

Institut für Landtechnik
der Technischen Universität München

**Berührungslose Höhen- und Seitenführung von
Traktoranbaugeräten in Beetkulturen**

Paul Hartmann

Vollständiger Abdruck der
von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau der
Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. H. Auernhammer
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. J. Meyer
2. Univ.-Prof. Dr. W. Rothenburger

Die Dissertation wurde am 05.10.1999 bei der
Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
am 20.12.1999 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	12
Verzeichnis der Formelzeichen	13
Verzeichnis der Abkürzungen	15
1 Einleitung und Problemstellung	16
2 Stand des Wissens.....	19
2.1 Automatische Gerätesteuerungen - Seitenführung	20
2.2 Automatische Gerätesteuerungen - Höhenführung	20
2.3 Sensoren zur Gerätesteuerung in der Landwirtschaft.....	22
2.3.1 Mit Tastern geführte Systeme	25
2.3.2 Berührungslos arbeitende Systeme.....	28
2.3.2.1 Optische Verfahren.....	28
2.3.2.2 Akustische Verfahren	30
2.4 Bildverarbeitung.....	32
2.5 Angaben zu Pflanzenpositionen und Reihenverläufe.....	35
2.6 Bodenoberflächen und Oberflächenprofile.....	36
2.7 Regelung und Steuerung in der automatischen Geräteführung.....	37
2.8 Regelungstechnische Methoden zur Verbesserung der Regelgüte	39
2.8.1 Prädiktion	40
2.8.2 Vermaschung	40
2.8.3 Adaption	43
2.8.4 Koordination.....	46
3 Zielsetzung.....	48
4 Material und Methoden	50
4.1 Vorgaben für eine Geräteführung	50
4.1.1 Pflanzenpositionen und Reihenverlauf.....	50

4.1.1.1	Versuchsdurchführung und Meßaufbau mittels Richtschnur, Maßband und Winkel.....	51
4.1.1.2	Versuchsdurchführung und Meßaufbau mittels Totalstation	52
4.1.2	Höhenprofile Beetoberflächen und Pflanzenbestände.....	53
4.1.3	Versuchsdurchführung und Meßaufbau	54
4.2	Sensoruntersuchungen	57
4.2.1	Statische und dynamische Untersuchungen.....	58
4.2.2	Ultraschallsensoren	58
4.2.2.1	Die Modellkörper.....	59
4.2.2.2	Versuchsaufbau für statische Untersuchungen.....	61
4.2.2.3	Versuchsaufbau für dynamische Untersuchungen.....	62
4.2.3	Lasersensoren	62
4.3	Gerätetechnische Überprüfung	65
4.3.1	Versuchsstand und Meßaufbau.....	65
4.3.2	Versuchsgerät Seitenführung.....	67
4.3.3	Versuchsgerät Höhenführung	68
4.3.4	SPS-Steuerung	70
4.3.5	Reaktionsverhalten der eingesetzten Versuchsmechanik	70
4.3.6	Regelungsentwicklung für eine automatische Geräteführung.....	72
4.3.6.1	Einfache Reglerstrukturen	73
4.3.6.2	Proportionalregler	74
4.3.6.3	Regelungsmodell Seitenführung.....	77
4.3.7	Fahrversuche zur Höhen- und Seitenführung	82
4.4	Modellkalkulation zur ökonomischen Bewertung einer automatischen Geräteführung	83
4.4.1	Fixkosten.....	84
4.4.2	Variable Kosten	87
4.4.3	Beschreibung der Modellannahmen	88
5	Ergebnisdarstellung.....	92
5.1	Ergebnisse zu den Untersuchungen der Vorgaben einer automatischen Seitenführung - Pflanzenreihen	92
5.2	Ergebnisse zu den Untersuchungen der Vorgaben einer automatischen Höhenführung - Bodenoberflächen / Pflanzenbestände	102
5.3	Ergebnisse zu den Sensoruntersuchungen.....	106
5.3.1	Ultraschallsensoren.....	107
5.3.1.1	Statische Untersuchungen.....	107
5.3.1.2	Auflösungsvermögen.....	109
5.3.1.3	Untersuchungen zum Reflexionsverhalten	110
5.3.1.4	Dynamische Abstandsmessung - Abbildungsverhalten.....	110
5.3.2	Untersuchungsergebnisse zu dem eingesetzten Lasersensor	113
5.4	Reaktionsverhalten der Versuchsmechanik Seitenführung	116

5.4.1	Wiederholungsgenauigkeit des Versuchsgerätes im Versuchsstand Blumenstraße	117
5.4.2	Fahrgeschwindigkeitseinfluß auf die Versuchsfahrten	121
5.4.3	Untersuchungen an einfachen Reglerstrukturen.....	125
5.4.3.1	Fahrverlauf bei unterschiedlichen Verstellzeiten der Scheibenseche ...	126
5.4.3.2	Fahrverlauf bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten	128
5.4.4	Proportionalregler.....	130
5.4.5	Modellregler	135
5.4.6	Fahrversuche zur Höhen- und Seitenführung.....	140
5.5	Ökonomische Betrachtung der automatischen Geräteführung.....	145
5.5.1	Kostenkalkulation Modellbetrieb I.....	146
5.5.2	Kostenkalkulation Modellbetrieb II	147
5.5.3	Kostenvergleich der beiden Modellbetriebe.....	148
6	Diskussion und Schlußfolgerungen	150
6.1	Rahmenbedingungen	151
6.2	Sensoruntersuchungen.....	153
6.3	Gerätetechnische Überprüfung	155
6.4	Ökonomische Betrachtung.....	158
7	Weiterführende Arbeiten	162
8	Zusammenfassung	164
9	Summary	167
10	Literaturverzeichnis.....	169
	Anhang.....	175