

GPS-Stützung mit Mikrowellensensoren in der Landwirtschaft

GPS backup with microwave velocity sensors in agriculture

Dipl.-Ing. **T. Schwenke**, Prof. Dr. **H. Auernhammer**, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan

1 Einleitung

Mit der Nutzung von DGPS in der Landwirtschaft stellte sich die Frage nach der dauerhaften Verfügbarkeit und Signalqualität dieses Systems. In hügeligen Gebieten bzw. an Waldrändern kann es zur Abschattung des Satellitensignals und damit zur Verschlechterung bzw. dem Ausfall der Positionsbestimmung des Fahrzeuges kommen. Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung eines Koppelortungssystems auf Basis von Mikrowellensensoren (Radarsensoren) zur Unterstützung der Satellitenortung.

2 Stand der Technik und Anforderungen

Koppelortungssysteme, auch als Stützungssysteme bezeichnet, enthalten zusätzliche Sensoren, deren Messwerte mittels geeigneter mathematischer Algorithmen mit den Messwerten des Satellitenortungssystems verrechnet werden. Diese Redundanz der Messwertermittlung hat den Vorteil, dass bei Ausfall der Satellitenortung oder stark fehlerbehafteten Positionswerten, die Fehler erkannt und durch korrekte Positionsdaten mit Hilfe der Sensoren ersetzt werden. Damit stehen weiterhin Informationen über den aktuellen Fahrweg zur Verfügung. Der letzte gültige Messwert des Satellitenortungssystems wird als Startpunkt für eine vektorielle Berechnung des Fahrweges auf Basis der Stützungssensoren verwendet.

Ein Koppelortungssystem für den mobilen Einsatz an landwirtschaftlichen Fahrzeugen muss folgenden Anforderungen genügen:

- Überbrückung der auftretenden Abschattungszeiten mit mindestens gleicher oder höherer Genauigkeit wie das Satellitenortungssystem
- zuverlässiges Arbeiten unter rauen und wechselnden Bedingungen in der Landwirtschaft (z.B. Schmutz, Nässe, Niederschlag, Temperaturschwankungen etc.)
- hohe Lebensdauer bei günstigem Kosten/Nutzenverhältnis
- Erfassung von Nick- und Wankbewegungen des Fahrzeuges zur Korrektur von Positionsfehlern bei sehr hoch angebrachten Satellitenempfangsantennen

Zur schlupffreien Messung muss ein Stützungssensor die berührungslose Messung über Grund beherrschen. Zu den Sensoren, die diesen Kriterien entsprechen und am Markt verfügbar sind, zählen inertielle Sensoren und Systeme, optische Sensoren, Laser-Doppler-Sensoren, Mikrowellen-Doppler-Sensoren (Radarsensoren) und Ultraschall-Doppler-Sensoren. Derzeit existieren Koppelortungssysteme, die neben einem DGPS-Empfänger Beschleunigungssensoren und Vibrationsgyroskope enthalten, wie z.B. die NAV 846 DGPS-Empfangseinheit der Fa. elektronik-labor CARLS.

Optische Sensoren scheiden wegen ihrer Anfälligkeit gegenüber Schmutz und Nässe aus. Untersuchungen mit einem inertialen System auf Basis von piezoelektronischen Vibrationsgyroskopen als

