



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.

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des Autors urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© **2012**

Im Selbstverlag: Georg Neumaier

Bezugsquelle: Technische Universität München

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Am Staudengarten 2

85354 Freising

Besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Kooperationsbetriebes „Agrarprodukte Ludwigshof e.G.“ für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung von Versuchen und meinen Vorgesetzten an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dr. G. Fröhlich, Dr. M. Demmel und Dr. G. Wendl, für den Rückhalt während der Anfertigung dieser Arbeit. Des Weiteren bedanke ich mich bei allen die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Diese Dissertation wurde im Rahmen des FNR-Demonstrationsprojektes Arzneipflanzen (KAMEL) „Verbesserung der internationalen Wettbewerbsposition des deutschen Arznei- und Gewürzpflanzenanbaus am Beispiel der züchterischen und anbautechnologischen Optimierung von Kamille, Baldrian und Zitronenmelisse“ (FKZ 22011509) erstellt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

Die Förderung des Projektes erfolgt/e durch finanzielle Unterstützung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMELV für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe.

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	Feldnachtrocknung	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

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Baldrianpflanze (l. mit Erdbesatz, r. ausgeschüttelt).....	2
Abbildung 2: Valeriana officinalis (Baldrian).....	3
Abbildung 3: Klassifizierung der Stetigförderer nach DIN 15201-1	13
Abbildung 4: Flache (a) und gemuldete (b) Gurtführung.....	22
Abbildung 5: Beanspruchungsmechanismen der Zerkleinerung nach RUMPF (1965) .	26
Abbildung 6: Schema eines Enzianrodgers mit Reißtrommeln (Walzenbrecher).....	27
Abbildung 7: Trennverfahren	30
Abbildung 8: Staudenzieh-Sammelroder nach Martschenkow-Burjakow	31
Abbildung 9: Wirkprinzip des Siebklassierens	34
Abbildung 10: Bauformen von Produktionssieben	35
Abbildung 11: Fördernde Roste (links Siebband, rechts Siebsterne).....	36
Abbildung 12: Rost mit Wendelwalzen in der Aufnahmevorrichtung eines Rübenvollernters.....	37
Abbildung 13: Witterungsdaten des Versuchszeitraums.....	41
Abbildung 14: Rübenroder (links), Rüttelscharroder (rechts).....	43
Abbildung 15: Versuchsutensilien	44
Abbildung 16: Hand- versus Maschinenernte (l. Schwingsieb-, r. Siebkettenvorratsroder)	46
Abbildung 17: Reinigungssystem „Siebband“	48
Abbildung 18: Reinigungssystem „Rotation“ (r.) Ausschnitt: Passives Rüttelelement .	49
Abbildung 19: Reinigungssystem „Siebsterne“	51
Abbildung 20: Gleitrostbefestigung (links vor, rechts nach der Abgabeöffnung)	52
Abbildung 21: Kartoffelrodelader	54
Abbildung 22: Trägerfahrzeug für die Versuchsdurchführung	56
Abbildung 23: Witterungsdaten während des Versuches.....	59
Abbildung 24: Anlage der Versuchspartellen.....	60
Abbildung 25: Technik Fahrplan.....	62
Abbildung 26: Erntepartelle unmittelbar nach Bewässerung	63
Abbildung 27: Schema der Versuchsdurchführung.....	65
Abbildung 28: Hinter dem Roder abgelegte Folien bei der 3. Wiederholung.....	67

Abbildung 29: l. Aufnahmevorrichtung mit verschiedenen Schartypen, r. Probenentnahme mit einem runden Handsieb.....	71
Abbildung 30: Versuchsanlage für die Erfassung der Wurzelverluste in der Aufnahmevorrichtung mit unterschiedlichen Scharen	72
Abbildung 31: Trägerfahrzeug mit Leitsegel und Querelevator zum Befüllen von Probenbehältnissen	73
Abbildung 32: Rodegeschwindigkeit in Abhängigkeit der Fallstufen in Schwingsieb- und Siebkettenrodern.....	79
Abbildung 33: Blockade in der Aufnahmevorrichtung (l. Seitenansicht, r. Frontansicht)	80
Abbildung 34: Aufnahmevorrichtung mit integrierter Reißtrommel (l. Skizze, r. Frontansicht).....	81
Abbildung 35: Funktionsprinzip „Rotation“	82
Abbildung 36: Morphologischer Kasten mit Lösungswegen für ein 1-phasiges Erntesystem	83
Abbildung 37: Funktionsschema des neuen 1-phasigen Erntesystems	84
Abbildung 38: Wurzelverluste in Abhängigkeit vom Erntesystem.....	87
Abbildung 39: Zugkraftaufwand für den Krautabriss	88
Abbildung 40: Ertragsverteilung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1	93
Abbildung 41: Valerensäuregehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1	94
Abbildung 42: Äth. Ölgehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1	95
Abbildung 43: Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1	96
Abbildung 44: Ertragsverteilung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2	98
Abbildung 45: Valerensäuregehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2	99
Abbildung 46: Äth. Ölgehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2	100
Abbildung 47: Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2	101
Abbildung 48: Ertragsverteilung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3	103

Abbildung 49: Valerensäuregehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3	104
Abbildung 50: Äth. Ölgehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3	105
Abbildung 51: Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3	106
Abbildung 52: Ertragsverteilung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4	108
Abbildung 53: Valerensäuregehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4	109
Abbildung 54: Äth. Ölgehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4	110
Abbildung 55: Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4	111
Abbildung 56: Gravimetrischer Bodenwassergehalt.....	112
Abbildung 57: Wurzelertrag in Abhängigkeit vom Erntetermin.....	113
Abbildung 58: Vorreinigungsverluste in Abhängigkeit vom Erntetermin	114
Abbildung 59: Durchschnittliche Ertragsverteilung über alle Erntetermine	115
Abbildung 60: Valerensäuregehalt in Abhängigkeit vom Erntetermin	116
Abbildung 61: Ätherischer Ölgehalt in Abhängigkeit vom Erntetermin	117
Abbildung 62: Massenbewegung in Abhängigkeit vom Erntetermin	119
Abbildung 63: Erdanhang beim System „Rotation“ und „Siebsterne“ in Relation zum System „Siebband“	120
Abbildung 64: Wurzelverluste in der Aufnahmevorrichtung bei unterschiedlicher Scharausführung	121
Abbildung 65: Drogenertrag in Abhängigkeit vom Anbauverfahren.....	122
Abbildung 66: Valerensäuregehalte in Abhängigkeit vom Anbauverfahren	123
Abbildung 67: Ätherischer Ölgehalt in Abhängigkeit vom Anbauverfahren.....	124
Abbildung 68: Erdbesatz in Abhängigkeit vom Drogenertrag.....	125
Abbildung 69: Wurzelverluste im 1-phasigen Erntesystem	127
Abbildung 70: Aufnahme von Baldrianwurzeln bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen.....	130
Abbildung 71: Kartoffelerntemaschinen (l. früher, r. heute).....	137
Abbildung 72: Zuckerrübenvollernter (l. früher, r. heute)	138

Abbildung 73: Rotierende Wurzel auf steil gestelltem Siebband..... 145
Abbildung 74: Rotierende Wurzeln im Siebsterne..... 147
Abbildung 75: Zusammengewachsene Wurzeln aus der Saatkultur beim Quarteln 150

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassierte und unklassierte Schüttgüter	14
Tabelle 2: Unterscheidung der Kornformen	15
Tabelle 3: Schüttgütdichte von Sand in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt und Lagerungsdichte.....	16
Tabelle 4: Einteilung von Schüttgütern nach deren Fließverhalten und Böschungswinkel	17
Tabelle 5: Maximale Anstiegswinkel bei der Schüttgutförderung.....	18
Tabelle 6: Wandreibungszahlen einiger Schüttgüter gegen Stahl und Gummigurt	19
Tabelle 7: Unterscheidungsmerkmale von Fördergütern	20
Tabelle 8: Abhängigkeit der Fördergeschwindigkeit von Schüttguteigenschaften, Einsatzbedingungen und Gurtbreite	23
Tabelle 9: Zeitplan für die Entwicklung eines neuen Erntesystems für Baldrianwurzeln	39
Tabelle 10: Ackerdaten des Versuchsfeldes am Standort „Baumannshof“ im Jahr 2010	42
Tabelle 11: Ackerdaten des Versuchsfeldes am Standort „Baumannshof“ im Jahr 2013	43
Tabelle 12: Ackerdaten des Versuchsfeldes mit gesätem Baldrian am Standort „Baumannshof“	45
Tabelle 13: Standortdaten.....	46
Tabelle 14: Technische Daten des Reinigungssystems „Siebband“	48
Tabelle 15: Technische Daten des Reinigungssystems „Rotation“	50
Tabelle 16: Technische Daten des Reinigungssystems „Siebsterne“	53
Tabelle 17: Ackerdaten des Versuchsfeldes	57
Tabelle 18: Ergebnisse der Körnungsanalyse des Feinbodens	58
Tabelle 19: Parzellengrößen	61
Tabelle 20: Erntetermine	63
Tabelle 21: Einstellungen der Erntemaschine	68
Tabelle 22: Trocknungszeit der geviertelten Wurzelstöcke	69
Tabelle 23: Ackerdaten des Versuchsfeldes am Standort „Baumannshof“ im Jahr 2012	72

Tabelle 24: Anbauverfahren bei Baldrian im Streifenversuch mit der Sorte B-19	73
Tabelle 25: Schlagbezogene und technische Daten der Versuchsanlage zur Testung der Aufnahmevorrichtung.....	74
Tabelle 26: Schlagbezogene und technische Daten der Versuchsanlagen zur Erfassung der Wurzelverluste im 1-phasigen Erntesystem in den Kampagnen 2013 und 2014.....	75
Tabelle 27: Systematisierung bestehender Erntesysteme	78
Tabelle 28: Gewichtsreduzierung bei Feldnachtrocknung	85
Tabelle 29: Ergebnis der Wurzelmassenverteilung (Wurzeltiefenprofil).....	86
Tabelle 30: Ertrag (Vergleich zwischen Herbst- und Frühjahrsernte)	89
Tabelle 31: Valerensäure (Vergleich zwischen Herbst- und Frühjahrsernte)	89
Tabelle 32: Ätherischer Ölgehalt (Vergleich zwischen Herbst- und Frühjahrsernte)....	90
Tabelle 33: Ergebnisdarstellung (Hand- versus Maschinenernte).....	90
Tabelle 34: Wurzelertrag und –verluste in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1	91
Tabelle 35: Vorreinigungsverluste zur Ernte 1.....	92
Tabelle 36: FM-Wurzelertrag, Erdanhang und Absieberde in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1	95
Tabelle 37: Wurzelertrag und –verluste in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2	97
Tabelle 38: Vorreinigungsverluste zur Ernte 2.....	97
Tabelle 39: FM-Wurzelertrag, Erdanhang und Absieberde in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2	100
Tabelle 40: Wurzelertrag und –verluste in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3	102
Tabelle 41: Vorreinigungsverluste zur Ernte 3.....	102
Tabelle 42: FM-Wurzelertrag, Erdanhang und Absieberde in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3	105
Tabelle 43: Wurzelertrag und –verluste in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4	107
Tabelle 44: Vorreinigungsverluste zur Ernte 4.....	107
Tabelle 45: FM-Wurzelertrag, Erdanhang und Absieberde in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4	110

Tabelle 46: Systemverluste rel. in Abhängigkeit vom Erntetermin	115
Tabelle 47: FM-Wurzelерtrag, Erdanhang und Absieberde in Abhängigkeit vom Erntetermin	118
Tabelle 48: Theoretische Berechnung der Wurzelverluste im neuen Erntesystem	126

Abkürzungsverzeichnis

Äth.	ätherische
Bj.	Baujahr
DWD	Deutscher Wetterdienst
FM	Frischmasse
Ges.	Gesamt
ha	Hektar
KF	Keimfähigkeit
LTA	Landtechnischer Anlagenbau
M.	Massen
Mrd.	Milliarden
n.s.	nicht signifikant
o. J.	ohne Jahr
p	Signifikanzniveau
rel.	relativ
Sd	Standardabweichung
TS	Trockensubstanz
U/min	Umdrehung je Minute
USD	US-Dollar
VEB	Volkseigener Betrieb

Lateinische Buchstaben

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
A_{th}	[m ²]	theoretischer Transportstromquerschnitt
c_w		Adhäsion (Klebrigkeit)
D		Durchmesser
d		Korngröße
d_{max}		maximale Korngröße
d_{maxA}		maximaler Korndurchmesser im Aufgabegut

$d_{\max Z}$		maximaler Korndurchmesser im zerkleinerten Gut
d_{\min}		minimale Korngröße
d_s		Korngröße die durch ein Sieb fällt
F_H		Hauptwiderstände
F_N		Nebenwiderstände
F_S		Sonderwiderstände
F_{ST}		Steigungswiderstände
F_W	[N]	Umfangskraft an der Antriebswelle
g		Grobgutmengenanteil im Aufgabegut
I_{VN}	[m ³ /s]	Nennvolumenstrom
I_{mN}	[kg/s]	Nennmassenstrom
L		Maschenweite
m		Masse
m_A		Masse des Aufgabegutes
m_F		Masse des Feingutes
m_G		Masse des Grobgutes
$P_{M,erf}$	[W]	erforderliche Motorleistung
P_W	[W]	Leistungsbedarf an der Antriebswelle
s		Siebstdurchmesser
$T(x)$		Trenngrad
v	[m/s]	Fördergutgeschwindigkeit
V		Volumen
V_p		Porenvolumen
w		Sieböffnungsweite
W		Wahrscheinlichkeit
Z		Zerkleinerungsgrad

Griechische Buchstaben

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
α_k	[°]	kritische Anstiegswinkel
β	[°]	Böschungswinkel
β_{dyn}	[°]	dynamischer Böschungswinkel
η_{ges}	[%]	Wirkungsgrad
η_s	[%]	Siebgütegrad
ρ_p		Partikeldichte
ρ_s	[kg/m ³]	Schüttgutdichte
μ		Reibungsbeiwert
μ_w		Wandreibung
φ	[%]	Füllungsgrad

Abstract

The state of the art equipment for harvesting roots of valerian is not efficient enough. Therefore, the aim of this study is, to create a method for careful lifting and successful cleaning of the roots. Hence, a new system to harvest roots is developed, using state of the art equipment and thereby resulting conclusions. Many tests are implemented to simplify decision processes by drawing up a shortlist of best methods and technologies. The new developed cleaning system “rotation” is compared with two existing systems in a field trial. It is tested, if the system shows differences to the others for the parameters loss of weight, losses of ingredients and intensity of the cleaning effect. As a result, no differences regarding the ingredients are found, but there are significant differences for the loss of weight and for the effect of cleaning. While the loss of weight is on a low level altogether, the differences in the effect of cleaning are large. However, taking the results into consideration, all three systems are suited for agricultural practice. According to the particularly advantageous features of these three cleaning systems and based on the trial outcomes a new efficient harvester is generated. The harvester is fitted with a new developed intake section being able to lift roots of valerian from varying cultivation methods.

