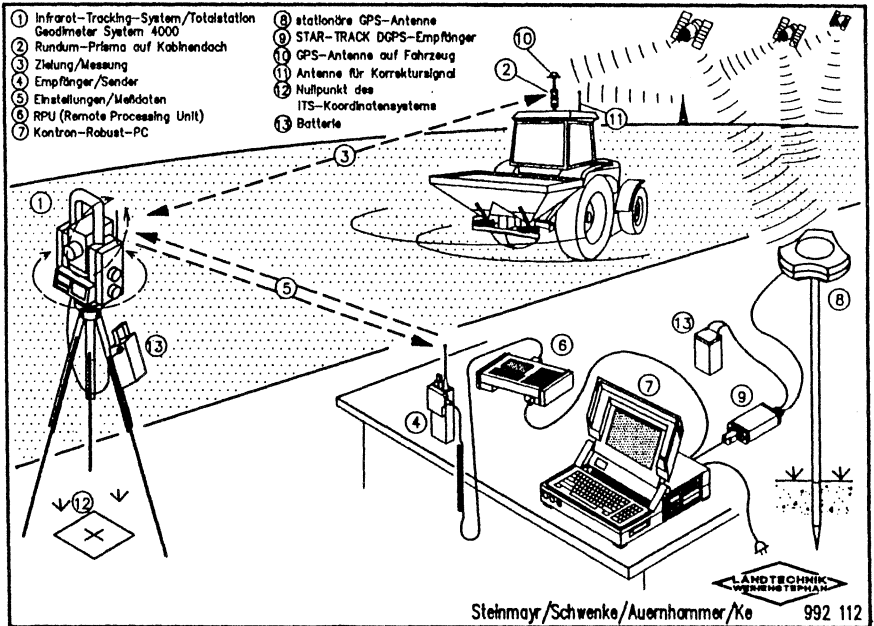


Abbildung 1: Versuchsaufbau der Referenzmessung mit einem Infrarottrackingssystem

Die GPS-Antenne auf dem zu verfolgenden Fahrzeug wurde zur exakten Vergleichbarkeit der Positionsdaten genau über dem Trackingprisma befestigt. Die DGPS-Daten des Fahrzeugs wurden auf einem Pentap-Notebook oder bei Erntefahrten durch das Messsystem auf einer Chipkarte aufgezeichnet.

Im Trackingmodus sendete das Tachymeter die Messparameter telemetrisch über ein Funkmodem zur Fernbedienung, von der die Daten über eine serielle Schnittstelle auf einem Robust-PC aufgezeichnet wurden. Gleichzeitig mit den Tachymeterdaten wurden von einem stationären DGPS Datenstrings in einer Ausgabedatei aufgezeichnet, um mit der GPS-Zeit einen zeitlichen Vergleichsmaßstab für die DGPS-Daten vom Fahrzeug und die Tachymeterdaten zu erhalten.

Da die GPS-Positionen nur jede volle GPS-Sekunde übermittelt, und in demselben Zeitraum zwei bis vier Tachymeterdatenstrings mit aktueller Systemzeit aufgezeichnet werden, wurden zur Synchronisierung der Daten die x- und y-Koordinaten für die vollen GPS-Sekunden nachträglich aus den aufgezeichneten Werten interpoliert. Danach waren jedem Paar GPS-Koordinaten jeweils ein Paar Tachymeterkoordinaten zugeordnet. Zum paarweisen Vergleich wur-

den die WGS84-Koordinaten und die Tachymeterkoordinaten in Werte eines einheitlichen metrischen Koordinatensystems mit dem Tachymeterfußpunkt als Ursprung umgerechnet.

### 3 Ergebnisse

1998 und 1999 wurden insgesamt drei Applikationsfahrten, fünf Erntefahrten und eine Grubberfahrt auf drei Feldern der TU-Versuchsstation Dürnast mit DGPS und mit dem ITS aufgenommen.

Abbildung 2 zeigt den Vergleich der mit beiden Systemen aufgenommenen Fahrspuren beim Spritzen auf Feld D01. Die Lücken in den ITS-Fahrspuren resultieren aus Unterbrechungen.