Koppelortungssystem für GPS wurden in [1] beschrieben. Die Versuchsergebnisse beziehen sich auf Fahrten in geraden Fahrspuren, die jedoch nur einen Teil der tatsächlichen Feldarbeit berücksichtigen. Mathematische Filter bieten die Möglichkeit der Kompensation von Ortungsausfällen in geradlinigen Fahrspuren. Bei Wendemanövern sind diese Verfahren aufgrund des sich ständig ändernden Richtungsvektor nicht anwendbar. Detailliertere Untersuchungen mechanischer Beschleunigungsmesser, mechanischer Kreisel und optischer Kreisel sind in [3] beschrieben. Der Autor kommt zu dem Schluss, dass die Trennung von kinematischer und gravitativer Beschleunigung problematisch ist. Inertiale Systeme, die den gestellten Anforderungen genügen, scheiden wegen ihres hohen Anschaffungspreises aus. Bei Ultraschall-Doppler-Sensoren wirken sich Effekte des Ausbreitungsmediums wie Fahrtwind und Wirbelbildung auf die Ausbreitung der Ultraschallwelle aus. Signifikante Beeinträchtigungen treten dann auf, wenn die Windgeschwindigkeit in der Größenordnung der Fahrgeschwindigkeit liegt [2]. Die Autoren empfehlen stattdessen den Mikrowellen-Doppler-Sensor, dessen Messungen durch das Medium Luft nicht beeinflusst werden. Zudem sind derzeit schon viele landwirtschaftliche Fahrzeuge mit einem Mikrowellen-Doppler-Sensor zur Geschwindigkeitsmessung ausgestattet.

3 Versuchsanordnung

Ausgehend von der bekannten Janus-Anordnung wurden 4 Radarsensoren (Vansco TGSS Modell 338000) in einer gekreuzten Janus-Anordnung, der sogenannten 90° -Sensoranordnung, montiert. Das erste Janus-Paar bilden Sensor V in x -Richtung und Sensor H in entgegengesetzter Richtung. Orthogonal dazu ist ein weiteres Paar in Janus-Anordnung, bestehend aus Sensor L in y -Richtung und Sensor R mit gegensätzlicher Ausrichtung, angebracht (Abb. 1). Der paarweise Einsatz der Sensoren ermöglicht die Kompensation von Neigungswinkelfehlern, die aus Nick- und Wankbewegungen des Fahrzeuges resultieren [4].

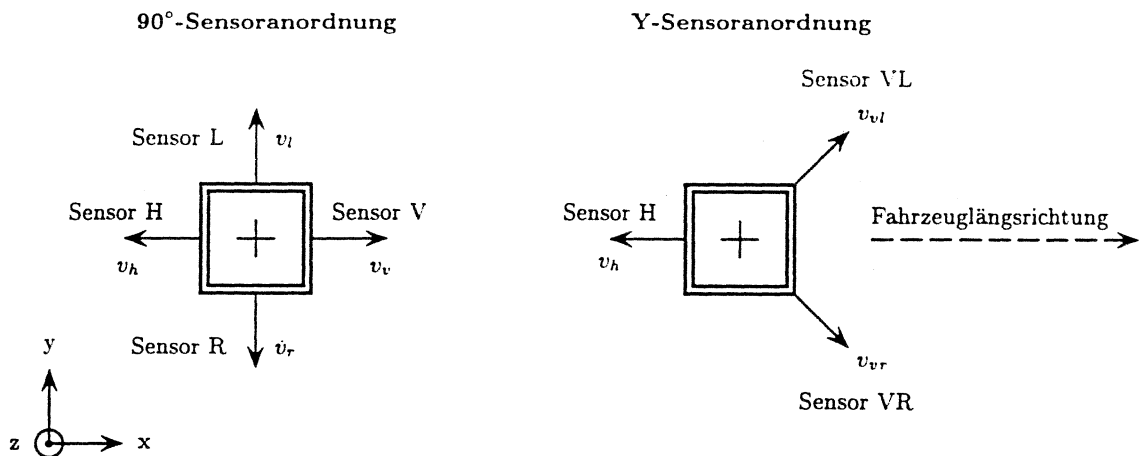


Abbildung 1: Lage der Sensoren
Figure 1: Position of sensors

Untersuchungen dieser Konfiguration deckten Unzulänglichkeiten bei der Detektion von Kurvenfahrten auf. Die auftretenden Fehler bei der Messung der Geschwindigkeitskomponente quer zur Fahrzeuginnenachse durch die Sensoren R und L resultieren aus der teilweisen Erfassung der Geschwindigkeit in Fahrzeuginnenrichtung [5]. Alternativ zur 90° -Sensoranordnung wurden die Sensoren in einer Y-Anordnung befestigt. Diese hatte ihren Ursprung in einer 45° -Sensoranordnung, welche statt dem Sensor H die Sensoren HR und HL enthielt.