1 Einleitung

In Deutschland liegt die Anbaufläche von Baldrian unter 50 ha (Hoppe, 2005). Die Gesamtnachfrage nach Baldrianwurzeln von ca. 2000 t/Jahr wird somit nur zu etwa 10 % aus deutscher Produktion gedeckt (Schmitz, et al., 2006). Problematisch für die Erzeuger sind vor allem die stark schwankenden Deckungsbeiträge, welche von den volatilen Produktpreisen stark beeinflusst werden (Falk, et al., 1999).

Zudem führt die unzureichende Mechanisierung der Ernte dazu, dass ein wesentlich höherer Handarbeitsaufwand als bei den üblichen landwirtschaftlichen Kulturen erforderlich ist (Bomme, 2001), (KTBL, 2002).

Die Aufgabe von Rodemaschinen ist es, die Wurzelfrüchte vollständig aus dem Boden zu entnehmen, dabei Fremdkörper weitestgehend zu entfernen und das gereinigte Gut idealerweise auf ein Transportmittel zu fördern.

Schwierigkeiten für die maschinelle Ernte ergeben sich bei Baldrian aus der Morphologie der unterirdischen Bestandteile (*valerianae radix*) der heterogenen Pflanze (Zimmer, et al., 2004).

Da bis dato kein zufriedenstellendes Mechanisierungskonzept verfügbar ist, soll im Rahmen dieser Arbeit ein Ernte- bzw. Reinigungssystem entwickelt werden, das eine vollmechanisierte 1-phasige Rodung ermöglicht.

1.1 Pflanzenbeschaffenheit „*Valeriana officinalis* L.“

Für die Entwicklung einer Erntetechnik ist die Kenntnis über die zu beerntende Pflanze (Abbildung 1) und deren Verwendung unerlässlich.

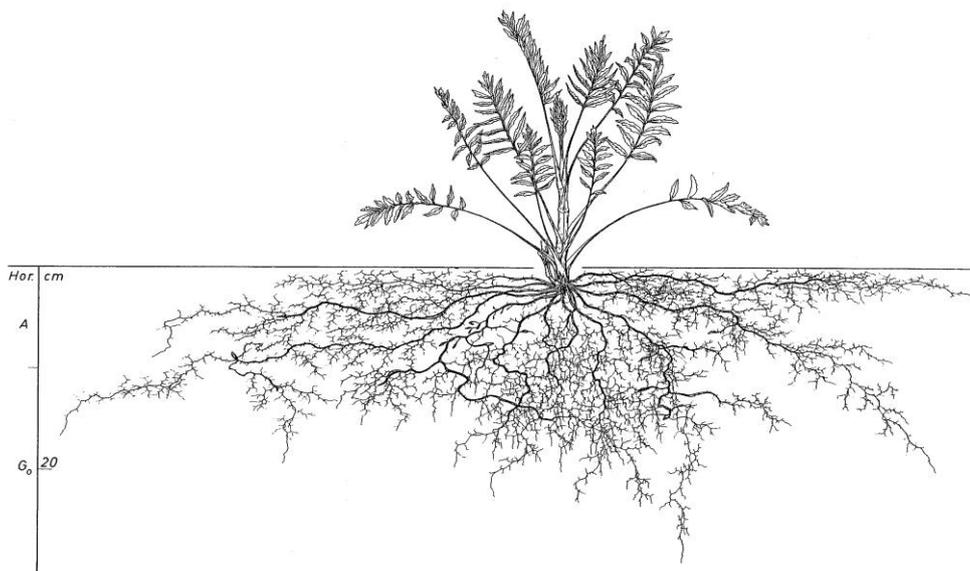


Abbildung 1: Baldrianpflanze (l. mit Erdbesatz, r. ausgeschüttelt)

1.1.1 Botanik und Verwendung

Der Echte Baldrian (*Valeriana officinalis* L.) ist eine Heilpflanze. Er gehört zur Familie der Baldriangewächse (Valerianaceae). (WHO, 1999), (AfrHP, 1985). Baldrian ist frosthart (Bown, 2002), (Dachler, et al., 1999). Er bevorzugt mäßig feuchte Standorte und ist ursprünglich in Europa und Asien beheimatet (Pickering, 1879). In der Schulmedizin wird der Arzneibaldrian seit Jahrhunderten als Arzneidroge mit beruhigender Wirkung genutzt (Weiss, 1986) (Newall, et al., 1996), (Farooqi, et al., 2001). Baldrian reduziert Nervosität insbesondere Angstzustände und Schlafstörungen (Benigni, et al., 1962), (Hobbs, 1994), (Hölzl, 1998), (Marder, et al., 2003).

Echter Baldrian (Abbildung 2) ist eine mehrjährige Pflanze, deren Blütenstände bis zu 2 m hoch werden können. Die ab dem zweiten Vegetationsjahr über mehrere Monate blühenden Blüten sind weiß, rosa oder rötlich (Cao, 2011). Die Blätter sind gegenständig, unpaarig gefiedert, mit lanzettlichen, gezähnten Fiederblättchen. Die Stängel sind unten kurzhaarig, oben kahl, stehen aufrecht und sind meist stark gerillt. (Heuberger, et al., 2012)



Quelle: Kutschera L., 1992

Abbildung 2: Valeriana officinalis (Baldrian)

Valeriana officinalis hat einen breit kegelförmigen bis scheibenförmigen Wurzelstock. An diesem, auch Rhizom genannt, hängen 10 bis 30 cm lange, nestförmig zusammengedrückte Adventivwurzeln mit bis zu 0,5 cm Durchmesser. (Kutschera, et al., 1992), (Rangahau, 2001)

Das Rhizom ist 2 cm bis 5 cm lang und 2 cm bis 3 cm dick (Dachler, et al., 1999). Die Adventivwurzeln bilden feine Seitenwurzeln aus, wodurch ein dichtes Geflecht entsteht. Nur die Wurzeln und das Rhizom werden geerntet und als Arzneidroge (valerianae radix) genutzt. Heutzutage werden sie überwiegend für die Extraktzubereitung benötigt. In Arzneitees hingegen, als klein geschnittene Baldrianwurzeln (Valerianae radix minutata), finden sie wegen ihres strengen Geruchs immer weniger Verwendung. (Heuberger, et al., 2012)

Die therapeutisch gewünschten Inhaltsstoffe sind die Valerensäure und das ätherische Öl (BGA/BfArM, 1985), (Bomme, 2001). Letzteres befindet sich hauptsächlich im Rindenbereich der unterirdischen Bestandteile, kann sich verflüchtigen und ist für den intensiven Geruch von Baldrianwurzeln verantwortlich (Heuberger, et al., 2012).

Wird die getrocknete Droge arzneilich verwendet, muss sie den Qualitätsnormen des Europäischen Arzneibuchs entsprechen. Der Mindestgehalt an ätherischem Öl beträgt 4 ml/kg Droge. Der Valerensäureanteil darf 0,17 % nicht unterschreiten. Es wird ein maximaler Stängelanteil von 5 % toleriert. (Ph.Eur., 2011)

Im Bereich Baldrian wurde in den letzten Jahrzehnten in der Pharmakologie und Phytochemie sehr viel Forschungsarbeit geleistet (Hazelhoff, et al., 1979), (Bos, et al., 1986), (Santos, et al., 1994), (Gränicher, et al., 1995), (Struck, et al., 1996), (Bos, et al., 1997), (Fernández, et al., 2004), (Goppel, et al., 2004), (Pullela, et al., 2005). In den vergangenen Jahren lag das Hauptaugenmerk bei den Inhaltsstoffen (Chung, 2000), (Noller, et al., 1989). Derzeit wird Baldrian auch auf sehr grobe Wurzelstrukturen hin selektiert, damit Linien gezüchtet werden können, die leichter zu roden und zu reinigen sind. (Penzkofer, et al., 2014)

1.1.2 Baldriananbau

Für Baldrian gibt es kein einheitliches Anbauverfahren. (Berbec, 1968), (Bomme, 2001), (Bernath, 1997), (Mheen, 1996). Im Frühjahr oder im Spätsommer, je nach klimatischen Bedingungen, wird Baldrian direkt ins Feld gesät oder er wird als Pflanzkultur angebaut. Auch eine vegetative Vermehrung über alte Wurzelstockteile ist möglich (Eisenhut, 1966). Bei der Saat oder Pflanzung in Reihe werden in der Literatur Reihenabstände von 30 cm bis 80 cm angegeben. Höhere Bestandesdichten bringen tendenziell höhere Erträge (Falk, et al., 1999), (Kleitz, et al., 2003). In Polen liegt nach BERBEC (1968) der optimale Abstand in Pflanzkultur bei 40 cm x 40 cm. In den Niederlanden wurden mit der Saatkultur gute Erfahrungen bei einem Reihenabstand von 50 cm mit einer Saatgutaufwandmenge von 3 kg/ha gemacht (Mheen, 1996). Weil die Keimfähigkeit des Baldriansamens bei Lagerung über mehrere Jahre stark abnimmt, muss sie entsprechend angepasst werden (Berbec, 1970). In Deutschland ist die ebenerdige Pflanzung von Jungpflanzen im Frühjahr das Standardverfahren. Der Anbau in Dammkultur wird immer wieder diskutiert, weil er die Ernte erleichtern soll (Bomme, 1979). Zudem soll dieser bei entsprechender maschineller Ausstattung Vorteile bei der Un-

krautregulierung bringen. Signifikante Ertragsnachteile sind nicht zu erwarten. (Bomme, 1984b)

Der feuchtigkeitsliebende Baldrian bevorzugt mittelschwere, warme, humose Böden (Bernath, 1997). Eine übermäßige Wasserversorgung kann allerdings zu einer Qualitätsminderung insbesondere beim ätherischen Öl führen (Berbec, 1965). Für den Anbau in Kultur wird er aber aus Gründen der Arbeits- und Ernteerleichterung auf sandigen siebfähigen Böden angebaut (Rangahau, 2001).

Die Ernte des Baldrians kann im ersten, aber auch im zweiten Vegetationsjahr erfolgen. Das Erntefenster ist sehr groß. Einen einheitlichen Erntetermin gibt es nicht (Perrot, 1906), (Mheen, 1997), (Bos, et al., 1998), (Bomme, 2001). „Die übliche Erntezeit des Baldrians ist in den Monaten Oktober und November des zweiten Kulturjahres, wenn das Laub abzusterben beginnt.“ (Mielke, et al., 2007)

BOMME (2001) favorisiert einen etwas früheren Erntezeitpunkt, weil dies der beste Kompromiss zwischen hohem Wurzelertrag, gewünschten Inhaltsstoffen und leichter Reinigungsfähigkeit ist. Die Ernte kann aber auch im folgenden Frühjahr erfolgen, bevor die Pflanzen austreiben. Diese führt aber zu Ertragseinbußen. (Bomme, 2001)

Die Ontogenese der quantitativen als auch der qualitativen Merkmale wird in der Literatur nicht einheitlich beschrieben. Nach VÖMEL, et al. (1984) nehmen die Wurzelmassen in der Vegetationsruhe nur geringfügig ab bzw. stagnieren. Nach MHEEN (1997) schließt das Wurzelwachstum mit den ersten Frostperioden ab und die Qualität ist ab diesem Zeitpunkt rückläufig. Eine Ernte im Frühjahr ist deshalb unnötig riskant. In den Untersuchungen von BOS, et al. (1998) hingegen sinkt der ätherische Ölgehalt zum Frühjahrserntetermin hin nur unwesentlich bzw. bleibt annähernd konstant, während der Valerensäuregehalt in den Wurzeln ansteigt. In den Untersuchungen von VÖMEL, et al. (1984) steigen sowohl der Öl- als auch der Valerensäuregehalt an.

Der gerodete Baldrian muss soweit gesäubert werden, dass der Anteil fremder Bestandteile (außer Stängelreste) 2 % nicht übersteigt (Ph.Eur., 2011). Die Reinigung erfolgt meist in Trommelwaschmaschinen und soll nicht länger als 20 Minuten dauern, damit die Inhaltsstoffe erhalten bleiben (Heindl, et al., 2010). Anschließend werden die gewaschenen Wurzeln bei Temperaturen unter 40°C schonend getrocknet (AmHP, 1999), (Ph.Eur., 2011). Das Eintrocknungsverhältnis liegt zwischen 3 bis 4 (Bomme, 2001), (Dachler, et al., 1999).

