

Tiemo Schwenke und Hermann Auernhammer, Freising

# GPS-Ausfälle vermeiden

## Stützung durch radarsensorbasierte Systeme mit Neigungswinkelerfassung

Trotz zunehmender Genauigkeit und Systemsicherheit muss bei GPS auch in der Zukunft mit Signalausfällen und -abschattungen gerechnet werden. Für diese Situation werden Koppelortungssysteme eingesetzt. Dazu fanden Untersuchungen an einem System auf Basis von vier identischen Mikrowellen-Doppler-Sensoren (Radarsensoren) in 90°-Anordnung sowie drei Radarsensoren in Y-Anordnung statt. Die Tests der 90°-Anordnung zeigen eine unzureichende Erfassung von Kurvenfahrten. Im Gegensatz dazu werden durch die Y-Anordnung Geradeausfahrten und Kreisfahrten zuverlässig gemessen. Aus den Messwerten lassen sich der zurückgelegte Fahrweg und die Neigungswinkelfehler des Fahrzeuges über Grund bestimmen.

Prof. Dr. Hermann Auernhammer leitet das Fachgebiet Technik im Pflanzenbau am Department für Biogene Rohstoffe und Technologie der Landnutzung der TU München. Dr.-Ing. Tiemo Schwenke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am gleichen Fachgebiet, Am Staudengarten 2, D-85354 Freising; e-mail: [schwenke@tec.agrar.tu-muenchen.de](mailto:schwenke@tec.agrar.tu-muenchen.de)

### Schlüsselwörter

GPS, Satellitenortung und -navigation, Koppelortungssysteme, Weg- und Geschwindigkeitsmessung

### Keywords

GPS, satellite positioning, satellite navigation, dead reckoning system, path measurement, velocity measurement

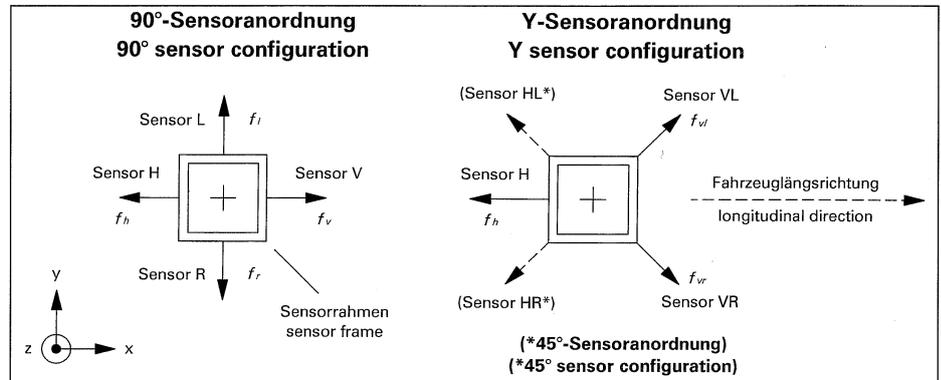


Bild 1: Lage der Sensoren

Fig. 1: Position of sensors

Für den zuverlässigen Einsatz von Satellitenortungssystemen wie (D)GPS stehen die Ortungsgenauigkeit und die dauerhafte Verfügbarkeit der Satellitensignale im Vordergrund. In der Landwirtschaft treten Probleme wie Abschattung und Mehrwegausbreitung der Satellitensignale durch lokale spezifische Gegebenheiten auf. Trotz moderner Empfängertechnik und verfügbaren Korrekturdiensten sind fehlerbehaftete Positionsdaten oder Signalausfälle nicht auszuschließen.