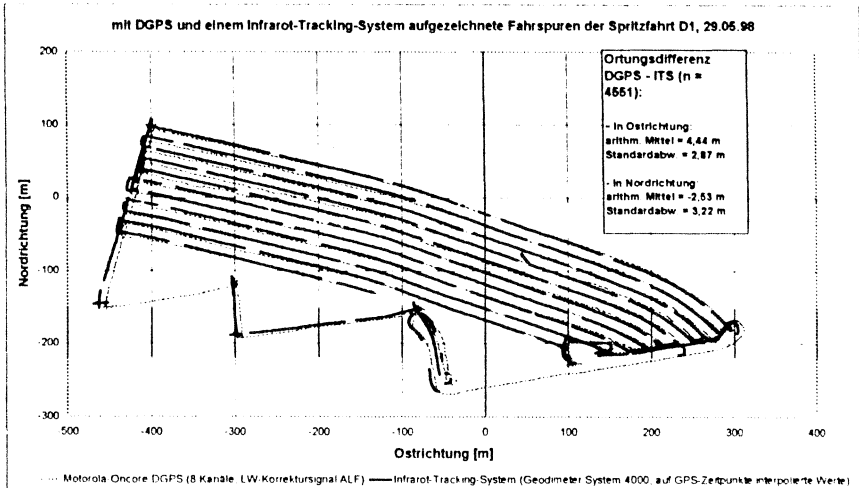


Abbildung 2: Fahrspuren des Spritzens auf Feld D01, aufgenommen mit Motorola-DGPS und dem ITS am 29.05.1998

der Zielauffassung des Tachymeters bzw. ungültigen Datenstrings in der Aufzeichnung. Die arithmetischen Mittel der Differenzen Wert DGPS minus Wert ITS von 4,44 m (Ostrichtung) bzw. -2,53 m (Nordrichtung) stellen einen wahrscheinlich durch ungenaue Einmessung des Tachymeterfußpunktes für die Umrechnung der DGPS-Koordinaten bedingten Offset dar, der für die Untersuchungen nicht von Bedeutung ist. Interessanter sind die Standardabweichungen der Einzeldifferenzen von nahe 3 m in beiden Dimensionen, die mit der bisher angenommenen Genauigkeit von DGPS im Bereich von 1 – 5 m je nach System übereinstimmen.

Die Zusammenfassung in Tabelle 1 zeigt, dass die Ergebnisse der übrigen Messungen sehr ähnlich sind.

Tabelle 1: Ergebnisse der Referenzmessungen mit dem ITS 1998 und 1999

| Datum    | Schlag | Massnahme    | DGPS        | Differenz DGPS - Infrarot-trackingssystem in Ostr. |            | Differenz DGPS - Infrarot-trackingssystem in Nordr. |            |
|----------|--------|--------------|-------------|--|------------|---|------------|
|          |        |              |             | Mittelw. [m]                                       | Stabw. [m] | Mittelw. [m]  | Stabw. [m] |
| 29.05.98 | D01    | Spritzen     | Motorola-O. | 4,44   | 2,87       | -2,53   | 3,22       |
| 10.06.98 | D04    | Düngen       | Motorola-O. | 0,61   | 3,13       | 0,87  | 2,47       |
| 22.06.98 | D01    | Düngen       | Motorola-O. | 4,67   | 3,05       | 3,11  | 3,95       |
| 13.08.98 | D04    | Grubbern     | Motorola-O. | 1,01   | 1,88       | -0,47   | 2,26       |
| 25.09.98 | D01    | Maishäckseln | Motorola-O. | 0,97   | 3          | -0,78   | 3,88       |
| 22.09.99 | S04    | Maishäckseln | Trimble     | 0,34   | 2,78       | 6,27  | 3,24       |

Abbildung 3 zeigt die Differenzen als X-T-Graphen zusammen mit dem magnetischen Kurswinkel (Fahrtrichtung in Grad zu magnetisch Nord) beim Grubbern auf einem anderen Schlag. Die Ortungsdifferenzen zeigen in beiden Dimensionen deutliche Abweichungen von

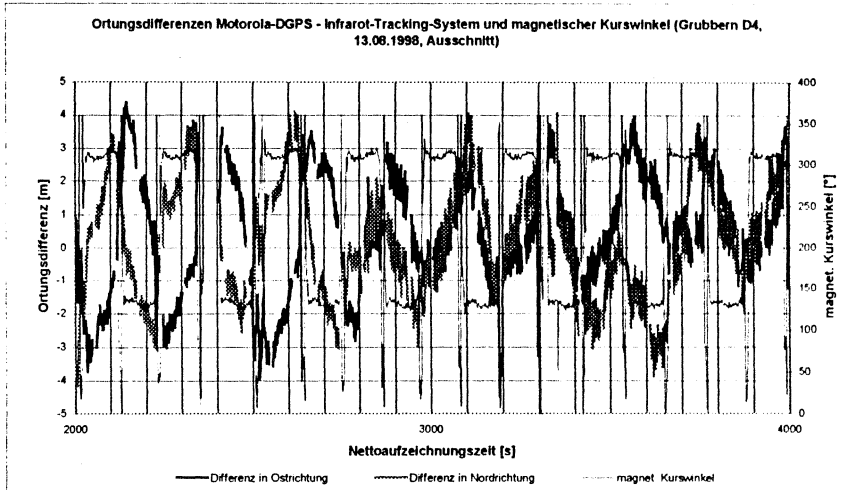


Abbildung 3: Ortungsdifferenzen Motorola-DGPS minus ITS mit magnetischem Kurswinkel beim Grubbern auf Feld D04 am 13.08.1998 (Ausschnitt)

