

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	i
Kurzfassung.....	iii
Abstract.....	v
Inhaltsverzeichnis	vii
Symbolverzeichnis	xiii
Indexverzeichnis	xviii
Abkürzungsverzeichnis.....	xx
Glossar	xxii
1 Einleitung	1
1.1 Randbedingungen bei der Entwicklung automatisierter Landmaschinen.....	1
1.2 Motivation	3
1.3 Zielsetzung der Arbeit.....	4
1.4 Landwirtschaftliche Verfahrenskette in der Pflanzenproduktion	5
1.5 Auswahl des in der vorliegenden Arbeit betrachteten landwirtschaftlichen Verfahrens	6
2 Entwicklungsstand.....	8
2.1 Marktverfügbare Assistenzsysteme in der Landtechnik	8
2.1.1 Patente	9
2.2 Forschungsarbeiten an Prozessassistenzsystemen in der Landwirtschaft	9
2.2.1 Methoden der klassischen Bildverarbeitung	10
2.2.1.1 Gewichteter Jaccard Koeffizient.....	11
2.2.1.2 HSV-Farbmodell/HSL-Farbmodell	12
2.2.2 Maschinelles Lernen/Deep Learning	12
2.2.3 Light Detection And Ranging (LiDAR).....	14

2.3	Beschreibung der Arbeitsaufgabe des Menschen mit Landmaschinen	14
2.3.1	Technisches Grundgerüst für die Automatisierung der auf den landwirtschaftlichen Arbeitsprozess bezogenen Aufgaben der maschinenführenden Person.....	16
2.4	Verhalten von Sensoren in Szenarien mit Staub	17
2.4.1	LiDAR-Sensoren	18
2.4.2	RGB-Kamera	19
2.5	Verhalten von Sensoren in Szenarien mit geringem Licht	19
3	Agronomische Arbeitsqualität im Kontext automatisierter Landmaschinen.....	20
3.1	Definition des Begriffs „agronomische Arbeitsqualität“	20
3.2	Qualitätskriterien bei der Stoppelbearbeitung	22
3.2.1	Zusammenhang zwischen Arbeitsqualität an der Oberfläche und dem sich daraus ergebenden Bodenzustand.....	24
3.3	Bekanntete Methoden zur Messung des Bodenbedeckungsgrades	25
3.4	Eigener Ansatz für die Beschreibung der Arbeitsaufgabe mit einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination	27
3.5	Eigener generischer Ansatz für die Automatisierung der auf den landwirtschaftlichen Arbeitsprozess bezogenen Aufgaben der maschinenführenden Person.....	33
3.6	Ableitung der zu verwendenden Methoden.....	36
3.7	Weitere Vorgehensweise.....	41
4	Bildverarbeitung.....	42
4.1	Anforderungen und Konzept	43
4.1.1	Anforderungen an eine Bildverarbeitungsmethode zur Detektion des Bodenbedeckungsgrades.....	43
4.1.2	Anforderungen an eine Bildverarbeitungsmethode zur Detektion von signifikanten Luftstaubkonzentrationen.....	44
4.1.3	Konzept.....	44
4.2	Datenerfassung.....	46

4.2.1	Anforderungen an den zu erstellenden Datensatz	46
4.2.2	Aufbau der zwei Versuchsträger	47
4.2.3	Vorgehensweise zur Akquirierung der Rohdaten	52
4.3	Erstellen des Datensatzes zur Detektion des Bodenbedeckungsgrades	52
4.3.1	Datensatz für Training und Validierung	53
4.3.2	Testdatensätze	58
4.3.2.1	Erster Testdatensatz	58
4.3.2.2	Zweiter Testdatensatz.....	59
4.4	Bildverarbeitungsmethoden zur Detektion des Bodenbedeckungsgrades von Stroh und Stoppeln	59
4.4.1	Vorläufige Eingrenzung der Problemstellung	60
4.4.2	Wahl des bildverarbeitungstechnischen Ansatzes	60
4.4.3	Klassische Bildverarbeitung.....	61
4.4.4	Annotierung der Daten.....	70
4.4.4.1	Beschreibung der neuen Methode	70
4.4.4.2	Bewertung der resultierenden Datenqualität	73
4.4.5	Deep Learning.....	78
4.4.6	Evaluierung und Vergleich der Bildverarbeitungsmethoden.....	86
4.5	Erweiterung der Bildverarbeitungsmethode und Erhöhung der Robustheit	87
4.5.1	Grünpflanzen	88
4.5.2	Frontkamera	91
4.5.3	Labeling	92
4.5.4	Data Augmentation	94
4.5.5	Trainingsergebnisse.....	95
4.6	Entwicklung einer robusten Methode zur Detektion von Luftstaub.....	97
4.6.1	Datensatz für die Entwicklung einer Methode zur Detektion von Luftstaub	99

