



Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

# Verfahrenstechnische Analyse und Entwicklung von Ernte- und Reinigungssystemen für Baldrianwurzeln

Georg Neumaier

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

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. J. Sauer

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. H. Bernhardt
2. Univ.-Prof. Dr. K.-J. Hülsbergen
3. Univ.-Prof. Dr. P. Schulze Lammers

Die Dissertation wurde am 31.05.2016 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 23.01.2017 angenommen.

**Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsverzeichnis .....	V
Abbildungsverzeichnis .....	X
Tabellenverzeichnis .....	XIV
Abkürzungsverzeichnis .....	XVII
Abstract.....	XX
1 Einleitung .....	1
1.1 Pflanzenbeschaffenheit „Valeriana officinalis L.“ .....	2
1.1.1 Botanik und Verwendung.....	2
1.1.2 Baldriananbau .....	4
1.2 Problemstellung .....	6
1.3 Lösungsansatz .....	7
2 Zielstellung .....	8
2.1 Wirkprinzipien für ein System zur Ernte von Baldrianwurzeln .....	8
2.2 System- und Schwachstellenanalyse vorhandener Baldrianerntesysteme zur Definition von neuen Soll-Systemen .....	8
2.3 Entwicklung einer universell einsetzbaren Aufnahmevorrichtung.....	8
2.4 Entwicklung eines schonenden Reinigungssystems mit Förderwirkung.....	9
2.5 Synthese geeigneter Komponenten und Validierung dieser in der Praxis.....	9
3 Stand der Technik.....	10
3.1 Wirkprinzipien der Wurzelentnahme.....	10
3.2 Fördersysteme .....	12
3.2.1 Schüttguteigenschaften und Kenngrößen .....	14
3.2.1.1 Kornbeschaffenheit .....	14
3.2.1.2 Schüttdichte .....	15
3.2.1.3 Zusammenhalt (Kohäsion) .....	17

---

3.2.1.4	Wandreibung und Adhäsion.....	18
3.2.1.5	Eigenschaften des Fördergutes (Besonderheiten) .....	20
3.2.2	Dimensionierungsgrundlagen.....	21
3.3	Mechanische Verfahrenstechnik.....	25
3.3.1	Zerkleinerung.....	25
3.3.2	Trennprozesse.....	29
3.3.3	Kennzeichnung des Trennerfolgs .....	33
3.3.4	Trennung aufgrund der Partikelgröße (Siebklassieren).....	34
3.4	Erntetechnik .....	37
4	Material und Methoden .....	39
4.1	Auswahl- und Bewertungsmethoden .....	40
4.2	Prozessdokumentation und Schwachstellenanalyse .....	40
4.3	Fusion des 2-phasigen Erntesystems .....	40
4.4	Versuchsaufbau der Feldversuche .....	40
4.4.1	Feldnachtrocknung im 2-phasigen Erntesystem.....	40
4.4.2	Erstellung eines Wurzeltiefenprofils .....	41
4.4.3	Ernte von Baldrian mit einem Rübenvollernter.....	42
4.4.4	Krautstabilität .....	44
4.4.5	Vergleich von Herbst- und Frühjahrsernte .....	45
4.4.6	Erfassung von Wurzelverlusten mittels Referenzsystem .....	45
4.4.7	Vergleich von drei Reinigungssystemen .....	47
4.4.7.1	Reinigungssysteme im Versuch .....	47
4.4.7.2	Trägerfahrzeug .....	54
4.4.7.3	Versuchsfeld.....	57
4.4.7.4	Bodenanalyse .....	58
4.4.7.5	Witterungsdaten .....	59