Die Verkaufspreise als auch die Erträge schwanken bei Baldrian sehr stark. In der Literatur werden Erträge von 1 t bis 9 t getrockneter Droge je Hektar genannt. (Heuberger, et al., 2012), (Bomme, 2001), (Farooqi, et al., 2001), (Bernath, 1997), (Falk, et al., 1999), (Dachler, et al., 1999), (Martin, et al., 1997), (Mheen, 1997). Der Verkaufspreis ist stark volatil (2 bis 20 USD/kg Droge) (Kleitz, et al., 2003), (KTBL, 2002). Im langjährigen Mittel können ca. 5 USD/kg Droge Erlöst werden (Rangahau, 2001).

1.2 Problemstellung

Von dem Wurzelgeflecht eingeschlossene Bodenpartikel müssen im Ernte- und Reinigungsprozess gelöst und entfernt werden, damit der Anteil von maximal zwei Prozent Fremdbestandteilen in der getrockneten Droge unterschritten wird (Ph.Eur., 2011). Ein mäßig bis gut abgetrockneter, siebfähiger Boden, der leicht von den Wurzeln rieselt, ist dabei optimal (Bomme, 1984a).

Im Herbst, zum Zeitpunkt der Ernte, sind diese Idealbedingungen allerdings häufig nicht gegeben. Nach den Erfahrungen von Praktikern neigen stark mit Erde behaftete Baldrianwurzelstöcke, wie sie unter nassen und leicht lehmigen Bodenverhältnissen vorzufinden sind, zur Murmelbildung. Hierbei formt sich aus dem Bodenmaterial und dem Wurzelstock eine Kugel. Die von den Wurzeln eingeschlossene Erde kann sich nicht aus dem Wurzel-Erde-Verbund lösen, da der Austritt durch die außen anliegenden Wurzeln verhindert wird. Selbst intensivstes Rütteln auf Siebvorrichtungen bringt nur mäßigen Erfolg, da die äußeren feinen Wurzeln den Wurzelstock wie ein Mantel einhüllen. Die eingewickelten Wurzelstöcke bzw. Murmeln neigen zudem zum Rollen auf den Transportbändern bzw. auf den Siebvorrichtungen. Die Förderwirkung geht dadurch bei zu steilem Anstellwinkel vollständig verloren. (Geilsdorf, 2010)

Wird Baldrian eng gesät oder gepflanzt, behindern zusammenhängende Wurzelstöcke oftmals den Gutfluss. Die teppichartigen Wurzelverbände bleiben im Bereich einer Umlenkung hängen oder blockieren diesen. (Schimmel, 2011)

Dem Problem von zusammenhängenden Wurzeln kann durch pflanzenbauliche Maßnahmen (weiter Pflanzabstand) begegnet werden. Im Hinblick auf hohe Erträge ist diese Lösung aber kontraproduktiv. Das Überladen der Wurzeln in Fahrtrichtung stellt augenscheinlich eine Lösung dar, verlagert aber die Probleme von zusammenhängenden Wurzeln in einen späteren Verfahrensabschnitt. Wurzelverbände lassen sich schlecht reinigen und verhaken sich oftmals in der nachfolgenden Prozesskette.

Eine Erntetechnik für Baldrian muss deshalb in der Lage sein, in einem Arbeitsgang, auch unter nicht optimalen Bodenverhältnissen und bei unterschiedlichen Anbauverfahren, ein vernünftiges Rodeergebnis mit geringen Wurzel- und Inhaltsstoffverlusten sowie mit hoher Reinigungsintensität zu erzielen.

1.3 Lösungsansatz

Der Ernteprozess wird zunächst in einzelne Arbeitsschritte unterteilt.

- Entnahme aus dem Boden
- Reinigung der Wurzeln (Zerkleinern + Trennen)
- Fördern auf einem Transportmedium

Der Entnahme des Wurzel-Erde-Gemenges aus dem Boden folgt das Fördern auf ein Transportmedium. Diesen beiden Schritten sollen die Arbeitsschritte der Reinigung, die Zerkleinerung und die Trennung des Gutes von unerwünschtem Bodenmaterial vor-, zwischen-, nach- oder überlagert werden. Für die einzelnen Schritte wird in der Mechanischen Verfahrenstechnik und der Fördertechnik nach anwendbaren Wirkprinzipien recherchiert. Basierend auf diesen werden geeignete Verfahren ausgewählt. Mögliche Verfahren, die hierbei angewendet werden können, sollen so weiterentwickelt werden, dass eine theoretische Lösung entsteht. Nur die erfolgversprechendsten Lösungsmöglichkeiten sollen jeweils weiterverfolgt werden. Sowohl für eine Erleichterung der Entscheidungsfindung bei Überlegungen, als auch bei der Auswahl des optimalen Versuchsmaterials und geeigneter Methoden werden die Ergebnisse aus diversen Versuchen verwendet.

Aufbauend auf dem Stand der Technik und den daraus resultierenden theoretischen Überlegungen wird ein neuartiges Ernte- bzw. Reinigungssystem für Baldrianwurzeln zusammengesetzt und getestet.

2 Zielstellung

Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Erntemaschine für eine schonende 1-phasige Ernte von Baldrianwurzeln. Im Gegensatz zu den derzeitig verwendeten 2-phasigen Erntemaschinen soll die Neuentwicklung ohne Handarbeit in einem Arbeitsgang die Baldrianwurzeln aus dem Boden roden und auf ein nebenherfahrendes Transportmittel übergeben. Die Rodetechnik soll in der Lage sein, sowohl gepflanzten als auch gesäten Baldrian, ebenerdig oder auch in Dammkultur, mit unterschiedlichen Reihenabständen zu roden und bestmöglich zu reinigen.

Zur Erreichung des Hauptzieles werden mehrere Nebenziele definiert, die hauptsächlich nacheinander, aber auch wegen des begrenzten Projektzeitraums parallel erarbeitet werden.

2.1 Wirkprinzipien für ein System zur Ernte von Baldrianwurzeln

Im ersten Schritt werden für die einzelnen Arbeitsabschnitte im Ernteprozess anwendbare Wirkprinzipien gesucht. Diese werden so miteinander kombiniert, dass ein theoretischer Lösungsansatz entsteht.

2.2 System- und Schwachstellenanalyse vorhandener Baldrianerntesysteme zur Definition von neuen Soll-Systemen

Das Ziel der System- und Schwachstellenanalyse ist es, Probleme vorhandener Erntemaschinen zu erfassen. Die Erkenntnisse daraus werden genutzt, den entstandenen theoretischen Lösungsansatz zu optimieren. Die Gefahr einer Fehlentwicklung soll dadurch auf ein Minimum reduziert werden.

2.3 Entwicklung einer universell einsetzbaren Aufnahmevorrichtung

Weil es für Baldrian kein einheitliches Anbauverfahren gibt, soll eine Neuentwicklung so konzipiert werden, dass damit gepflanzter, aber auch gesäter Baldrian aus dem Boden entnommen werden kann. Die Baldrianwurzel soll als Ganzes geerntet werden, damit sie ohne technische Veränderungen der nachgelagerten Prozesskette weiterverarbeitet werden kann. Teppichartige, stark zusammengewachsene Baldrianwurzeln sollen aber soweit aufgelöst bzw. vereinzelt werden, dass sie im Ernteprozess keine Blockaden verursachen. Die Aufnahmevorrichtung soll für den ebenerdigen Anbau, aber auch für die

Dammkultur geeignet sein. Ohne übermäßigen Aufwand soll diese an die verschiedenen Reihenabstände adaptiert werden können.

2.4 Entwicklung eines schonenden Reinigungssystems mit Förderwirkung

Schwerpunkt der Arbeit ist die Entwicklung eines schonenden Reinigungssystems mit Förderwirkung. Der Begriff „schonend“ ist bei der Baldrianernte sowohl durch qualitative als auch durch quantitative Merkmale definiert. Die Valerensäure und der ätherische Ölgehalt sind die entscheidenden qualitativen Merkmale, welche nicht negativ beeinflusst werden sollen. Das entscheidende quantitative Merkmal bei Baldrian ist der Wurzelertrag. Wurzelverluste sollen so gering wie möglich gehalten werden. Eine Neuentwicklung darf keine höheren Wurzelverluste bereiten als bestehende Systeme, es sei denn, dass diese Verluste durch einen anderen Vorteil, wie z.B. höhere Reinigungsintensität oder verbesserte Inhaltsstoffgehalte, mehr als kompensiert werden. Unter Berücksichtigung der beiden Inhaltsstoffgehalte und der Wurzelverluste soll die Reinigung der Wurzeln effizienter als mit der herkömmlichen Standardmethode, dem Siebband, erfolgen. Die an den Wurzeln anhaftende Erde soll bei einem neuen System weniger, die abgeseibte Erde dementsprechend mehr sein. Neben der Reinigungsleistung darf die fördernde Wirkung der Systeme nicht unberücksichtigt bleiben.

2.5 Synthese geeigneter Komponenten und Validierung dieser in der Praxis

Das finale Ziel der Arbeit ist das Zusammenstellen der geprüften Module bzw. Systeme zu einer Erntemaschine, mit der Baldrian 1-phasig geerntet werden kann. Im praktischen Einsatz soll die Validierung der Erntemaschine erfolgen.

3 Stand der Technik

Ob Handernte, teilmechanisierte oder vollmechanisierte Ernte, die Arbeitsabläufe sind bei allen Verfahren identisch. Im ersten Schritt werden die Wurzeln aus dem Boden gelöst, anschließend werden sie aufgenommen und auf ein Transportmittel abgelegt. Zwischen bzw. während dieser Schritte soll das Produkt möglichst vollständig gereinigt werden.

Im nachfolgenden Teil des Stands der Technik werden verschiedene Wirkprinzipien der Wurzelentnahme, von Fördersystemen und insbesondere Wirkprinzipien von Zerkleinerungs- und Trennverfahren, mittels derer Baldrian gereinigt werden kann, analysiert. Prinzipien, die derzeit bei der Baldrianernte Verwendung finden, werden näher erläutert.

3.1 Wirkprinzipien der Wurzelentnahme

Vor der Reinigung und Übergabe auf ein Transportmittel müssen Wurzelfrüchte aus dem Bodengefüge gelockert bzw. gelöst werden. BOMME (2001) schreibt in seiner Kulturanleitung, dass Rodegeräte für die Wurzelernte einen Tiefgang von 30 cm haben sollen. Auch ZIMMER, et al. (2004) weisen darauf hin, dass Ernteverluste bei der Wurzelernte nur durch eine entsprechende Rodetiefe und –breite vermieden werden können. Nach MHEEN (1997) ist eine Rodetiefe von 20 cm bei in Reihe angebautem Baldrian ausreichend.

Aus verfahrenstechnischer Sicht stehen für die Entnahme drei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Ziehen,
- Hebeln,
- Schneiden.

Das Prinzip des Ziehens setzt voraus, dass erstens ein gesundes Blattwerk vorhanden ist, an dem die Pflanze fixiert und herausgezogen werden kann und zweitens die Frucht ein ausgesprochen kleines oder geradliniges Wurzelwachstum (z. B. Pfahlwurzel) aufweist. Das Hebeln erfordert eine definierte Fruchtform (Keilform). (Neuhauser, et al., 2003)

Baldrianwurzeln sind heterogen und deshalb für diese beiden Wirkprinzipien nicht geeignet.

Das Ausschneiden aus dem Bodengefüge findet bei heterogenen Wurzelgefügen Anwendung. Durch einen exakten Schnitt werden die Wurzeln vom Unterboden getrennt und Wurzelverluste durch unkontrollierte Wurzelabrisse verringert. Dazu werden Scharen verwendet, welche einen entsprechenden Tiefgang erlauben. Eine gleichmäßige Einhaltung des gewünschten Tiefgangs der Scharen erfolgt durch Stützräder, Dammwalze oder über die Dreipunkt-Aufhängung des Schleppers. Bei wechselnden Bodenverhältnissen ist eine exakte Tiefenführung über die Dreipunkt-Aufhängung des Traktors unzureichend (Rödel, 2012).

Die Aufgabe der Scharen ist es, die Wurzelfrüchte gleichmäßig zu unterfahren, zusammen mit wenig Erde alle Wurzelfrüchte verlustarm aufzunehmen und Erde, Wurzeln und Beimengungen (z.B. Steine) bei der Überleitung auf die Siebeinrichtungen schon etwas zu lockern (Peters, 1982). Je nach Ausführung der Scharen kann über diese mehr oder weniger Erde abgesiebt werden (Hodge, 2013). Die Anordnung der Scharen gegenüber den nachfolgenden Siebeinrichtungen muss so erfolgen, dass die Übergabe der Erdmasse flüssig geschieht und ein Aufstauen auf der Schar vermieden wird (Milne, 2005), (Peters, 1982).

Die mitentscheidenden Faktoren, welche zu einem Aufstauen als auch zu einem seitlichen Ausbrechen des aufgenommenen Bodens führen, sind die Hubhöhe, die Scharlänge und der damit verbundene Anstellwinkel der Schar. Bei bindigem Boden und entsprechenden Seitenführungseinrichtungen können Anstiegswinkel bis 40° realisiert werden. (Karwowski, 1974)

Unter den Gesichtspunkten Energiebedarf, Materialaufwand und Bauteilbelastung liegt der optimale Scharanstellwinkel nach DELITZ (1989) bei 45° . Derart hohe Anstiegswinkel erleichtern nach KARWOWSKI (1974) nicht nur das Anbringen der nachfolgenden Reinigungs- und Transportsysteme, sondern bewirken auch ein intensives Vorlockern, das durch das Aufstauen des aufgenommenen Guts geschieht. Durch seitlich neben der Blattschar laufende Scheibenseche, welche noch vorhandenes Kraut trennen, kann ein Ausbrechen der Erde verhindert werden. Bei Muldenscharen verhindert die symmetrische Wölbung an den Seiten das Ausbrechen der Erde.

