

Technische Universität München  
Department für Biogene Rohstoffe und  
Technologie der Landnutzung  
Fachgebiet Technik im Pflanzenbau

# **Experimentelle Untersuchungen von Koppelortungssystemen für GPS auf der Basis von Mikrowellensensoren im landwirtschaftlichen Einsatz**

**Tiemo Schwenke**

Vollständiger Abdruck der von der  
Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der  
Technischen Universität München  
zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor-Ingenieurs**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.rer.hort., Dr.rer.hort.habil. J. Meyer  
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.agr., Dr.agr.habil. H. Auernhammer  
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing.habil. J. Detlefsen  
3. Univ.-Prof. Dr.-Ing.habil. G. Bernhardt,  
Technische Universität Dresden

Die Dissertation wurde am 29.05.2001 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 07.08.2001 angenommen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielstellung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>3</b>
2.1	Satellitenortungssysteme auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen . . .	3
2.2	Korrekturdienste für die Satellitenortung . . . . .	3
2.3	Probleme bei der Satellitenortung . . . . .	4
2.4	Koppelortungssysteme . . . . .	5
2.4.1	Anforderungen an ein Koppelortungssystem . . . . .	5
2.4.2	Arten von Stützungssensoren . . . . .	6
2.4.2.1	Inertiale Sensoren und Systeme . . . . .	6
2.4.2.2	Optische Sensoren . . . . .	7
2.4.2.3	Laser-Doppler-Sensoren . . . . .	8
2.4.2.4	Mikrowellen-Doppler-Sensoren . . . . .	8
2.4.2.5	Ultraschall-Doppler-Sensoren . . . . .	8
2.4.3	Untersuchungen zu Stützungssensoren . . . . .	9
2.4.3.1	Inertiale Sensoren und Systeme . . . . .	9
2.4.3.2	Mikrowellen- und Ultraschall-Doppler-Sensoren .	10
2.4.4	Diskussion . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Theoretische Betrachtungen</b>	<b>15</b>
3.1	Messprinzip der Radarsensoren . . . . .	15
3.1.1	Physikalisches Prinzip - Dopplereffekt . . . . .	15
3.1.2	Funktionsprinzip - Aufbau . . . . .	16
3.1.3	Auswahl des Sensors und der Arbeitsfrequenz . . . . .	17
3.2	Einflussfaktoren der Messgenauigkeit . . . . .	18
3.2.1	Fahrzeugdynamik . . . . .	19
3.2.2	Untergrundeigenschaften, aufgewirbelte Teilchen und Mehrwegeausbreitung . . . . .	20
3.2.3	Temperatur- und Rauscheinflüsse . . . . .	22
3.3	Berechnungsgrundlagen . . . . .	22
3.3.1	Definitionen . . . . .	23
3.3.2	90°-Sensoranordnung . . . . .	24
3.3.3	45°-Sensoranordnung . . . . .	27
3.3.4	Y-Sensoranordnung . . . . .	31
3.3.5	Kalibrierung . . . . .	32
3.4	Referenzsystem Geodimeter System 4000 . . . . .	34
3.5	Koordinatentransformationen . . . . .	38
3.5.1	Globales Koordinatensystem und lokales Nord-Ost- Koordinatensystem . . . . .	38
3.5.2	Koordinatensystem des Geodimeter System 4000 und loka- les Nord-Ost-Koordinatensystem . . . . .	39

<b>4</b>	<b>Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung</b>	<b>43</b>
4.1	Messsysteme . . . . .	43
4.2	Prüfstandsuntersuchungen . . . . .	44
4.2.1	90°-Sensoranordnung . . . . .	48
4.2.2	45°-Sensoranordnung . . . . .	50
4.2.3	Y-Sensoranordnung . . . . .	52
4.3	Feldversuche . . . . .	54
4.3.1	Messanordnung am Versuchsstandort 1 . . . . .	60
4.3.2	Messanordnung am Versuchsstandort 2 . . . . .	61
4.3.3	Messanordnung am Versuchsstandort 3 . . . . .	62
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>65</b>
5.1	Untersuchungen im Prüfstand . . . . .	65
5.1.1	Fahrversuche in 90°-Sensoranordnung . . . . .	65
5.1.2	Fahrversuche in 45°-Sensoranordnung . . . . .	70
5.1.2.1	Geradeausfahrten . . . . .	70
5.1.2.2	Einfach diagonale Fahrten . . . . .	72
5.1.2.3	Zweifach diagonale Fahrten . . . . .	74
5.1.3	Fahrversuche in Y-Anordnung . . . . .	77
5.1.3.1	Geradeausfahrten . . . . .	77
5.1.3.2	Einfach diagonale Fahrten . . . . .	82
5.1.3.3	Zweifach diagonale Fahrten . . . . .	84
5.1.3.4	Simulation von Neigungswinkelfehlern . . . . .	88
5.1.4	Einordnung und Diskussion . . . . .	93
5.2	Feldversuche . . . . .	94
5.2.1	Geradeausfahrten am Versuchsstandort 1 . . . . .	94
5.2.1.1	90°-Sensoranordnung . . . . .	94
5.2.1.2	Y-Sensoranordnung . . . . .	96
5.2.2	Kreisfahrten am Versuchsstandort 2 . . . . .	99
5.2.2.1	90°-Sensoranordnung . . . . .	99
5.2.2.2	Y-Sensoranordnung . . . . .	100
5.2.3	Tests am Versuchsstandort 3 . . . . .	105
5.2.3.1	90°-Sensoranordnung . . . . .	105
5.2.3.2	Y-Sensoranordnung . . . . .	108
5.2.4	Einordnung und Diskussion . . . . .	122
5.2.5	Beispiel eines berechneten Streckenverlaufs . . . . .	123
<b>6</b>	<b>Ausblick</b>	<b>125</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>127</b>
<b>8</b>	<b>Summary</b>	<b>129</b>
<b>A</b>	<b>Beispielprogramm zur Prüfstandssteuerung</b>	<b>137</b>
<b>B</b>	<b>Prüfstandsversuche</b>	<b>139</b>

---

<b>C</b>	<b>Feldversuche</b>	<b>143</b>
C.1	Geradeausfahrten am Versuchsstandort 1 bei 90°-Sensoranordnung	143
C.2	Kreisfahrten am Versuchsstandort 2 . . . . .	144
C.2.1	90°-Sensoranordnung . . . . .	144
C.2.2	Y-Sensoranordnung . . . . .	146
C.3	Tests am Versuchsstandort 3 . . . . .	147
C.3.1	90°-Sensoranordnung . . . . .	147
C.3.2	Y-Sensoranordnung . . . . .	147