Die Tests der einzelnen Konfigurationen fanden in einem x-y-Prüfstand sowie in Feldversuchen statt. Vorteile der Prüfstandsuntersuchungen gegenüber den Feldversuchen sind die identischen Rahmenbedingungen für alle Versuche mit Genauigkeiten von 1 cm in x-Richtung und 1 mm in y-Richtung sowie die exakte Definition des Fahrverlaufs mit hoher Reproduzierbarkeit durch eine programmierbare Schnittstelle zur Steuerung des Versuchsablaufs. Bei Prüfstandsversuchen sind Fahrzeugbewegungen wie Nicken oder Wanken ausgeschlossen [4, 5].

Die Feldversuche wurden an 3 verschiedenen Standorten durchgeführt, wobei Geradeausfahrten und Kreisfahrten auf Asphalt und auf einer Wiese zum Versuchsprogramm zählten. Abbildung 2 zeigt die Versuchsanordnung mit Traktor inkl. Messkabine, Satellitenortungssystem und Referenzsystem.

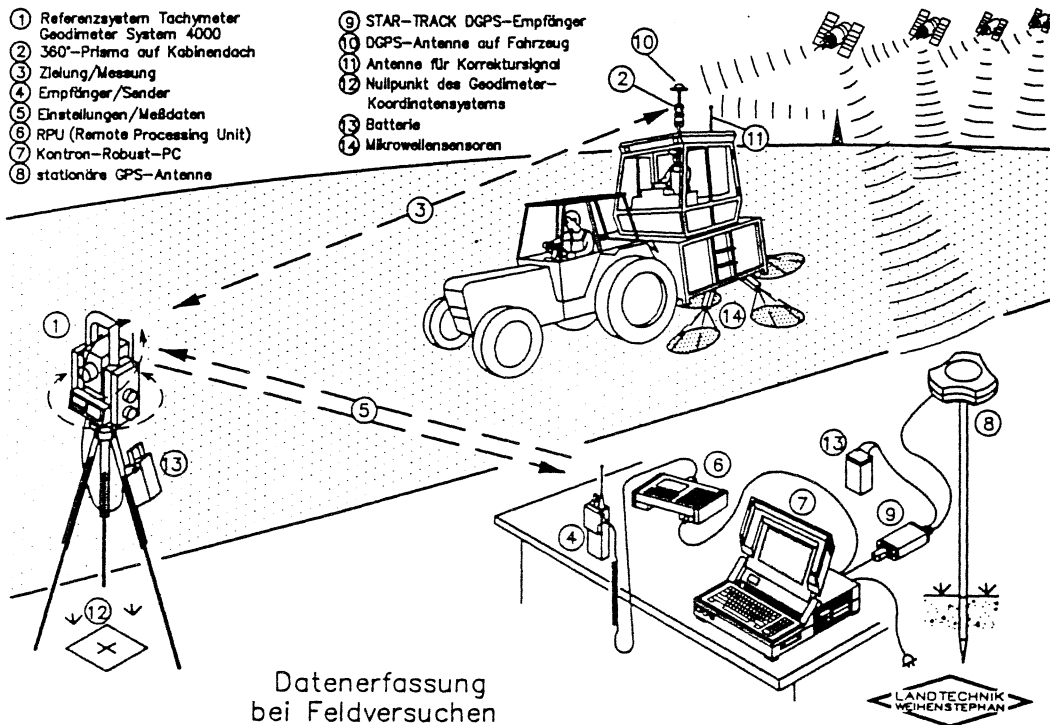


Abbildung 2: Messanordnung bei Feldversuchen

Figure 2: Field test configuration

Für Referenzmessungen stand das Tachymeter Geodimeter System 4000 zur Verfügung. Das Referenzsystem verfolgte während der Tests ein am Sensorrahmen im Prüfstand bzw. am Traktor mit Messkabine befestigtes Trackerprisma und ermittelte dazu die Horizontalrichtung, den Vertikalwinkel sowie die Schrägentfernung. Die Genauigkeiten betragen im Fast-Tracking-Modus für die Entfernungsmessung $\pm (10 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$ und für die Winkelmessung $0,6 \text{ mgon}$.