Feststehende Rodewerkzeuge bzw. passive Scharen werden nur durch die Vorfahrtsgeschwindigkeit des Zugfahrzeuges im Boden bewegt. Aktive Scharen hingegen werden zusätzlich zur Vorfahrtsgeschwindigkeit meist mittels Gelenkwelle oder hydraulischem

Antrieb bewegt. Der Abtrieb kann in eine rotierende, aber auch in eine horizontale und/oder vertikale Schwingbewegung überführt werden. Über die Schwingungsrichtung, Frequenz und Amplitude kann die Intensität der Werkzeuge beeinflusst werden. Bei horizontalen als auch vertikalen Bewegungen der Schar im Boden treten Stoßbelastungen auf, die Mensch und Maschine belasten können. Horizontale in Fahrtrichtung wirkende Schwingungen der Rodemaschine werden auf den Traktor und damit auch auf den Fahrer stärker übertragen als vertikale Schwingungen. (Neuhauser, et al., 2003)

3.2 Fördersysteme

Nach der Entnahme und Lockerung des Wurzel-Erde-Verbundes muss das Gut über ein Fördermittel zum Transportmedium gefördert werden.

In der Fördertechnik werden die zu transportierenden Güter in Stück- (z.B. schwere Einzelgüter) und Schüttgüter (z.B. Sand, Kies, Erde) unterschieden. Die Fördermittel gliedern sich in intermittierende (z.B. Kran) und stetig (z.B. Gurtförderer) fördernde Systeme auf. (Pfeifer, et al., 1995), (Wagner, et al., 2011)

Bei den letztgenannten Fördersystemen wird das Gut über einen festgelegten Förderweg von der Aufgabestelle zur Abgabestelle stetig transportiert. Bei dieser Fördergutbewegung in Stetigförderern sind die drei physikalischen Wirkprinzipien

- Reibungs- und Formschluss zwischen Gut und Aufnahmemittel,
- Kraftfeldwirkung am Gut und
- allseitige Druckfortpflanzung im Fördermedium

oder Kombinationen derer beteiligt (Scheffler, et al., 1987).

In der DIN 15201 werden die Stetigförderer (Abbildung 3) in hydraulische, pneumatische und mechanische Förderer eingeteilt. Die Mechanischen werden wiederum in Förderer mit und ohne Zugmittel unterteilt. (DIN 15201-1:1994-04)

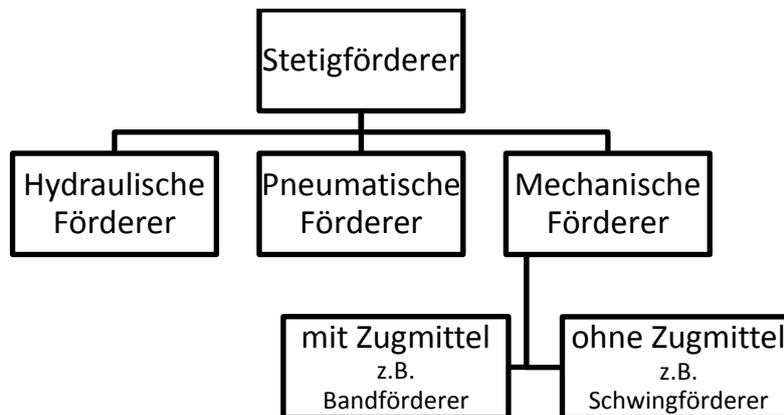


Abbildung 3: Klassifizierung der Stetigförderer nach DIN 15201-1

Durch die kontinuierliche Arbeitsweise können große Mengen in kurzer Zeit transportiert werden (Hager, et al., 2004). Auch bei der Wurzeleiternte werden Fördersysteme mit kontinuierlicher Arbeitsweise eingesetzt (Zimmer, et al., 2004).

Für die Auslegung bzw. Auswahl eines geeigneten Fördersystems sind nach der Richtlinie VDI 2322 (VDI 2322, 2014) die nachfolgenden vier Kriterien zu berücksichtigen.

- Umgebungsbedingungen,
- Fördergutkennwerte und -eigenschaften,
- Fördergeschwindigkeiten und Fördergurtbreiten,
- Trassenführung.

Gerade bei der Baldrianernte im Herbst wirken sich äußere Einflüsse (z.B. Niederschlag) auf das Fließverhalten bzw. die Rieselfähigkeit und somit auf die Förderbarkeit des Gutes aus. Die Umgebungsbedingungen beeinflussen maßgeblich die Eigenschaften des Wurzel-Erde-Verbundes und sind deshalb bei der Dimensionierung eines Fördersystems zu berücksichtigen.

3.2.1 Schüttguteigenschaften und Kenngrößen

Die Norm DIN ISO 3435 (DIN ISO 3435:1979-02) und die Richtlinie FEM 2.582 (FEM 2.582:1991-11) enthalten Angaben über diverse Schüttguteigenschaften. Bedingt durch deren Vielzahl und oftmals nicht konstante Schüttguteigenschaften existiert bis dato kein allgemeines Stoffgesetz, das zur Beschreibung des Verhaltens von Schüttgütern herangezogen werden kann. Schüttgüter nehmen eine Zwischenstellung zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten ein und zeigen sowohl im ruhenden als auch im bewegten Zustand ein unterschiedliches Verhalten gegenüber diesen. (Rakitsch, 2012)

Die Art und Eigenschaft des Fördergutes ist entscheidend für die Auswahl eines geeigneten Fördersystems. Nach GÜNTNER (2011) sind die wichtigsten Kenngrößen und Eigenschaften bei der Schüttgutförderung:

- Kornbeschaffenheit, beschrieben durch Korngröße und Kornform
- Schüttdichte
- Zusammenhalt (Kohäsion)
- Wandreibung und Adhäsion
- Eigenschaften des Fördergutes (Besonderheiten)

3.2.1.1 Kornbeschaffenheit

Die Kornbeschaffenheit eines Schüttgutes wird durch zwei kennzeichnende Eigenschaften beschrieben, nämlich durch die Korngröße und die Kornform. „Die Größe eines Kornes wird durch die größte Kante d des Quaders, in den es sich einzeichnen lässt, bestimmt.“ Über das Verhältnis (Tabelle 1) zwischen der größten und kleinsten Kornabmessung werden Schüttgüter in klassierte und unklassierte unterschieden. (VDI 2322, 2014)

Tabelle 1: Klassierte und unklassierte Schüttgüter

Klassiertes Schüttgut	Unklassiertes Schüttgut
$\frac{d_{max}}{d_{min}} \leq 2,5$	$\frac{d_{max}}{d_{min}} > 2,5$

Die Kornform (Tabelle 2) ist neben der Korngröße eine weitere kennzeichnende Eigenschaft von Schüttgütern. Die DIN ISO 3435 (DIN ISO 3435:1979-02) unterscheidet sechs Kornformen.

Tabelle 2: Unterscheidung der Kornformen

I	Scharfe Kanten mit ungefähr gleichen Ausmaßen in den drei Dimensionen (Beispiel: Würfel)
II	Scharfe Kanten, deren eine deutlich länger ist als die anderen beiden (Beispiel: Prisma, Klinge)
III	Scharfe Kanten, deren eine deutlich kleiner ist als die anderen (Beispiel: Platte, Schuppen)
IV	Runde Kanten mit ungefähr gleichen Ausmaßen in den drei Dimensionen (Beispiel: Kugel)
V	Runde Kanten, in einer Richtung deutlich größer als in den anderen beiden (Beispiel: Zylinder, Stange)
VI	Faserig, fadenförmig, lockenförmig, verschlungen

Quelle: (DIN ISO 3435:1979-02)

Wird der Wurzel-Erde-Verbund als Ganzes betrachtet, liegt ein unklassiertes Schüttgut vor, das aufgrund seiner heterogenen Beschaffenheit keiner Kornform eindeutig zugeordnet werden kann. Die Einzelkomponenten (Wurzelstöcke, Erde) hingegen sind sowohl in der Korngröße als auch der Kornform stark unterschiedlich.

3.2.1.2 Schüttdichte

Die Schüttdichte ρ_s wird aus der Masse m und dem Volumen V der Schüttgutprobe, einschließlich der durch die Luft bzw. Wasser ausgefüllten Hohlräume, berechnet.

$$\rho_s = \frac{m}{V}$$

Während die Partikeldichte ρ_p nur vom Schüttgut selbst abhängt, ist die Schüttguldichte ρ_s keine Gutkonstante, sondern eine von der Korngröße, deren Verteilung, dem Porenanteil n bzw. der Porenzahl und deren enthaltenen Füllung (z.B. Wasser und Luft), als auch vom Verfestigungszustand abhängige Größe. Beim Fördern verändert sich der

Verfestigungszustand eines Gutes, deshalb darf die Schüttgutedichte keinesfalls als konstant angesehen werden. (Rakitsch, 2012)

Über den Rauminhalt der Poren V_p wird der Porenanteil n bestimmt.

$$n = \frac{V_p}{V}$$

Die Schüttgutedichte des Wurzel-Erde-Gemisches bei Baldrian wird sehr stark schwanken. Während die Schüttdichten gesäuberter landwirtschaftlicher Produkte meist unter einer Tonne je m^3 liegen, kann eine mit Erde durchsetzte Wurzelfrucht deutlich höhere Schüttdichten (Tabelle 3) erreichen.

Tabelle 3: Schüttgutedichte von Sand in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt und Lagerungsdichte

Zustand des Sandes	Partikeldichte ρ_p in t/m^3	Porenanteil n in %	Schüttgutedichte ρ_s in t/m^3
trocken, lockerer Zustand	2,65	50	1,32
wassergesättigt, lockerer Zustand	2,65	50	1,82
trocken, dichter Zustand	2,65	35	1,72
wassergesättigt, dichter Zustand	2,65	35	2,07

Quelle: (Günthner, 2011)

3.2.1.3 Zusammenhalt (Kohäsion)

Beim inneren Zusammenhalt (Kohäsion), der das Fließverhalten von Schüttgütern beeinflusst, differenziert die DIN ISO 3435 (DIN ISO 3435:1979-02) wieder sechs Stufen (Tabelle 4). Der Böschungswinkel β stellt den Winkel zwischen der Horizontalen und der Mantellinie des kegelförmigen Haufens dar, der durch gleichmäßig langsames Aufschütten aus geringer Höhe entsteht.

Tabelle 4: Einteilung von Schüttgütern nach deren Fließverhalten und Böschungswinkel

	Fließverhalten	Böschungswinkel
1	Das Material kann in der Luft schweben und fließt wie eine Flüssigkeit	$\beta \sim 0^\circ$
2	Leicht fließendes Material	$\beta \leq 30^\circ$
3	Normal fließendes Material	$30^\circ < \beta \leq 45^\circ$
4	Schwer fließendes Material	$45^\circ < \beta \leq 60^\circ$
5	Zusammenhaftendes Material	$\beta > 60^\circ$
6	Nicht rutschendes Material, verhakend, brückenbildend, schwer zu trennen	

Quelle: (DIN ISO 3435:1979-02)

Wird die Unterlage bewegt, z.B. bei einem Fördergurt oder einer Schwingrinne, so entsteht ein viel kleinerer Winkel. Nach HOFFMANN, et al., (2005) spricht man von einem dynamischen Schüttwinkel. Dieser ist unter anderem von der Schwingfrequenz, der Schwingungsamplitude und der Rauigkeit der Unterlage abhängig. Als grobe Schätzung gilt:

$$\beta_{dyn} \sim (0,4 \text{ bis } 0,7) * \beta$$

In Tabelle 5 sind die maximalen Steigungswinkel angegeben, mit denen sich ein Gut auf einem glatten Bandförderer bei gleichmäßiger Beschickung und konstanter Geschwindigkeit fördern lässt. Bei zu steilem Anstieg beginnen Gutteile zu rutschen oder zu rollen. Große Klumpen und runde Materialien lösen sich oftmals aus dem Gutstrom heraus und rollen zurück. Durch ein nicht vollständig beladenes Band wird das Herabrollen zusätzlich begünstigt. Durch ein Beladen des Bandes bei niedrigerem Anstiegs-

winkel vor dem Anstieg oder in der Horizontalen können diese Gefahren abgemildert werden. (Colijn, 1985)

Tabelle 5: Maximale Anstiegswinkel bei der Schüttgutförderung

Material	Max. Anstiegswinkel in Grad
Erde (rieselfähig)	20
Erde (feucht)	22
Kies (sortiert, gewaschen)	12
Kies (sortiert, ungewaschen)	15
Kies (unsortiert)	18
Sand (sehr rieselfähig)	15
Sand (feucht)	20
Steine (>10 cm)	15 - 16
Steine (1 cm bis 10 cm)	16 - 18
Hackschnitzel	27

Quelle: (Colijn, 1985)

Im Wurzel-Erde-Verbund bei der Baldrianernte können all die obigen Materialien vorkommen, mit Ausnahme der Hackschnitzel. Der Wert für Hackschnitzel macht aber deutlich, dass „faseriges“ Material mit deutlich steileren Anstiegswinkeln gefördert werden könnte, insofern sich nicht große, runde Klumpen bzw. Murmeln bilden, die zum Herabrollen neigen.