### Stand der Technik

Zur Überbrückung von Signalausfällen oder fehlerbehafteten Positionsdaten kommen Koppelortungssysteme zum Einsatz. Vorzugsweise werden berührungslos arbeitende Sensoren, wie etwa inertielle Sensoren, in diese Systeme integriert. Optische Sensoren, Laser-Doppler-Sensoren und Ultraschall-Doppler-Sensoren erfüllen die Kriterien für die Anwendung im rauen landwirtschaftlichen Umfeld nicht oder nur bedingt. Bisherige Untersuchungen zeigen die besondere Eignung von Mikrowellen-Doppler-Sensoren zur schlupffreien Geschwindigkeitsmes-

sung für den landwirtschaftlichen Einsatz.

### Versuchsanordnungen

Nach der Auswahl eines den Anforderungen entsprechenden und am Markt verfügbaren Sensormodells (Vansco TGSS Modell 338000) wurden die verschiedenen Einflussfaktoren auf die Messgenauigkeit dieses Sensors abgeleitet. Besondere Berücksichtigung fanden dabei die aus der Fahrzeugdynamik resultierenden Fehlerquellen wie Nick- und Wankschwingungen. Zur simultanen Erfassung von Bewegungen in Fahrzeuginnen- und Fahrzeugquerrichtung sind mehrere Sensoren des gleichen Modells notwendig, die dazu in eine 90°-Sensoranordnung und eine Y-Sensoranordnung integriert wurden (Bild 1). Alternativ dazu wurde noch eine 45°-Sensoranordnung mit den Sensoren VR, VL, HR und HL im Prüfstand untersucht. Praxisversuche fanden aufgrund eines zeitgleich offengelegten Patentes nicht statt. Für jede dieser Anordnungen wurden die mathematischen Beziehungen zur Bestimmung der Geschwindigkeiten in Fahrzeuginnen- und -querrichtung sowie der Nick- und Wankwinkel aufgestellt. Mit dem Tachyme-

Tab. 1: Neigungswinkel bei Geradeausfahrten in Y-Anordnung bei variierten Abstrahlwinkeln

Messfahrt-	$f_h$ [Hz]	$f_{vl}$ [Hz]	$f_{vr}$ [Hz]	$b$ [°]	$S_b$ [°]	$g$ [°]	$S_g$ [°]
10	248	175	175	-0,2	0,1	0,0	0,3
11	274	150	150	-10,3	0,2	0,1	0,5
12	214	193	193	9,9	0,2	0,0	0,4
13	247	194	152	-0,4	0,2	9,9	0,3
14	246	152	194	-0,4	0,2	-9,9	0,2
15	262	184	148	-4,6	0,2	8,7	0,6

Table 1: Slope angle for straight paths in Y-arrangement with varied angles of radiation