4 Ergebnisse und Diskussion

90°-Sensoranordnung

Bei Geradeausfahrten mit ca. 11 km/h messen die seitlichen Sensoren Frequenzen von $\bar{f}_r = 41 \text{ Hz}$ bzw. $\bar{f}_l = 38 \text{ Hz}$, obwohl in ihrer Messrichtung keine Geschwindigkeitskomponente vorhanden

ist. Dabei entsprechen 130 Hz einer Geschwindigkeit von 3,6 km/h. In Fahrzeuglängsrichtung werden $\bar{f}_v = 387$ Hz und $\bar{f}_h = 399$ Hz durch die Sensoren V und H bestimmt. Ursache für die fehlerhaften Messungen in Fahrzeugquerrichtung ist die Empfindlichkeit der Sensoren auf die Bewegung in Fahrzeuglängsrichtung, die zu einem relativen Messfehler von ca. 10 % führt.

Abbildung 3 zeigt einen Vergleich der gemessenen Geschwindigkeiten der 4 Radarsensoren mit einem Motorola Oncore DGPS-Empfänger bei 3 aufeinanderfolgenden Kreisfahrten. Der aus den Geradeausfahrten bekannte Offset ist bei Sensor R und L wieder anzutreffen. Obwohl der linke Sensor einen weiteren Weg gegenüber dem rechten Sensor zurücklegt, ist kein nennenswerter Unterschied in den Messwerten festzustellen. Mit diesen Ergebnissen scheidet die 90°-Sensoranordnung für den Einsatz im Koppelsystem aus. Zu bemerken ist der Einfluss der Kreisfahrten auf das DGPS-Geschwindigkeitssignal, welches für eine Umrundung einen sinusähnlichen Verlauf um die reale Fahrgeschwindigkeit aufweist.

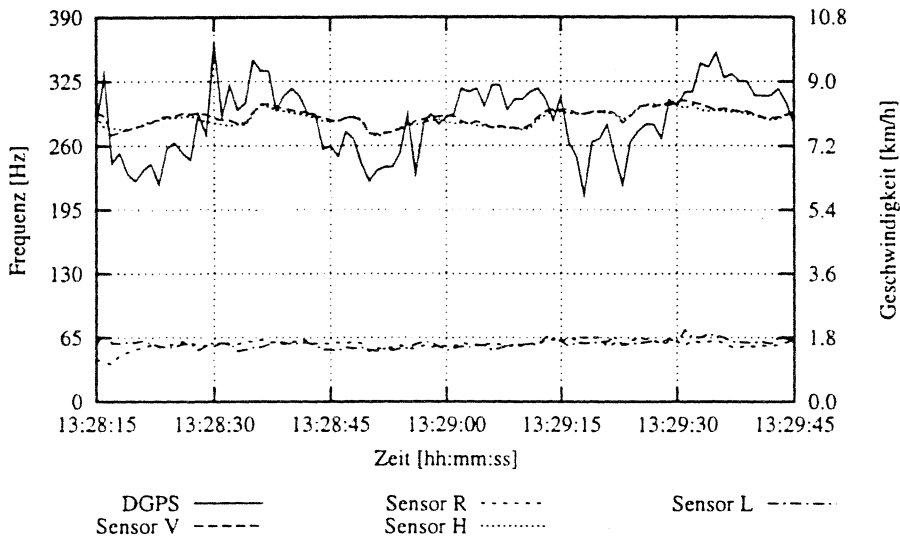


Abbildung 3: Geschwindigkeiten bei Kreisfahrten im Uhrzeigersinn
 Figure 3: Measured velocities for a clockwise driving path

Y-Sensoranordnung

In Tabelle 1 sind ausgewählte Ergebnisse von Geradeausfahrten aufgeführt, wobei sich die Werte auf den Abschnitt mit konstanter Geschwindigkeit ohne Beschleunigungs- und Abbremsvorgang beziehen. Die maximalen Abweichungen bei 45° gedrehter Anordnung zum theoretischen Wert $\bar{f}_h/\sqrt{2}$ betragen bei Sensor VR $\Delta\bar{f}_{vr} = 2,4\%$ und bei Sensor VL $\Delta\bar{f}_{vl} = 0,8\%$.