3.2.1.4 Wandreibung und Adhäsion

Die Wandreibung μ_w und die Adhäsion (Klebrigkeit) c_w sind Parameter für die Größe des Widerstandes, die ein Schüttgutkörper einer Verschiebung auf seiner Stützfläche entgegensetzt. Während die Adhäsion vor allem bei feuchten Schüttgütern von geringer Korngröße auftritt, tritt bei körnigen, trockenen Schüttgütern bei einer Verschiebung nur die Wandreibung in Erscheinung. (Günthner, 2011)

Die Wandreibungszahlen von Schüttgütern (Tabelle 6) gegenüber Stahl sind geringfügig niedriger als gegenüber eines Gummigurtes.

Tabelle 6: Wandreibungszahlen einiger Schüttgüter gegen Stahl und Gummigurt

Schüttgut	μ_w gegen Stahl	μ_w gegen Gummigurt
Kies	0,60 ... 0,70	0,65 ... 0,75
Sand	0,55 ... 0,70	0,60 ... 0,75
Kalkstein	0,55 ... 0,90	0,65 ... 0,90
Eisenerz	0,60 ... 0,85	0,70 ... 0,90
Weizen	0,45 ... 0,60	0,50 ... 0,60
Erbsen	0,30 ... 0,45	0,35 ... 0,40
Mehl	0,50 ... 0,60	0,80 ... 0,85

Quelle: (Günthner, 2011)

PETERS (1982) berichtet, dass gummierte Siebstäbe unter feuchten Erntebedingungen schneller mit Erde bekleben als Metallstäbe und so die lichte Siebbandweite erniedrigen. Dies hat eine Verschlechterung der Siebleistung bei Siebkettenrodern zur Folge.

3.2.1.5 Eigenschaften des Fördergutes (Besonderheiten)

In der DIN ISO 3435 (DIN ISO 3435:1979-02) werden 11 besondere Eigenschaften des Fördergutes mit Kleinbuchstaben von n bis x gekennzeichnet. In der Tabelle 7 sind einige Eigenschaften mit Beispielen dargestellt, die in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen auch für das Wurzel-Erde-Gemisch bei der Baldrianernte zutreffen können.

Tabelle 7: Unterscheidungsmerkmale von Fördergütern

Symbol	Eigenschaften	Beispiele
o	Abrasiv (schleifend)	Koks, Quarz, Hochofenschlacke
q	Zerbrechlich	Seifenflocken
t	Staubend	Zement
u	Feucht (in Klammern den prozentualen Gewichtsanteil vom Wasser zum Gesamtgewicht angeben)	Schlamm
v	Klebrig	Feuchter Ton
w	Hygroskopisch	Gips, Kochsalz, Ammonsalpete

Quelle: (VDI 2322, 2014)

3.2.2 Dimensionierungsgrundlagen

Grundlegende Auslegungsdaten bei Stetigförderern sind die Antriebsleistung und der Fördergutstrom. (Günthner, 2011)

Der Fördergutstrom kann durch die folgenden zwei Kenngrößen beschrieben werden:

- Nennvolumenstrom I_{VN} [m³/s]
- Nennmassenstrom I_{mN} [kg/s]

Die beiden Förderströme sind über die Schüttguldichte ρ_s [kg/m³] miteinander verknüpft.

$$I_{mN} = \rho_s * I_{VN}$$

Die Fördergutgeschwindigkeit v [m/s], der Füllungsgrad φ [%] und der theoretische Füllquerschnitt A_{th} [m²] bestimmen den Nennvolumenstrom bei kontinuierlicher Förderung.

$$I_{VN} = v * \varphi * A_{th}$$

Im Bergbau werden Erze und andere stark abrasive Schüttgüter mit Geschwindigkeiten bis 3,3 m/s gefördert. Getreideförderer arbeiten mit Bandgeschwindigkeiten zwischen 1 bis 2 m/s. Schüttgüter die zur Staubentwicklung neigen, werden entsprechend langsamer transportiert. (Hager, et al., 2004) Für Siebkettengeräte, die das Gut nicht nur fördern sondern auch klassieren, liegt die optimale Siebkettengeschwindigkeit bei der Kartoffelernte zwischen 1,5 und 2,5 m/s. Sowohl eine Unterschreitung als auch eine Überschreitung dieser Geschwindigkeitsspanne kann zu einem Leistungsabfall bei der Erdabsiebung führen (Peters, 1982). Nach PETERS (1982) hat der Anstellwinkel des Siebbandes keinen Einfluss auf die Siebleistung.

Der Neigungswinkel hingegen beeinflusst den effektiven Füllungsgrad φ eines Förderers. Des Weiteren ist der effektive Füllungsgrad eine von den Eigenschaften des Förderguts und den Betriebsverhältnissen des Gurtförderers (Gleichmäßigkeit der Gutauf-

gabe, Geradelauf des Gurts, Vorhaltung einer bestimmten Reservekapazität) bestimmte Größe. Wird das Gut gleichmäßig aufgegeben und läuft der Gurt geradeaus, so kann der Füllquerschnitt A_{th} bei horizontal und geradlinig verlaufenden Gurtförderern voll ausgenutzt werden, das heißt $\varphi = 1$. (DIN 22101:2011-12)

Die DIN 15201 unterscheidet zwischen der flachen und der gemuldeten Gurtführung (Abbildung 4) bei Gurtförderern.

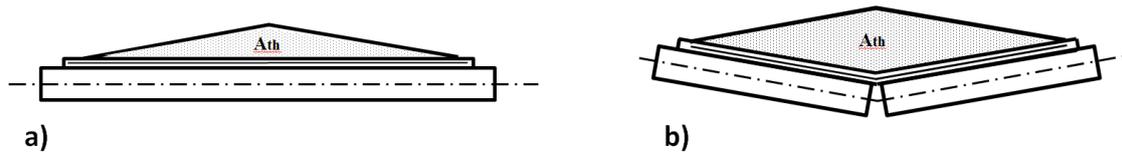


Abbildung 4: Flache (a) und gemuldeten (b) Gurtführung

Flachgurte werden vorzugsweise bei kleinen Anlagen und zur Förderung von Stückgut verwendet (Hoffmann, et al., 2004).

Mit zunehmender Gurtbreite (Tabelle 8) können nicht nur höhere Fördergeschwindigkeiten realisiert werden, sondern auch grobstückigere Materialien gefördert werden.

Tabelle 8: Abhängigkeit der Fördergeschwindigkeit von Schüttguteigenschaften, Einsatzbedingungen und Gurtbreite

	Übliche Fördergeschwindigkeit v bei horizontaler Förderung ^{a)} in m/s				
	0,5	1	2	4	8
Schüttgutbeispiel	Phosphat, Zement Kreide, Gips, Koks	Getreide, Kunstdünger	Kalkstein, Sand, Erz, Nassasche	Steinkohle Salz, Bauxit	Braunkohle Abraum
Schüttguteigenschaft ^{b)}	staubend	bruchempfindlich	vorwiegend grobstückig	schleißend	gemischtkörnig
Einsatzbedingung	besondere verfahrenstechnische Erfordernisse	schonende Förderung	großer Schüttgutstrom, große Achsabstände	sehr großer Schüttgutstrom	
Gurtbreite in mm	400 – 650 – 1000	1200 – 1400 – 1600	1800 – 2400 – 3200		
^{a)} Für geneigte Förderungen gelten im Regelfall niedrigere Geschwindigkeiten ^{b)} Empfehlungen im Hinblick auf maximale Schonung von Förderer, Fördergut und Umwelt.					

Quelle: (VDI 2322, 2014)

Nach COLIJN (1985) sollte die maximale Korngröße des Grobgutes 1/3 der Gurtbreite nicht übersteigen bei einem Fördermaterial, das nicht mehr als 10 % Grobgut enthält.

Wird ausschließlich Grobgut gefördert, so empfiehlt er eine maximale Korngröße von nur 1/5 der Gurtbreite.

Nach DIN 22101 (DIN 22101:2011-12) ergibt sich die Antriebsleistung P_W [W] an der Welle einer Band-Antriebstrommel aus dem Produkt der Umfangskraft F_W [N] an der Antriebstrommel und der Fördergeschwindigkeit v [m/s].

$$P_W = F_W * v$$

Die Umfangskraft F_W setzt sich aus der Summe der Bewegungswiderstände zusammen.

$$F_W = F_H + F_N + F_{ST} + F_S$$

F_H : Hauptwiderstände (z.B. Laufwiderstand der Tragrollen, Walkwiderstand)

F_N : Nebenwiderstände (z.B. Widerstand an den Trommeln)

F_{ST} : Steigungswiderstände (z.B. Widerstand zur Überwindung einer Förderhöhe)

F_S : Sonderwiderstände (z.B. Reibungswiderstand zw. Fördergut und Führungsleisten)

Mit dem die mechanischen Verluste zwischen Motorwelle und Antriebstrommel berücksichtigenden Wirkungsgrad η_{ges} kann die erforderliche Motorleistung $P_{M,erf}$ bestimmt werden. (VDI 2322, 2014)

$$P_{M,erf} = \frac{P_W}{\eta_{ges}}$$

Bei der Rodung von Wurzelgemüse mit Vorratsrodern sind nach LABOWSKY (1983) Schlepperleistungen von 10 KW bis 30 KW erforderlich. In der Landwirtschaft stehen mittlerweile Traktoren mit einem Vielfachen der oben aufgeführten Leistungen zur Verfügung. Die für das Betreiben einer gezogenen Erntemaschine erforderliche Leistung kann deshalb nach der Entwicklung dem Bedarf angepasst werden.

3.3 Mechanische Verfahrenstechnik

In der Mechanischen Verfahrenstechnik wird die Wandlung stofflicher Systeme durch vorwiegend mechanische Einwirkungen behandelt. Im Gegensatz zur chemischen und thermischen Verfahrenstechnik, deren Elemente molekulardispers und kolloiddispers sind, umfasst sie den grobdispersen Bereich (0,1 μm bis 1 m). In der Realität kommen die verschiedenen Verfahren selten einzeln vor. (Löffler, et al., 1992)

Bei der Stoffumwandlung durch mechanische Einwirkungen wird zwischen Verfahren mit und ohne Änderung der Partikelgröße unterschieden. Zur Gruppe mit Änderung gehört das Trennverfahren „Zerkleinern“. Zur Gruppe ohne Änderung das Verfahren „Trennen“ (z.B. Sortieren, Klassieren, Abscheiden, Filtrieren). (Kwade, et al., 2011)

Auch durch chemische Reaktionen können die physikalischen Eigenschaften von Stoffen verändert werden (Hellebrand, et al., 1998). Eine Trennung als Folge von chemischen Reaktionen wird bei Baldrian nicht angewendet, weil der Einsatz von chemischen Zusätzen bei Lebensmitteln bzw. Drogen bedenklich ist. Zudem sollen in dieser Arbeit ausschließlich Reinigungssysteme entwickelt werden, die ohne Zusätze jeglicher Art auskommen.

Mit thermischen Verfahren (z.B. Trocknen im Schwad am Feld) kann die Löslichkeit zwischen Stoffen erhöht werden (Hennings, 2010). Die Kohäsion und Adhäsion verringert sich, weil die Oberflächenspannung des Wassers bei einer Erhöhung der Temperatur sinkt (Hellebrand, et al., 1998). Dieses Verfahren wird auch bei der Baldrianernte angewandt und deshalb noch ausführlicher untersucht werden.

Nachfolgend wird das Zerkleinern näher betrachtet, weil dieses Verfahren in der Regel dem eigentlichen Trennverfahren vorgeschaltet ist und auch bei der Reinigung von Baldrianwurzeln aus dem Wurzel-Erde-Verbund von Bedeutung ist.

3.3.1 Zerkleinerung

Beim Zerkleinern wird das Aufgabegut bzw. ein Feststoffgefüge durch Wirkung von mechanischen Kräften in ein Kollektiv von mehreren kleineren Teilen überführt. Durch das Zerkleinern können die Eigenschaften von Feststoffen (z.B. Schüttdichte, Fließverhalten, etc.) verändert werden. Oftmals dient das Zerkleinern zur Vorbereitung anschließender Trennvorgänge. (Bilitewski, et al., 1994), (Pahl, 1991)

In der Vergangenheit wurde eine große Anzahl diverser Zerkleinerungsmaschinen für unterschiedliche Zerkleinerungsaufgaben und Aufgabeprodukte entwickelt (Taggart,

1964), (Lowrison, 1974), (Prasher, 1987), (Beke, 1981). Nach RUMPF (1965) lassen sich sämtliche Beanspruchungen (Abbildung 5), die zur Zerkleinerung von Partikeln führen, in vier Arten unterteilen.