Null, steigen tendenziell in SE-NW-Fahrtrichtung (Kurswinkel um  $300^\circ$ ) an und gehen bei umgekehrter Fahrtrichtung (ca.  $110^\circ$ ) zurück. Die grössten positiven Differenzen treten in beiden Dimensionen nahe den Wendepunkten an der nordwestlichen Feldgrenze auf. Die grössten negativen Differenzen an der südöstlichen Feldgrenze auf. Diese weiten Schwankungen werden von weit höherfrequenten Schwankungen im Submeterbereich überlagert. Entsprechendes ergab sich bei allen ausgewerteten Messungen.

Die Ortungsdifferenzen stehen dabei in keinem statistischen Zusammenhang zu GPS-Parametern, werden demnach offensichtlich auch vom Referenzsystem verursacht. Hierfür sind zwei mögliche Erklärungen denkbar: einerseits eine zu kurze Einmessung der jeweiligen Referenzpunkte zur „Drehung“ der ITS-Fahrspuren, was aber bei einer Einmessungsdauer von jeweils mind. 45 min. unwahrscheinlich ist; andererseits ein Einfluss verschiedener Winkelinkremente (Veränderung der Horizontalrichtung bei einer bestimmten Fahrstrecke des Fahrzeugs): da bei grösserer Entfernung vom Tachymeterstandort eine bestimmte Fahrstrecke eine kleinere Winkeländerung bedingt, wird der Einfluss des konstanten Winkelfehlers grösser. Wenn dies die Erklärung wäre, müssten die Ortungsdifferenzen jedoch im Laufe der Fahrt mit Annäherung an das Tachymeter abnehmen (die Grubberfahrt begann am südwestlichen Feldende, also in maximaler Entfernung zum Tachymeterstandort), d.h. die Schwankungen müssten kleiner werden. Dies ist jedoch allenfalls bei den Differenzen in der Ostrichtung zu erkennen.

Untersuchungen unter standardisierten Bedingungen am Geodätischen Institut in München zeigten einen Zeitversatz der Strecken- gegenüber der Winkelmessung, was sich in einem von der Fahrgeschwindigkeit, Fahrtrichtung, der Entfernung vom Tachymeterstandort und dem Winkel der Fahrstrecke zur x-Achse abhängigen Offset der Messpunkte von der wirklichen Fahrstrecke äussert (STEMPFHUBER et al. 2000). Daneben zeigte sich, dass die Tachymetersoftware zur Berechnung der Koordinaten die Schrägdistanz der jeweils vorangehenden

Messung verwendet, weshalb es sinnvoll erscheint, die Koordinaten im Post-Processing aus den Messparametern zu berechnen.

Diese Fehler reichen jedoch nicht aus, die Ergebnisse der Feldversuche zu erklären; eine weitere Fehleranalyse des Geodimeters ist daher erforderlich und für den Sommer 2000 vorgesehen, um die Daten als Referenz für die DGPS-Ortungsdaten verwenden zu können.

#### **4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung**

Untersuchungen zur Genauigkeit von DGPS mit Pseudo-Range-Korrektur bei einer Reihe von Feldarbeiten mit einem Infrarottrackingsystem zeigen Abweichungen der beiden Systeme im Bereich weniger m; die Schwankungen der Ortungsdifferenzen lassen rückschließen, dass das Tachymeter selber Fehlereinflüssen unterliegt. Diese müssen quantifiziert und nachträglich korrigiert werden, bevor die Tachymeterpositionsdaten als Referenz für die DGPS-Positionsdaten verwendet werden können.

#### **5 Literatur**

- AUERNHAMMER, H. ; MUHR, T. ; DEMMEL, M. (1994): Vierjährige Einsatzerfahrungen mit GPS und DGPS. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIV, S 133-142
- SCHLEMMER, H. (1996): Grundlagen der Sensorik. Eine Instrumentenkunde für Vermessungsingenieure. Wichmann-Verlag, Heidelberg.
- SIEMPFHUBER, W. ; SCHNÄDELBACH, K. ; MAURER, W. (2000): Genaue Positionierung bewegten Objekten mit zielverfolgenden Tachymetern. Ingenieurvermessung 2000 – XIII. International Course on Engineering Surveying, München. 11 S.
- WILD, K. (1998): Verfügbarkeit, Kontinuität und Genauigkeit des GPS beim Langzeiteinsatz in der Landwirtschaft. Berichte der Gesellschaft für Informatik in Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft (GIL); Referate der 19. GIL-Jahrestagung in Halle (Saale), S. 206-209