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen bei Geradeausfahrten
 Table 1: Mean and standard deviation for a straight driving path

| \bar{v}_{DGPS} [km/h] | $\sigma_{v_{DGPS}}$ [km/h] | \bar{f}_h [Hz] | σ_{f_h} [Hz] | \bar{f}_{vr} [Hz] | $\sigma_{f_{vr}}$ [Hz] | \bar{f}_{vl} [Hz] | $\sigma_{f_{vl}}$ [Hz] |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| 4,9 | 0,1 | 177 | 1,8 | 122 | 1,3 | 124 | 1,4 |
| 9,8 | 0,2 | 359 | 3,2 | 248 | 2,6 | 252 | 2,8 |
| 14,7 | 0,2 | 537 | 6,6 | 372 | 4,9 | 378 | 5,1 |

Zwei aufeinanderfolgende Kreisfahrten zeigt Abbildung 4. Erkennbar ist der quantitative Unterschied zwischen den Messwerten von Sensor *VR* und *VL*, der für eine Kreisbewegung typisch ist. Sensor *H* ermittelt die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit in Fahrzeuglängsrichtung. Auch der DGPS-Empfänger Trimble AgGPS 132 zeigt ähnliche Schwankungen um die reale Fahrgeschwindigkeit wie der Motorola Oncore. Bei Fahrten entgegen dem Uhrzeigersinn kehren sich die Verhältnisse zwischen Sensor *VR* und *VL* um.

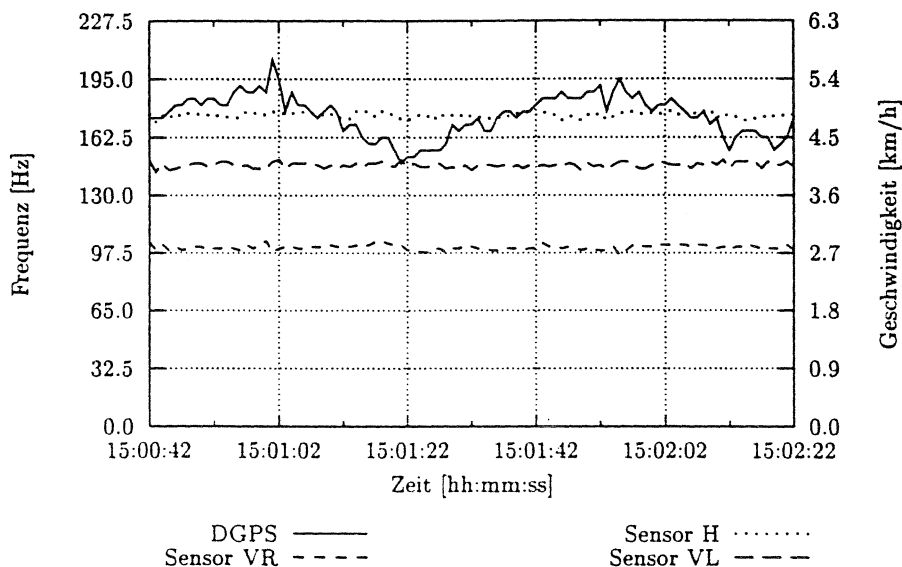


Abbildung 4: Geschwindigkeiten bei Kreisfahrten im Uhrzeigersinn
Figure 4: Measured velocities for a clockwise driving path

Ausgehend vom Startpunkt und der Startrichtung aus den Daten des Referenzsystems führt die Integration der Messwerte der Radarsensoren *VR*, *VL* und *H* zu dem in Abbildung 5 gezeigten Wegverlauf für eine Kreisfahrt.