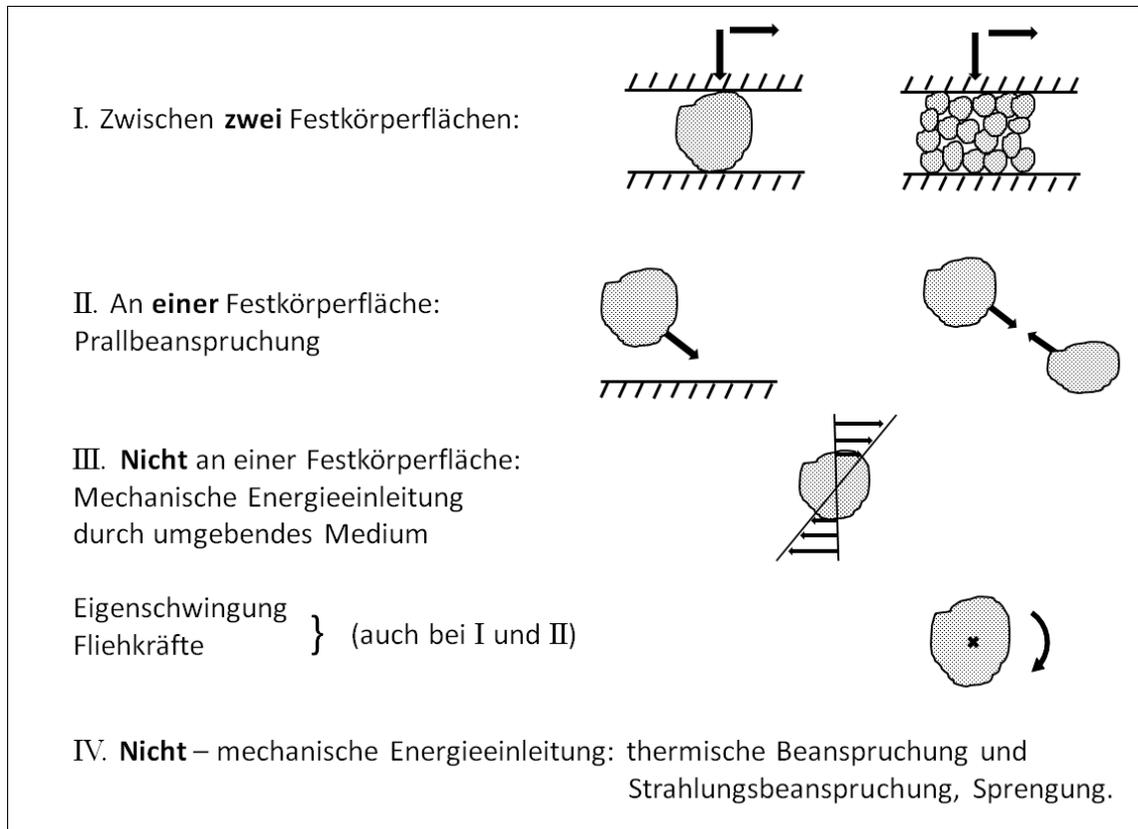


Abbildung 5: Beanspruchungsmechanismen der Zerkleinerung nach RUMPF (1965)

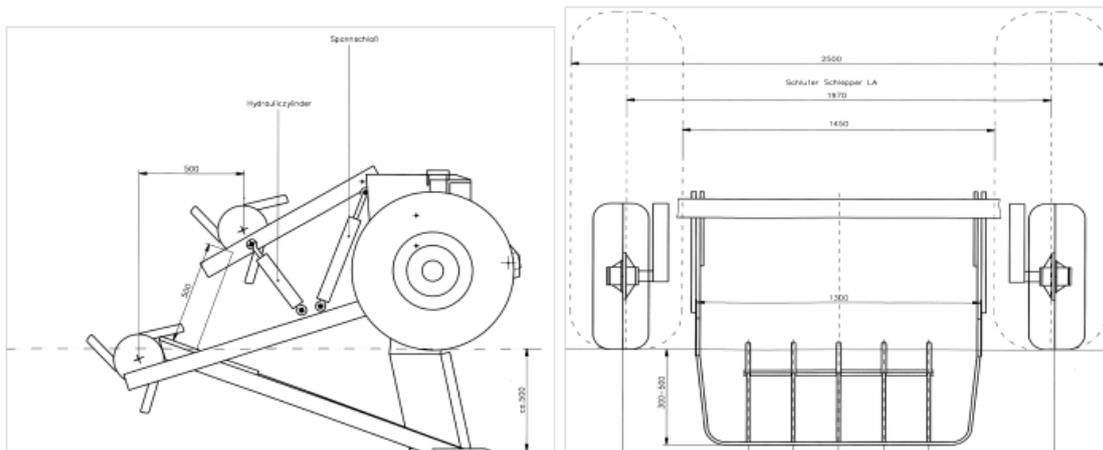
Die zur Zerkleinerung erforderliche Kraft und Energie wird bei den ersten beiden Beanspruchungsmechanismen über Festkörperflächen herangeführt. Bei der Prallbeanspruchung (Mechanismus II) an einer Festkörperfläche kann im Gegensatz zum Mechanismus I die Beanspruchungsintensität und Beanspruchungsgeschwindigkeit nicht unabhängig voneinander eingestellt werden, weil die zugeführte Energie von der Bewegung der beanspruchten Teilchen selbst abhängt. Beim Mechanismus I dagegen ist dies beispielsweise durch die aufgeprägte Bewegung zweier Druckflächen möglich. Nach RUMPF (1965) liegt deshalb die Prallbeanspruchungsgeschwindigkeit meist eine Größenordnung über den angewandten Geschwindigkeiten des Mechanismus I. Bei den Mechanismen III und IV geht die Beanspruchung nicht von einer Festkörperoberfläche

aus. Werden die Teilchen beispielsweise in Rotation oder Eigenschwingung versetzt, so erfolgt die Beanspruchung über die eigenen Massen. (Rumpf, 1965)

Die Beanspruchungen, die sich durch ein umgebendes Medium ausüben lassen, sind verhältnismäßig gering und reichen meist nur aus, Materialverbände mit geringer Festigkeit zu zerstören (Löffler, et al., 1992). Harte und spröde Stoffe werden am wirkungsvollsten durch Druck und Prallbeanspruchung zerteilt, gummielastische, zähe und faserige Stoffe durch Scher- und Schneidbeanspruchung. Bei den faserigen Stoffen (z.B. Wurzeln) hängt das Zerkleinerungsverhalten weitgehend von der Beanspruchungsrichtung ab. Diese zerfallen meist in Faserbündel oder Einzelfasern. Heterogene Stoffe mit unterschiedlichem Zerkleinerungsverhalten können vielfach durch selektives Zerkleinern und anschließender Trennung in ihre Bestandteile zerlegt werden. (Pahl, 1991)

Nach der Partikelgröße des Fertigguts werden Zerkleinerungsmaschinen in Mühlen (< 1 mm) und Brecher (> einige mm) unterschieden. Walzenbrecher, ausgestattet mit Zahnwalzen, können bei unterschiedlichsten Stoffgruppen eingesetzt werden. (Ulrich, 1967)

Das Schema des mit zwei Reißtrommeln ausgestatteten Enzianrodgers (Abbildung 6) beispielsweise, das bei der Entwicklung einer Erntemaschine für Baldrian wertvoll war, entspricht dem Prinzip eines Walzenbrechers.



Quelle: Landtechnik-Weihenstephan, 2000

Abbildung 6: Schema eines Enzianrodgers mit Reißtrommeln (Walzenbrecher)

Durch ein Beet-Unterschneidmesser mit langen Hebezinken wird das Produkt aus dem Boden geschnitten, gelockert, gesiebt und nach oben geführt. Durch zwei mit Zinken ausgestattete rotierende Trommeln werden einzelne Enzianwurzeln aus dem Wurzel-

Erde-Verbund herausgerissen bzw. -gebrochen und auf dem Boden abgelegt. Der Abstand zwischen den beiden Reißtrommeln ist variabel und kann so an die Mächtigkeit des Gutbettes angepasst werden.

Mit Durchsatzleistungen bis zu 1200 t/h gehören Walzenbrecher zu den leistungsstärksten und effektivsten Zerkleinerungsmaschinen (Ulrich, 1967). Die Zerkleinerung erfolgt durch Druck-, Scher- und Schlagbeanspruchung zwischen zwei Festkörperflächen. Während die Druckbeanspruchung überwiegend durch die Walzen mit relativ niedrigen Beanspruchungsgeschwindigkeiten ausgeübt wird, erfolgt die Schlagbeanspruchung mit höheren Geschwindigkeiten, wenn die Zähne (bzw. Nocken oder Stacheln) auf das zu zerkleinernde Gut treffen. Eine Beanspruchung durch Scherung kann auftreten, wenn das Gut zwischen zwei Arbeitsflächen liegt und diese eine Relativbewegung zueinander ausführen. (Schubert, et al., 1990)

Durch die Zähne werden die Einzugsbedingungen der sich gegensinnig drehenden Walzen verbessert (Kwade, et al., 2011). Nach LÖFFLER (1992) ist die Zerkleinerungswirkung bei der Druckbeanspruchung im Grobbereich stärker, im Feinbereich schwächer als jene der Prallbeanspruchung. Bei der Druckzerkleinerung im Gutbett ist es energetisch günstiger, die zerkleinerten Teile möglichst schnell auszuscheiden, weil mit steigendem Feinanteil der Bruchanteil der größeren Teile reduziert wird und somit der Wirkungsgrad sinkt (Hoffmann, et al., 1976).

Mit den halbempirischen Näherungsgleichungen von RITTINGER (1867), KICK (1885) und BOND (1952), die als Zerkleinerungsgesetze bezeichnet werden, wurde versucht einen Zusammenhang zwischen Zerkleinerungsergebnis und –arbeit herzustellen. Diese bauen auf groben Vereinfachungen auf. Für jedes Gut muss bei diesen experimentell ein Proportionalitätsfaktor ermittelt werden und die Gleichungen haben nur in bestimmten Korngrößenbereichen ihre Gültigkeit. (Bungert, 2010), (Bond, 1952), (Kick, 1885), (Rittinger, 1867)

Eine theoretisch umfassende Beschreibung des Zerkleinerungsverhaltens von Partikeln ist wegen der vielen Einflussfaktoren schwierig (Rumpf, 1965), die von Partikelkollektiven ist noch komplizierter (Löffler, et al., 1992), (Kwade, et al., 2011). Aus diesem Grund ist nach KWADE, et al. (2011) neben der bruchphysikalischen Betrachtung idealer Partikel, eine phänomenologische Betrachtung der Zerkleinerung notwendig, an die sich die Optimierung von technischen Zerkleinerungsmaschinen anschließt.

Durch den Vergleich von Aufgabegut und zerkleinertem Gut kann das Ergebnis der Zerkleinerung beurteilt werden. Als Kennzahl hat sich der Zerkleinerungsgrad Z bewährt, für den es unterschiedliche Definitionen gibt. Aus dem Verhältnis zwischen dem größten Korndurchmesser im Aufgabegut d_{maxA} und im zerkleinerten Gut d_{maxZ} kann dieser beispielsweise errechnet werden.

$$Z = \frac{d_{maxA}}{d_{maxZ}}$$

Ist z.B. der Korndurchmesser im Aufgabegut nicht bekannt oder einfach zu bestimmen, wird für die Beurteilung des Zerkleinerungsergebnisses nur das zerkleinerte Gut verwendet. Wird die Teilchengröße d_s mit einem Sieb bestimmt, so kann zweckmäßigerweise die lichte Maschenweite L des Prüfsiebes, durch das das Gut gerade noch hindurchfällt, für die Größenmessung herangezogen werden.

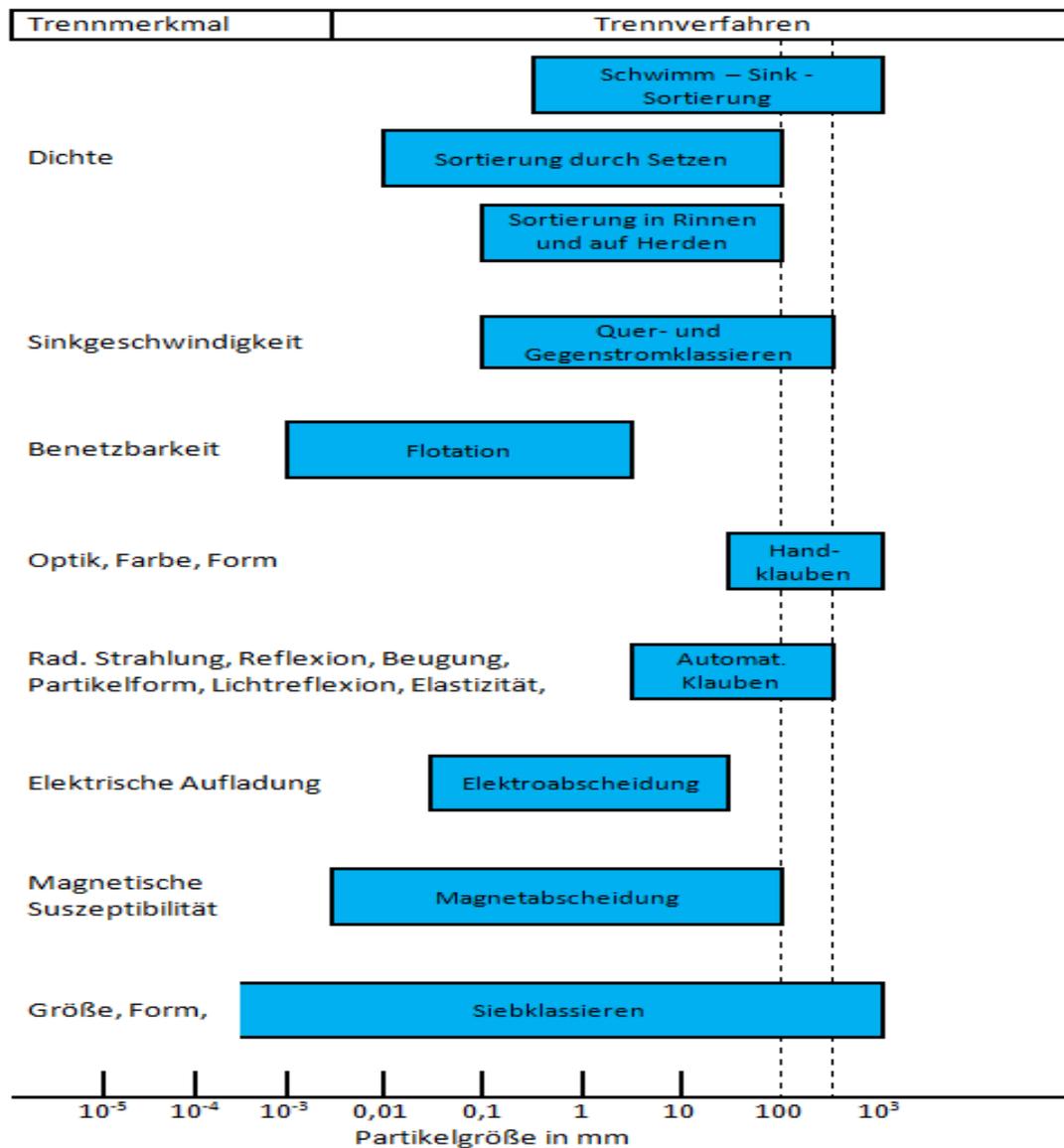
$$d_s = L$$

Bei der Baldrianernte müssen die einzelnen Bestandteile des Aufgabeguts mit Ausnahme der Wurzelstöcke in eine solche Korngröße aufgebrochen werden, bei der sich diese möglichst vollständig voneinander lösen lassen. Eine Zerkleinerung der einzelnen Wurzelstöcke darf aber nicht erfolgen, weil die nachfolgenden Verarbeitungsprozesse derzeit nur für diese als Ganzes ausgelegt sind. Wurzelverbände hingegen müssen aufgelöst werden, weil diese den Prozess stören.