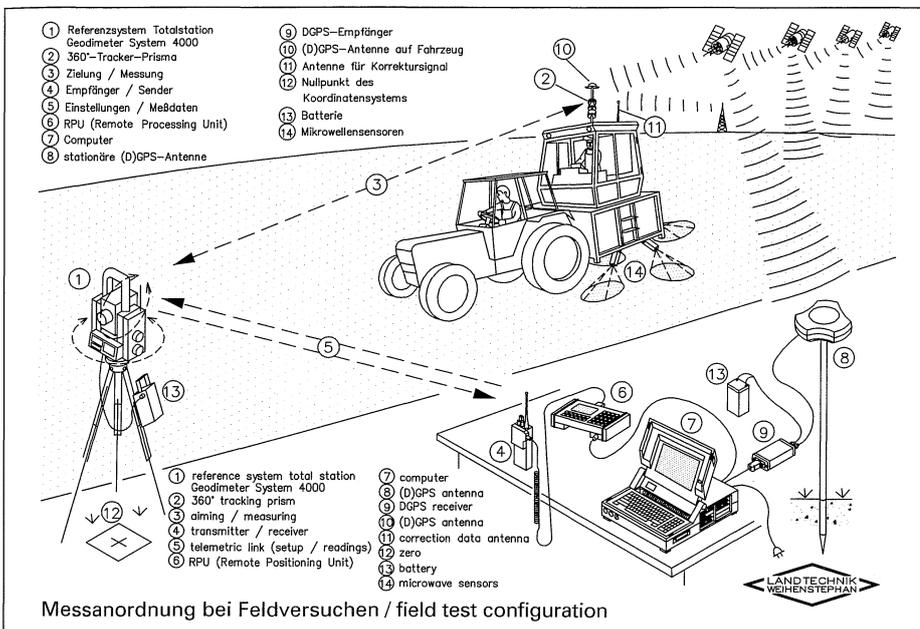


Bild 2: Messanordnung bei Feldversuchen

Fig. 2: Measurement set-up for field experiments

ter Geodimeter System 4000 stand ein automatisch zielverfolgendes Referenzsystem für alle Versuche zur Verfügung. Zur Auswertung und zum Vergleich der Ergebnisse der Mikrowellen-Doppler-Sensoren, des (D)GPS und des Referenzsystems waren die räumliche Zuordnung und die zeitliche Synchronisation der Messwerte notwendig. Erfasst wurden neben den geschwindigkeitsproportionalen Frequenzen der Radarsensoren  $f$  und den (D)GPS-Daten auch die Werte aus der Distanz- und Winkelmessung des Referenzsystems zur Fahrwegbestimmung (Bild 2). Mit Hilfe von Koordinatentransformationen in ein lokales Nord-Ost-Koordinatensystem und der Synchronisation auf die im (D)GPS-Datenstrang mitgelieferte Zeit (UTC) wurden diese Aufgaben gelöst.

Das Versuchsprogramm umfasste Prüfstandsuntersuchungen und Feldversuche. Im Prüfstand wurden verschiedene Streckenverläufe sowie Nick- und Wankbewegungen simuliert. Mit Feldversuchen wurden die Prüfstandsergebnisse bei Geradeausfahrten, Kreisfahrten, Fahrten eines Ovals und einer Acht verifiziert. Zusätzlich fand die Messung von Neigungswinkelfehlern statt, die aus definierten Nick- und Wankschwingungen resultierten.

## Ergebnisse

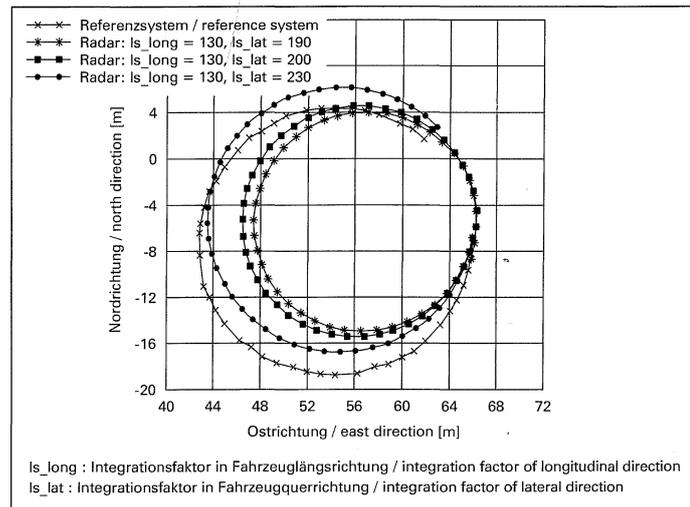
Die Prüfstandsuntersuchungen bescheinigen der 90°-Sensoranordnung eine bedingte Eignung, da es an den Sensoren R und L bereits bei Geradeausfahrt zu relativen Messfehlern von 10% kommt. Ursache dafür ist der Einfluss der Geschwindigkeit in Fahrzeuglängsrichtung auf das Messergebnis. Hingegen entsprechen die Ergebnisse der Y-Sensoranordnung bei allen Streckenverläufen den Erwartungen. Durch Variation des Abstrahlwinkels  $\alpha = 35^\circ$  an den Sensoren ist eine Simulation von Neigungswinkelfehlern in