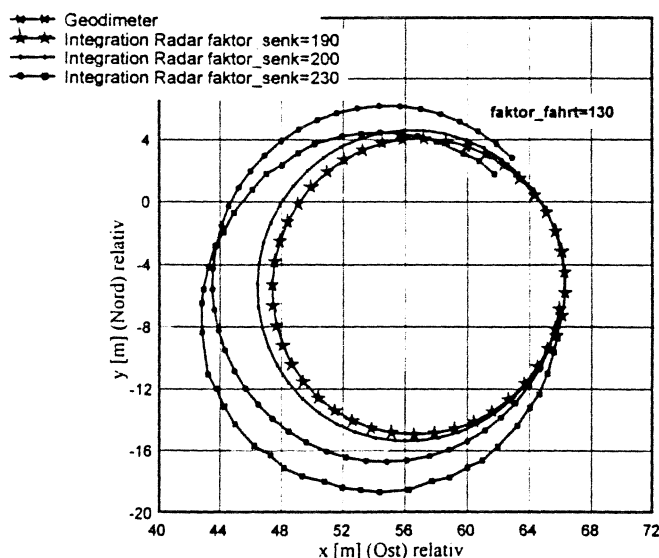


Abbildung 5: Vergleich der Fahrwege aus Radar- und Geodimeterdaten
Figure 5: Comparison between driving pathes of radar and Geodimeter data

Abhängig vom Durchmesser des abgefahrenen Kreises und der Montageparameter der Radarsensoren muss ein passender Integrationsfaktor ermittelt werden, so dass sich der aus Radardaten berechnete Fahrweg dem des Referenzsystem angleicht. Die erzielte Genauigkeit liegt im Vergleich zum Referenzsystem unterhalb von 5 m und entspricht damit der Genauigkeit verfügbarer GPS-Empfänger. Bei Bedarf besteht die Möglichkeit Nick- und Wankwinkel zu berechnen. Die dafür notwendigen Formeln wurden aus den trigonometrischen Beziehungen zwischen den Sensoren hergeleitet und stehen zur Verfügung.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass mit der Y-Anordnung neben geradlinigen Fahrten auch Kreisfahrten zuverlässig erfasst werden. Eine Verfeinerung der Auswertelgorithmen führt zu einer weiteren Genauigkeitssteigerung. Ebenso kommen Optimierungen an den Radarsensoren in Betracht, die u. a. zu einer geringeren Querempfindlichkeit führen.

Literatur

- [1] **Beuche, H.; Hellebrand, H.J.:** DGPS-Stützung mit ortsrelevanten Informationen aus der Feldbewirtschaftung. Zeitschrift für agrarinformatik, 1 1999, S. 3-9.
- [2] **Heide, P.; Schubert, R.; Joppich M.:** Berührungslose Geschwindigkeitsmessung nach dem Dopplerprinzip mit Ultraschall und Mikrowelle. VDI-Berichte 939, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1992, S. 159-164.
- [3] **Schröder, D.:** Genauigkeitsanalyse inertialer Vermessungssysteme mit fahrzeugfesten Sensoren. Dissertation, Bayrische Akademie der Wissenschaften, 1992.
- [4] **Schwenke, T.; Auernhammer, H.:** Examinations on a microwave sensor based dead reckoning system for improved positioning of agricultural vehicles with GPS. International Radar Symposium 1998, Volume II, DGON, Bonn, 1998, S. 839-844.
- [5] **Schwenke, T.; Auernhammer, H.:** Untersuchung eines Koppelsystems zur Unterstützung der autonomen Positionierung landmobiler Anwendungen mit GPS. DGON-Seminar Satnav 98, DGON, Bonn, 1998, S. 141-146.

Summary

For bridging shading effects and other faults of GPS a dead reckoning system is needed. The tests took place with a dead reckoning system based on four identical microwave velocity sensors (radar sensors) in a 90°-configuration and three radar sensors in a Y-configuration respectively. Because of the crossways sensitiveness of the sensors positioned to the side the 90°-configuration is not able to detect or measure right hand and left hand turns. Investigations show that the whole driving path could be measured and calculated with radar sensors in Y-configuration. The accuracy in comparison to the reference system approximately amounts 5 m.