4.6.1.1	Datensatz für Training und Validierung.....	100
4.6.1.2	Testdatensatz.....	102
4.6.2	Training des Klassifikators	102
4.6.3	Test auf realem Feld	104
4.7	Implementierter Bildverarbeitungsprozess	105
5	Verhaltensgenerierung der Traktor-Anbaugeräte-Kombination	107
5.1	Arbeitskennfelder	108
5.1.1	Versuchsbedingungen	109
5.1.2	Auswertung	110
5.2	Methoden für die technische Umsetzung des 3-Ebenenmodells	114
5.2.1	Prozessplanungsebene	114
5.2.2	Prozessoptimierungsebene	116
5.2.3	Prozessstabilisierungsebene.....	124
5.2.4	Regelstrecke und Sensoren	127
5.2.5	Verhalten bei signifikanten Luftstaubkonzentrationen	128
5.2.6	Zustandsautomat.....	129
5.3	Stabilität der Regelkreise	131
5.3.1	Stabilisierungsebene	131
5.3.2	Optimierungsebene.....	132
5.4	Implementierung	140
5.5	Hardware-Architektur.....	141
6	Verifizierung des Gesamtsystems im Feld	143
6.1	Grundlegende Verifizierung der Funktionalität	144
6.1.1	Charakterisierung der Regelstrecke.....	145
6.1.2	Überprüfung der Funktionalität der Regelung	146
6.1.3	Einfluss des Systems auf den Bodenbedeckungsgrad.....	149
6.1.4	Fazit	151

6.2	Verifizierung des dynamischen Verhaltens des Systems	151
6.2.1	Charakterisierung der Regelstrecke.....	153
6.2.2	Verifizierung des dynamischen Verhaltens der Regelung.....	155
6.2.3	Vertiefende Tests verschiedener Reglerverstärkungen.....	164
6.2.4	Fazit	169
6.3	Nachweis des statistisch signifikanten Einflusses des Systems auf den Bodenbedeckungsgrad	170
6.4	Verifizierung des Systems unter Bedingungen mit signifikantem Luftstaub	174
6.4.1	Test des Binären Klassifikators	175
6.4.2	Auswirkung auf das Arbeitsergebnis	176
6.4.3	Fazit	181
7	Zusammenfassung und Ausblick	182
7.1	Zusammenfassung	182
7.2	Schlussfolgerungen	185
7.3	Übertragbarkeit auf weitere Arbeitsprozesse und Anbaugeräte	188
7.4	Ausblick.....	189
7.5	Schlussbemerkung	191
8	Literaturverzeichnis.....	193
9	Abbildungsverzeichnis.....	208
10	Tabellenverzeichnis	216
11	Anhang	219
11.1	Statistiken des ersten Testdatensatzes.....	219
11.2	Statistiken des zweiten Testdatensatzes	221
11.3	Übersicht Aufnahmezeitpunkte des Trainings- und Validierungsdatensatzes für die Bodenbedeckungsgraddetektion.....	223
11.4	Bilder des ersten Experiments zur Bewertung der Konsistenz der Annotierung	224

11.5	Netzwerkarchitektur von Smallnet	225
11.6	Beispielbilder des auf Grünpflanzen erweiterten Annotierungsprogramms	226
11.7	Bilder des zweiten Experiments zur Bewertung der Konsistenz der Annotierung.....	228
11.8	Verteilung der Bilder im Datenset zum Testen der binären Staubklassifizierung	229
11.9	Netzwerkarchitektur für die binäre Klassifizierung.....	233
11.10	Regelungstechnisches Gesamtkonzept.....	234
11.11	Messschriebe der Versuche zur Verifizierung der Funktionalität des Systems	235
11.12	Messschriebe der Versuche zur vertiefenden dynamischen Verifizierung	237