

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	5
3	WISSENSSTAND	8
3.1	Landwirtschaftliche Aspekte	8
3.1.1	Unkräuter auf Ackerflächen	8
3.1.2	Unkrautbekämpfung und Schadensschwellenkonzept	10
3.1.3	Precision Farming	13
3.1.4	Precision Farming in der Unkrautbekämpfung	15
3.1.4.1	Offline-Verfahren	15
3.1.4.2	Online-Verfahren	17
3.1.4.3	Herbizidapplikation	18
3.1.4.4	Ökonomische Auswirkungen	20
3.1.4.5	Ökologische Auswirkungen	22
3.1.4.6	Anwendung in der Praxis	23
3.2	Pflanzenerkennungssysteme	25
3.2.1	Optische Sensortechnik	25
3.2.1.1	Funktionsprinzip der optoelektronischen Sensoren	25
3.2.1.2	Weiterentwicklungen der optoelektronischen Sensoren	26
3.2.1.3	Weiterentwicklungen der optoelektronischen Sensoren zur Unterscheidung von Unkräutern und Kulturpflanzen	31
3.2.1.4	Unterscheidung von Unkräutern und Kulturpflanzen über die Spektralanalyse verschiedener Wellenlängen	31
3.2.1.5	Multisensorsysteme zur Unterscheidung von Unkräutern und Kulturpflanzen	36
3.2.2	Chlorophyll-Fluoreszenz	38
3.2.3	Künstliche Neuronale Netze	40
3.2.4	Active Shape Models	41
3.3	Bilderkennung	42
3.3.1	Farbbasierte Methoden (Colour based)	42
3.3.2	Texturbasierte Methoden (Texture based)	44
3.3.3	Form / Umriss basierte Methoden (Shape based)	44
3.3.3.1	Kantenerkennung	44
3.3.3.2	Eckenerkennung	47
3.3.3.3	Hough-Transformation	48
3.3.3.4	Template Matching	50
3.3.4	Auf räumliche Beziehungen ausgelegte Methoden (Spatial based)	52
3.4	Segmentierung	53
3.4.1	2D-Segmentierung	53
3.4.1.1	Differenzbild	55
3.4.1.2	Grauwertbilder - Histogramme	56

3.4.1.3	Farbbild/-räume	57
3.4.2	3D-Segmentierung	58
3.4.2.1	Fokussierung der Kamera	58
3.4.2.2	Lichtschnitt	60
3.4.2.3	Shape-from-Silhouette	60
3.4.2.4	Stereotriangulation	62
3.5	Klassifikation	64
3.5.1	Charakterisierung von Klassifikationsverfahren	64
3.5.2	Klassifikationsverfahren	64
3.5.2.1	Künstliche Neuronale Netze	64
3.5.2.2	Schließen mit Unsicherheit	66
3.5.2.3	Quader-Klassifikator	67
3.5.2.4	Abstandsklassifikator	67
3.5.2.5	Fuzzy-Klassifikator	68
3.5.2.6	Polynomklassifikator	69
3.5.2.7	Nächste Nachbarn Klassifikation	70
3.5.2.8	Bayes-Klassifikator	71
3.5.2.9	Clusterverfahren	71
3.5.2.10	Support Vector Machine (SVN)	72
3.5.3	Wissensbasierte Systeme und Expertensysteme	73
4	MATERIAL UND METHODEN	74
4.1	Hardware und Software	74
4.2	Labor- und Gewächshausversuche	79
4.2.1	Versuchsaufbau	79
4.2.2	Unkrautarten	81
4.2.3	Pflanzenanzucht	85
4.2.4	Versuchsdurchführung	87
4.3	Freilandversuche	92
4.3.1	Unkrautarten und Nutzpflanzen	92
4.3.2	Versuchsflächen	92
4.3.3	Versuchsdurchführung	94
4.4	Bildtransformationen	100
4.4.1	Vorverarbeitung	100
4.4.2	Segmentierung	102
4.4.2.1	Wasserscheidentransformation	102
4.4.2.2	Farbraumkonversion	102
4.4.2.3	3D-Rekonstruktion	104
4.4.3	Invarianz-Eigenschaft und Objektausrichtung	104
4.5	Bilderkennungsverfahren	108
4.5.1	Trainingsdatensätze	108
4.5.2	Bilderkennung	109
4.5.2.1	Kantenerkennung	109
4.5.2.2	Eckenerkennung	109
4.5.2.3	Hough-Transformation	110

4.5.2.4	Geometrische Merkmale	110
4.5.2.5	Template Matching	112
4.5.2.6	Filter	113
4.5.2.7	Neuronale Netze	114
4.5.2.8	Wissensbasierte Systeme	117
4.6	Statistische Auswertung	117
5	ERGEBNISSE	119
5.1	Segmentierung	119
5.1.1	Segmentierung durch Farbraumkonversion	119
5.1.2	Segmentierung durch Stereotriangulation	124
5.2	Kantenerkennung	125
5.3	Eckenerkennung	128
5.4	Hough-Transformation	129
5.5	Geometrische Merkmale	133
5.6	Ausrichtung	138
5.7	Template Matching	138
5.8	Winkelmethode kombiniert mit Neuronalem Netz	143
5.9	Graphenvergleich	146
5.10	Wissensbasiertes System	149
6	MODELLIERUNG DER AUSWIRKUNGEN VERSCHIEDENER UNKRAUTERKENNUNGSRATEN	151
6.1	Modellaufbau	153
6.2	Parameterschätzung	154
6.3	Zellulärer Automat	159
6.4	Modellrechnungen	162
6.5	Teilflächenapplikation	164
7	DISKUSSION	170
7.1	Verfahrenswahl und Einsatzstrategie	171
7.2	Segmentierung	173
7.3	Erkennungsverfahren	174

7.3.1 Ausrichtung	174
7.3.2 Ecken- und Kantenerkennung	175
7.3.3 Geometrische Merkmale	176
7.3.4 Hough-Transformation	177
7.3.5 Template Matching	178
7.3.6 Winkelmessung mit Bewertung durch Künstliche Neuronale Netze	180
7.4 Bewertung von Unkrautererkennungssystemen und deren Güte	181
7.5 Geschwindigkeitsbetrachtung	182
7.6 Modellrechnung	184
7.7 Integration der Herbizidmaßnahmen in die Prozesssteuerung der Herbizidapplikation	185
8 ZUSAMMENFASSUNG	187
9 AUSBLICK	191
10 LITERATURVERZEICHNIS	192
11 ANHANG	209
11.1 Liste der verwendeten Unkrautarten	209
11.2 Natives Interface zwischen C und Java	209
11.3 Hough-Algorithmus	214