4.4.7.6	Versuchsanlage.....	60
4.4.7.7	Erntetermine .....	63
4.4.7.8	Versuchsdurchführung .....	65
4.4.7.9	Inhaltsstoffanalyse.....	70
4.4.8	Wurzelverlustbestimmung in der Aufnahmevorrichtung .....	71
4.4.9	Testung der Aufnahmevorrichtung in verschiedenen Anbauverfahren....	73
4.4.10	Wurzelverlustermittlung im neuen Erntesystem .....	75
4.4.11	Statistische Auswertung .....	76
5	Ergebnisse.....	77
5.1	Anwendbare Wirkprinzipien für die Ernte von Baldrianwurzeln.....	77
5.2	Systematisierung bestehender Erntesysteme mit Schwachstellenanalyse .....	78
5.3	Entwicklung neuartiger Entnahme- und Reinigungssysteme .....	80
5.3.1	Aufnahmevorrichtung mit Reißtrommel .....	81
5.3.2	Reinigungssystem „Rotation“ .....	81
5.4	Synthese zum 1-phasigen Erntesystem.....	83
5.5	Feldversuche .....	85
5.5.1	Einfluss der Feldnachtrocknung auf Kohäsion und Adhäsion .....	85
5.5.2	Wurzelmassenverteilung im Wurzeltiefenprofil .....	86
5.5.3	Ernte von Baldrian mit einem Rübenvollernter.....	87
5.5.4	Krautstabilität .....	88
5.5.5	Veränderung qualitativer und quantitativer Merkmale zwischen Herbst- und Frühjahrsernte .....	89
5.5.6	Handernteertrag als Referenzwert zur Berechnung von Wurzelverlusten bei der maschinellen Ernte .....	90
5.5.7	Reinigungsintensität, Inhaltsstoff- und Wurzelverluste bei den drei getesteten Reinigungssystemen .....	91
5.5.7.1	Testung der Reinigungssysteme unter sehr trockenen Bedingungen	91

5.5.7.2	Testung der Reinigungssysteme unter trockenen Bedingungen .....	96
5.5.7.3	Testung der Reinigungssysteme unter nassen Bedingungen.....	101
5.5.7.4	Testung der Reinigungssysteme unter sehr nassen Bedingungen ...	106
5.5.7.5	Zusammenführung der Ergebnisse des Systemvergleichs .....	112
5.5.8	Wurzelverluste im Aufnahmeband nach Integration einer Einzugstrommel bei unterschiedlichen Scharformen .....	121
5.5.9	Ernte von Baldrianwurzeln aus verschiedenen Anbauverfahren.....	122
5.5.9.1	Quantitative Unterschiede zwischen den Anbauverfahren .....	122
5.5.9.2	Qualitative Unterschiede der Baldrianwurzeln zwischen den verschiedenen Anbauverfahren .....	123
5.5.9.3	Einfluss des Anbauverfahrens auf den Erdbesatz der Wurzeln .....	125
5.5.10	Validierung des neuen Erntesystems in der Praxis.....	126
5.5.10.1	Theoretische Berechnung der Verlustwurzeln im 1-phasigen Erntesystem .....	126
5.5.10.2	Wurzelverlustermittlung bei trockenen und feuchten Bodenverhältnissen.....	127
6	Diskussion .....	128
6.1	Systementwicklung .....	128
6.1.1	Systematisierung und Schwachstellenanalyse.....	128
6.1.1.1	Rodegeschwindigkeit bei der Baldrianernte .....	129
6.1.1.2	Scharanstellwinkel .....	130
6.1.2	Auswahl geeigneter Systeme für eine Erntemaschine.....	131
6.1.2.1	Wurzelentnahme.....	132
6.1.2.2	Fördersysteme .....	132
6.1.2.3	Zerkleinerung .....	133
6.1.2.4	Trennverfahren .....	134
6.2	Feldversuche .....	134

---

6.2.1	Feldnachrocknung .....	135
6.2.1	Rodetiefe.....	136
6.2.2	Ernte von Baldrian mit modernen Vollerntemaschinen aus der Kartoffel- und Rübentechnik.....	137
6.2.3	Krautstabilität .....	139
6.2.4	Ertragsdepressionen zwischen Herbst- und Frühjahrsernte.....	139
6.2.5	Referenzsystem „Handernte“ .....	141
6.2.6	Reinigungssystemvergleich.....	142
6.2.6.1	Wurzelverluste und Reinigungsintensität.....	142
6.2.6.2	Ontogenese .....	143
6.2.6.3	Probenahme.....	143
6.2.6.4	Wirkmechanismen der Zerkleinerung.....	145
6.2.6.5	Schlussfolgerung des Vergleichs .....	147
6.2.1	Einzugstrommel und unterschiedliche Schartypen.....	148
6.2.2	Ernte aus verschiedenen Anbauverfahren .....	149
6.2.3	Wurzelverluste im neuen Erntesystem .....	151
7	Ausblick.....	153
8	Zusammenfassung .....	154
	Literaturverzeichnis .....	157
	Anhang .....	A