Prüfstandsversuchen möglich. Aus den Messwerten der Y-Anordnung lassen sich die voreingestellten Nick- und Wankwinkel ermitteln. Dazu wurden verschiedene voreingestellte Fahrzeugneigungen in den Messfahrten Nr. 10 (Nickwinkel  $\beta =$  Wankwinkel  $\gamma = 0$ ), 11 ( $\beta = -10$ ,  $\gamma = 0$ ), 12 ( $\beta = 10$ ,  $\gamma = 0$ ), 13 ( $\beta = 0$ ,  $\gamma = 10$ ), 14 ( $\beta = 0$ ,  $\gamma = -10$ ) und 15 ( $\beta = -5$ ,  $\gamma = 10$ ) untersucht. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Berechnung der Nick- und Wankwinkel aus den Mittelwerten von jeweils zehn Wiederholungen je Messfahrt sowie die zugehörigen Standardabweichungen.

Die Feldversuche bestätigen die Prüfstandsergebnisse der 90°-Sensoranordnung und der Y-Sensoranordnung. Eine Erfassung von krummlinigen Streckenverläufen (etwa Kurven) ist mit der 90°-Sensoranordnung nicht möglich. Damit scheidet diese Sensoranordnung aus. Die Y-Anordnung hingegen gewährleistet sowohl die Bestimmung von geradlinigen als auch gekrümmten Streckenverläufen. Ebenso sind Fahrtrichtungswechsel, wie sie beim Abfahren einer Acht oder eines Ovals auftreten, aus den Messergebnissen ablesbar. Bei geradlinigen Fahrten lassen sich die durch Fahrzeugschwingungen verursachten Neigungswinkelfehler des Fahrzeuges in Form von Nick- und Wankwinkel bestimmen.

Bild 3: Vergleich der Fahrwege aus Radar- und Tachymeterdaten

Fig 3: Comparing turn paths between radar sensor data and reference system



Anhand einer Kreisfahrt stellt die Y-Anordnung ihre Fähigkeiten für die Fahrwegbestimmung unter Beweis (Bild 3). Auf Basis der Messwerte der Radarsensoren wurden drei Streckenverläufe in verschiedenen Optimierungsschritten berechnet. Der Streckenverlauf (Integration Radarfaktor\_senk=230) mit der größtmöglichen Übereinstimmung zum Referenzfahrweg (Geodimeter) erzielt Abweichungen von weniger als 3 m zum Referenzfahrweg. Damit sind mit der Y-Anordnung im jetzigen Entwicklungsstadium vergleichbare Genauigkeiten wie die derzeit verfügbarer GPS-Empfänger realisierbar.

## Ausblick

Weiteres Entwicklungspotenzial ist bei der Optimierung des Sensoraufbaus für diesen Einsatzfall, bei der Integration der Y-Anordnung in ein Modul und bei der Verfeinerung der Auswertelgorithmen zur Fahrwegsrechnung zu erwarten. Ein zusätzlicher Lenkwinkelsensor würde die Zuordnung von Kurvenfahrten erleichtern und so die Bestimmung von Neigungswinkelfehlern bei Kurvenfahrten ermöglichen.

## Literatur

- Bücher sind mit • gekennzeichnet
- [1] • Schwenke, T.: Experimentelle Untersuchungen von Koppelortungssystemen für GPS auf Basis von Mikrowellensensoren im landwirtschaftlichen Einsatz. Dissertation, TU München – Weihenstephan, 2001, Forschungsbericht Agrartechnik 371
  - [2] Schwenke, T. und H. Auernhammer: GPS-Stützung mit Mikrowellensensoren in der Landwirtschaft. VDI-MEG Tagung Landtechnik 2000, Münster, VDI-Verlag Düsseldorf, S. 301-306
  - [3] Schwenke, T. und H. Auernhammer: Untersuchung eines Koppelsystems zur Unterstützung der autonomen Positionierung landmobiler Anwendungen mit GPS. DGON-Seminar Satnav 98, DGON, Bonn, 1998, S. 141-146