3.3.2 Trennprozesse

Bei der Baldrianernte müssen die Wurzeln von der bis zu 1000-fachen Erdmenge abgetrennt werden. „Mit Hilfe eines Trennprozesses wird ein Ausgangsstoff, der ein Komponenten- bzw. Phasengemisch darstellt, durch Ausnutzung einer charakteristischen Trenneigenschaft (Trennmerkmal) in mindestens zwei Produkte zerlegt, die sich hinsichtlich der Komponenten- bzw. Phasenzusammensetzung unterscheiden.“ (Schubert, et al., 1990)

Die in Anlehnung an TOMAS (2012) erstellte Abbildung 7 gibt einen Überblick über diverse Trennverfahren, die bei den einzelnen Trennmerkmalen angewendet werden können. Der Durchmesser der Baldrianwurzeln kann zwischen 10 cm und 50 cm variieren. Nicht alle Trennverfahren sind für diese Partikelgrößen geeignet und scheiden deshalb als Trennverfahren für die Separierung von Wurzeln und Erde schon vorab aus.



Quelle: nach (Tomas, 2012)

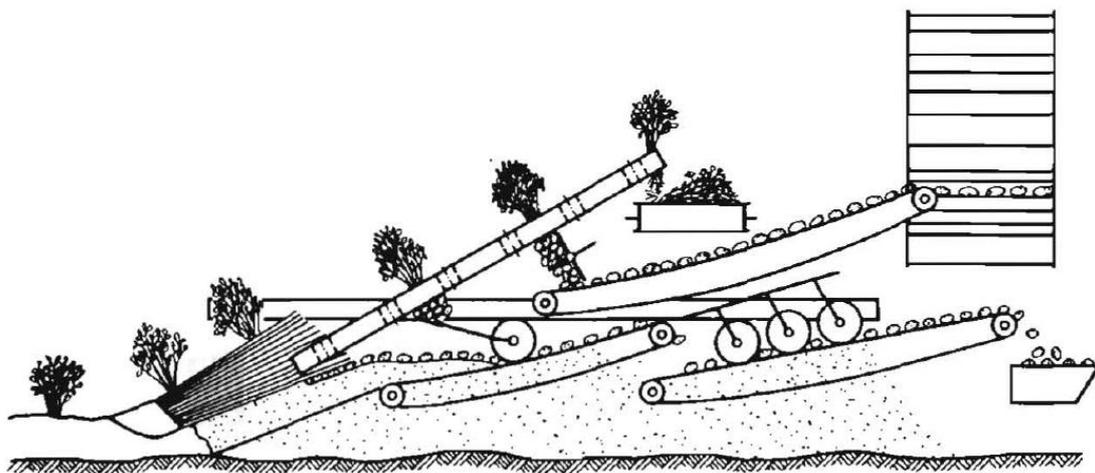
Abbildung 7: Trennverfahren

Das zu separierende Gut muss möglichst frei von oberflächlich haftenden Überzügen sein, damit es für das Klaubern geeignet ist. Neben ausgeprägten Unterschieden in den optischen Eigenschaften kann zusätzlich auch die gefühlsmäßige Einschätzung der

Dichte beim Handklauben eine Rolle spielen. (Schubert, 1978) In Erde eingebettete bzw. mit dem Boden verwachsene Wurzeln sind weder frei von Überzügen noch unterscheiden sie sich wesentlich in der Dichte vom Bodenmaterial. Sowohl das Handklauben, das zudem wegen seiner geringen Produktivität hohe Kosten verursacht, als auch eine Separierung über die Dichte sind als alleinige Trennverfahren ungeeignet und werden deshalb im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt.

Im Gegensatz zum Handklauben, bei dem das Trennmerkmal vom Personal geschätzt wird und daraufhin das Auslenken meist manuell erfolgt, wird beim automatischen Klauben das Gut an einer Messvorrichtung vorbeigeführt und entsprechend erfolgt eine automatische Auslenkung (z.B. mechanisch, pneumatisch). Grundvoraussetzung ist auch hier, dass das Gut vereinzelt vorliegt und durch ein Merkmal unterschieden werden kann. (Kellerwessel, 1991), (Schubert, 1978)

Ein „herausragendes“ Merkmal ist das Baldriankraut. Angesichts der großen Erdmenge von der die Baldrianwurzeln befreit werden müssen, liegt es nahe, das unterirdische Erntegut an seinen oberirdischen Bestandteilen analog zur Handernte zu fixieren, mit unterstützenden Hebevorrichtungen (Abbildung 8) aus der Erde zu ziehen und auszuschütteln.



Quelle: Baganz

Abbildung 8: Staudenzieh-Sammelroder nach Martschenkow-Burjakow

Dieses Verfahren des Herausziehens wurde in Versuchen bei der Kartoffelernte mit geringem Erfolg angewendet. Weil sich nur ein Teil des Ernteguts aus dem Boden ziehen ließ, wurden die Raufernteaggregate (Klemmbänder) einer sowjetischen Versuchs-

erntemaschine zusätzlich mit herkömmlichen Rodesystemen für die im Boden verbliebenen Knollen ausgestattet. (Baganz, 1960)

Ob die Krautstabilität der frostharten Baldrianpflanze für die Ernte mit einem Klemmbandroder ausreichend ist, ist unklar.

Die im Boden liegenden Knollen wurden über Siebbänder vom Erdstrom getrennt. Als charakteristisches Merkmal diente die Kornbeschaffenheit, insbesondere die Korngröße. Das Siebklassieren wird in der Landwirtschaft bei Kartoffeln und Wurzelfrüchten mit Erfolg angewendet. Bei der maschinellen Baldrianernte findet derzeit ausschließlich das Trennverfahren „Siebklassieren“ Anwendung (Zimmer, et al., 2004).

„Dieses Prinzip beruht auf dem Größenunterschied der zu erntenden Frucht und den Bodenpartikeln. Es setzt also voraus, dass der Boden in kleine Partikel zerfällt und somit „siebfähig“ wird. Dies ist nur bei mäßig feuchten Böden mit maximal mittlerem Tongehalt der Fall. Außerdem können extrem trockene Böden zu einer starken Klutenbildung neigen. Diese Kluten können sehr hart und damit kaum zerstörbar sein. Zu feuchte Böden neigen ebenfalls zu einer Klutenbildung. Im Gegensatz zu trockenen Kluten sind diese sehr weich und „verkleben“ sehr leicht. Daher fordern diese Böden eine aggressive Maschineneinstellung, damit sich die Siebflächen nicht zusetzen, wobei dann jedoch eine Beschädigung des Erntegutes nicht auszuschließen ist.“ (Neuhauser, et al., 2003)

Das Siebklassieren kann über ein sehr breites Kornspektrum angewendet werden (Tomas, 2012). Über die Partikelgröße als Trennmerkmal ist eine Unterscheidung von siebfähigem Boden und Baldrianwurzelstöcken möglich. Beide Komponenten liegen in einem für dieses Trennverfahren günstigen Größenbereich. Nach SCHUBERT (1968) wird die Siebklassierung industriell für Trennkorngrößen >1 mm angewendet. Bei der Stromklassierung hingegen liegt die obere Grenze für die technische Anwendung bei etwa 4 mm. Als Trennmerkmal wird hierbei die Sinkgeschwindigkeit in flüssigen oder gasförmigen Medien ausgenutzt. Diese wird von diversen Faktoren (z.B. Mediumdichte, Viskosität, Korndichte, Korngröße, Kornform) beeinflusst (Kellerwessel, 1991). Auf Grund der Größe und der schwankenden Dichte der mit Erde behafteten Wurzelstöcke ist die Stromklassierung für die Separierung wenig Erfolg versprechend. In der fortführenden Arbeit werden nur noch die Trennverfahren automatisches Klauben durch Herausziehen mit anschließendem Ausschütteln und die Siebklassierung weiter verfolgt.

3.3.3 Kennzeichnung des Trennerfolgs

Die Wirksamkeit eines Trennverfahrens ist in der Verfahrenstechnik durch den Trenngrad gekennzeichnet (Schwister, 2007). In der DIN 66160 (DIN 66160, 1992) ist die Trennung als Zerlegung einer Gutmenge in wenigstens zwei Teilmengen definiert, wobei sich die Verteilungen der betrachteten Merkmale unterscheiden. Die Trennung nach Feinheitsmerkmalen Partikelgröße oder Sinkgeschwindigkeit ist eine Klassierung. Das einer Trennvorrichtung zugeführte Gut ist das Aufgabegut m_A . Dieses wird bei einer Klassierung in feines (Feingut m_F) und grobes (Grobgut m_G) Austragsgut getrennt.

Bei einer Zweigut-Klassierung ergibt sich folgende Massenbilanz:

$$m_A = m_F + m_G$$

Mit Hilfe des Grobgutmengenanteils g im Aufgabegut

$$g = \frac{m_G}{m_A}$$

und den Verteilungsfunktionen von Aufgabegut $q_A(x)$ und Grobgut $q_G(x)$ kann der Trenngrad T an einer beliebigen Stelle auf der X-Achse berechnet werden.

$$T(x) = \frac{g * q_G(x)}{q_A(x)}$$

Die Steigung der Trennfunktion bzw. Trennkurve wird in der Verfahrenstechnik als Maß für die Trennschärfe eines Klassierers verwendet. (Schubert, et al., 1990), (Schwister, 2007), (DIN 66160, 1992)

Ein ebenfalls in der Praxis verwendetes Maß für die Schärfe einer Trennung ist der Siebgütegrad.

$$\eta_S = \frac{m_F}{m_A}$$

Dieser wird durch das Verhältnis der Feinkornanteile im Siebdurchgang und im Aufgabegut ausgedrückt. (Bilitewski, et al., 1994), (Schwister, 2007)

3.3.4 Trennung aufgrund der Partikelgröße (Siebklassieren)

Beim Siebklassieren (Abbildung 9) passiert das im Aufgabegut (Siebgut) vorhandene Feingut eine Öffnung, an der das Grobgut zurückgehalten wird.

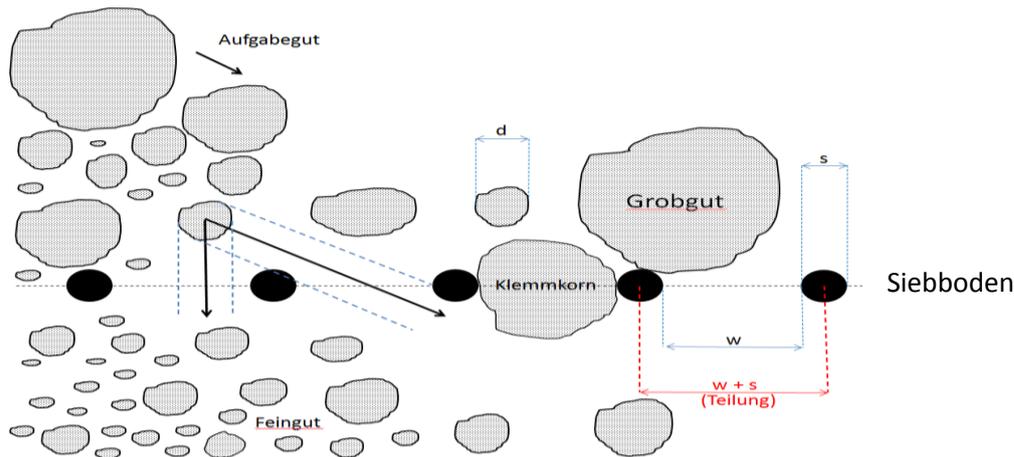


Abbildung 9: Wirkprinzip des Siebklassierens

Damit das Wirkprinzip zur Anwendung kommen kann, muss dem geometrisch kleineren Korn Gelegenheit gegeben werden sich unmittelbar über der Öffnung einzuordnen. Zudem bedarf es einer ausreichend großen Kraft (z.B. Schwerkraft, Flieh-, Trägheits-, Stoß-, Widerstands-), die das Feingut durch die Öffnung fördert.

Nach SCHUBERT (1990) kann die Wahrscheinlichkeit W für ungehindertes Passieren eines idealen runden Kornes mit dem Durchmesser d bei senkrechtem Auftreffen auf eine quadratische Sieböffnung mit der Weite w über die Formel

$$W = (w - d/w + s)^2$$

errechnet werden. Die Wahrscheinlichkeit für ungehindertes Passieren hängt von der offenen Fläche eines Siebbodens und der relativen Größe des Kornes zur Sieböffnungsweite (d/w) ab. Die offene Fläche hängt vom Verhältnis der Sieböffnungsweite w und dem dazwischenliegenden Abstand s (z.B. Siebstabdurchmesser) ab. Körner deren Größen der Öffnungsweite benachbart sind (Grenzkorn) bereiten beim Absieben oftmals Schwierigkeiten. Treffen Partikel nicht senkrecht sondern schräg auf den Siebboden auf,

verringert sich die Wahrscheinlichkeit des ungehinderten Durchgangs. Diese müssen deshalb möglichst oft in verschiedenen Lagen mit den Sieböffnungen verglichen werden. Die feinen Partikel müssen zum Siebboden gelangen. Dicke mehrlagige Gutschichten, welche sich insbesondere im Aufgabebereich eines Siebes bilden, sind zu vermeiden. Dies kann durch Auflockern und/oder Umwälzen des Aufgabegutes über dem Siebboden unterstützt werden. Grenzkorn im Korngrößenklassenbereich von 0,8 bis 1,4 (d/w) verklemmt (Klemmkorn) sich oftmals im Siebboden und blockiert so den Durchgang für das Feingut. Durch zusätzliche Reinigungssysteme aber auch durch die Art und die Bewegung des Siebbodens lassen sich die Blockaden lösen bzw. verringern. (Schubert, et al., 1990)

Bei einer kontinuierlichen Siebung verarmt das Gemenge an Feingut beim Transport über den Siebboden. Feinkorn, das sehr viel kleiner als die Sieböffnung ist, wird mit hoher Wahrscheinlichkeit schon zu Beginn einer Klassierung ausgesiebt, gröberes hingegen verweilt wesentlich länger auf dem Sieb und ist schwieriger auszusieben. Die Größe eines Siebklassierers ist so zu wählen, dass am Ende des Klassierprozesses alle Körner des Überlaufmassenstroms nebeneinander Platz finden. (Schwister, 2007)

Der Sieberfolg kann über eine Vielzahl an Parameter beeinflusst werden. Nach SCHMIDT (1984) gibt es ca. 3,5 Mrd. verschiedene Kombinationsmöglichkeiten. Während SCHMID (1984) den Siebprozess nach deren Zweck bzw. nach Art der Siebaufgabe (Schutzsiebung, Klassierung und Entstaubung) untergliedert, werden Produktionssiebe in der Literatur (Abbildung 10) überwiegend nach der Sieb- bzw. Siebgutbewegung als auch nach der Gestaltung der Arbeitsfläche in Siebböden und Roste unterteilt.

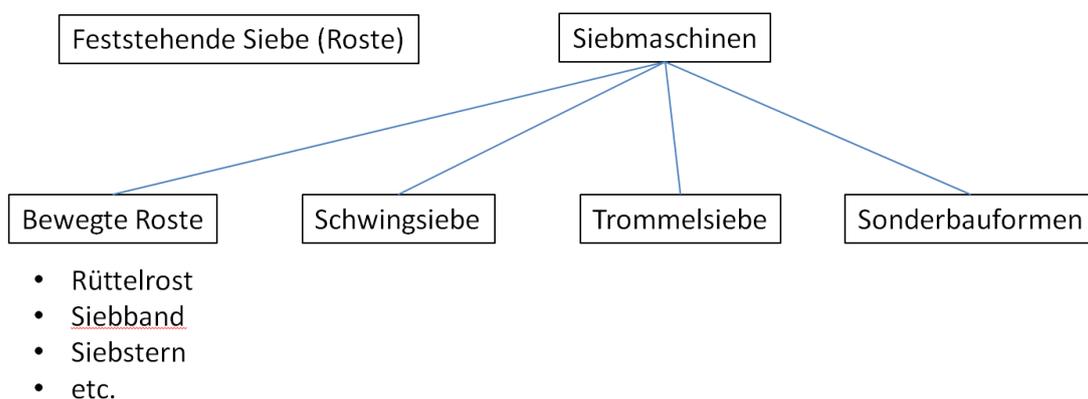


Abbildung 10: Bauformen von Produktionssieben

Feste Roste oder Siebe werden für einfache Siebaufgaben im Grob- und Mittelkornbereich eingesetzt. Der Guttransport über die Siebvorrichtung wird hierbei durch die Schwerkraft bewirkt. Das Sieb muss deshalb entsprechend geneigt sein. Bei den Siebmaschinen hingegen wird das Grobgut durch die Bewegung der Siebvorrichtung gelockert und gefördert.

Die Auswahl einer geeigneten Siebvorrichtung für einen bestimmten Zweck ist bei der Vielzahl an Parametern und Kombinationsmöglichkeiten eine Herausforderung. Roste sind für Siebaufgaben zu bevorzugen, bei denen nur ein geringer Anteil (max. 5 %) an Grobgut, das sehr viel größer als das Feingut ist, aus dem Aufgabegut herausgesiebt werden soll. (Tomas, 2012), (Taggart, 1964). Als Roste (Abbildung 11) werden Geräte bezeichnet, die im Grobkornbereich eingesetzt werden und deren Siebfläche überwiegend aus parallel angeordneten stabförmigen Elementen (z.B. Siebketten bzw. -bänder) bestehen (Kellerwessel, 1991).

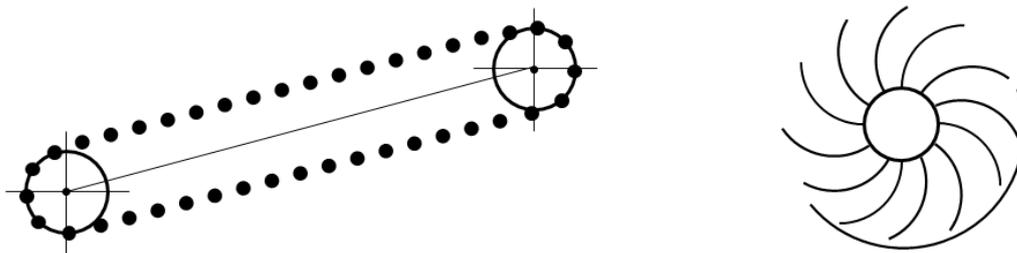


Abbildung 11: Fördernde Roste (links Siebband, rechts Siebsterne)

Der Übergang zwischen Grob- und Feinkornbereich ist fließend. Nach TAGGART (1964) beschränkt sich der wirtschaftliche Einsatz von Rosten auf den Grobkornbereich mit Öffnungsweiten über 3,5 cm. Siebbänder arbeiten schonender und sind für das Absieben von loser Erde gegenüber den Siebsternen zu bevorzugen (Karwowski, 1974). Beim Siebsterne können die Lösungsvorgänge über die Drehzahl und die Ausgestaltung des Rostes intensiviert werden (Ropa, 2008). Mit einer Erhöhung der Drehzahl nehmen gleichzeitig die Beschädigungen des Ernteguts zu (Kromer, et al., 1997).

Durch fördernde Roste kann das Gut im Gegensatz zu den übrigen Siebmaschinen nicht nur bei abwärts geneigtem und horizontal bis leicht ansteigendem Siebboden zum Überlauf hin bewegt werden, sondern auch bei stark ansteigendem Rost. Soll das Gut klassiert und gleichzeitig nach oben gefördert werden, so sind Roste mit fördernder Wir-

kung gegenüber den übrigen Siebmaschinen zu bevorzugen. Die höchsten Neigungswinkel von bis zu 50° lassen sich je nach Konstruktion mit Siebbändern erreichen. Soll faseriges Material (z.B. Blattreste) ausgeschieden werden, so sind hierfür Roste mit sich drehenden Wendelwalzen (Abbildung 12) besser geeignet als die beiden oben beschriebenen Rostarten (Siebband und Siebstern). (Karwowski, 1974)



Abbildung 12: Rost mit Wendelwalzen in der Aufnahmevorrichtung eines Rübensvollernters

3.4 Erntetechnik

Es gibt nur wenige Spezialmaschinen für die Ernte von Wurzelrogen. Es muss deshalb auf Maschinen aus dem Bereich des Kartoffelanbaues, des Wurzelgemüsebaues und des Baumschulwesens zurückgegriffen werden (Zimmer, et al., 2004).

Für die Ernte werden Schwingsieb-, Siebketten- oder Rüttelscharvorratsroder verwendet (Bomme, 2001).

Mit Schwingsiebrodern können bei der Wurzelernte Flächenleistungen von 0,1 bis 0,2 ha je Stunde erreicht werden. Siebkettenvorratsroder, welche derzeit überwiegend Anwendung finden, erzielen hingegen deutlich höhere Flächenleistungen von 0,3 bis 0,5 ha pro Stunde. (Neuhauser, et al., 2003), (Oebel, 1989)

In der Literatur werden bei der Ernte von Wurzelfrüchten fast ausschließlich mehrphasige Ernteverfahren beschrieben, bei denen die Wurzeln nach der Entnahme aus dem Boden und einer Vorreinigung wieder auf den Boden abgelegt werden. In einem zweiten Arbeitsschritt werden die Wurzeln von Hand aufgesammelt, ausgeschüttelt und auf ein Transportmittel verladen. (Zimmer, et al., 2004)

Während die Wurzeln am Boden liegen, können diese noch zusätzlich abtrocknen und bei der anschließenden Aufnahme kann zusätzlich Erde separiert werden (Mheen, 1997).

BOMME (2001) schreibt in seiner Kulturanleitung, dass die Wurzelernte auch mit Zuckerrüben- oder Kartoffelvollernter 1-phasig vorgenommen werden kann. Diese erlauben eine zügigere Ernte mit nur geringem Handarbeitsaufwand, verursachen aber 10 % höhere Wurzelverluste. Darüber, ob die Wurzeln mit Rübenerntetechnik ohne Umbaumaßnahmen gerodet werden können, liegen widersprüchliche Aussagen vor. Von einem Praktiker wird berichtet, dass Baldrianwurzeln, mit der von ihm verwendeten Rübenerntetechnik, nur mit Umbaumaßnahmen aus dem Boden gehobelt werden konnten (Winter, 2012). Von anderer Seite wiederum wird berichtet, dass das Roden von Baldrianwurzeln mit einem Rübenvollernter ohne technische Veränderungen der Rodeaggregate möglich ist, bzw. war. Allerdings wurden hierbei bewusst hohe Verluste durch Abschneiden bzw. Abreißen der Adventiv- und Seitenwurzeln in Kauf genommen. (Spenger, 2012)

4 Material und Methoden

Tabelle 9 gibt einen Überblick über die einzelnen Maßnahmen, die zur Erreichung der gesetzten Ziele durchgeführt werden.

Tabelle 9: Zeitplan für die Entwicklung eines neuen Erntesystems für Baldrianwurzeln

Maßnahme	Jahr				
	2010	2011	2012	2013	2014
Auswahl geeigneter Wirkprinzipien für ein 1-phasiges Erntesystem für Baldrian					
Prozessdokumentation und Schwachstellenanalyse vorhandener Erntesysteme					
Erfassung der Krautstabilität					
Feldnachrocknung im 2-phasigen Erntesystem					
Erfassung von Wurzelverlusten mittels Referenzsystem					
Erstellung eines Wurzeltiefenprofils					
Vergleich von Herbst- und Frühjahrsernte					
Entwicklung eines neuen Reinigungssystems					
Vergleich des neuentwickelten Reinigungssystems mit vorhandenen Systemen					
Entwicklung einer Aufnahmevorrichtung					
Wurzelverlustbestimmung in der Aufnahmevorrichtung					
Testung der Aufnahmevorrichtung in verschiedenen Anbauverfahren					
Synthese der Reinigungssysteme und Aufnahmevorrichtung zu einem 1-phasigen Erntesystem					
Rodung von Baldrian mit einem modernen Rübenvollernter					
Validierung des neuentwickelten Erntesystems in der Praxis					

4.1 Auswahl- und Bewertungsmethoden

Die Auswahl geeigneter Wirkprinzipien erfolgt nach dem Ausschlussprinzip. Wirkmechanismen, die nicht erfolgversprechend sind, scheiden aus.

Die Auswahl eines geeigneten Fördermittels erfolgt mit dem „Elevator Selection Guide“ von Colijn`s in Mechanical Conveyors for bulk solids. (Colijn, 1985)

4.2 Prozessdokumentation und Schwachstellenanalyse

In der Erntekampagne 2010 werden fünf Baldriananbaubetriebe mit unterschiedlichen Ernteverfahren bei der Durchführung der Ernte begleitet. Bei den Visiten werden deren Erntesysteme analysiert. Es werden technische Daten erfasst, wie z.B. die Art der Reinigungssysteme, die Anzahl der Fallstufen zwischen den Reinigungssystemen als auch die Rodegeschwindigkeit und –tiefe. Mit high speed Videoaufzeichnungen wird der Gutfluss durch die Erntemaschinen analysiert. Treten im Ernteprozess Störungen auf, so werden diese dokumentiert.

4.3 Fusion des 2-phasigen Erntesystems

Für die Entwicklung eines neuen Erntesystems werden die Arbeitsschritte der vorausgegangenen Systemanalyse der 2-phasigen Ernte so miteinander kombiniert, dass eine 1-phasige Lösung entsteht. Arbeitsschritte, die hierbei verloren gehen, werden ins 1-phasige System implementiert und entsprechend intensiviert.

Mit Hilfe des morphologischen Kastens werden die für die einzelnen Arbeitsschritte möglichen Komponenten zusammengeführt.

4.4 Versuchsaufbau der Feldversuche

Als Entscheidungshilfe für die Auswahl geeigneter Wirkprinzipien, technischer Komponenten, als auch des optimalen Versuchsmaterials und geeigneter Methoden werden die Ergebnisse aus Feldversuchen verwendet. Weil in den ersten beiden Jahren nach Entwicklungsstart keine speziellen Versuchsflächen zur Verfügung standen, wurden Feldversuche in Praxisschläge der Kooperationsbetriebe gelegt.

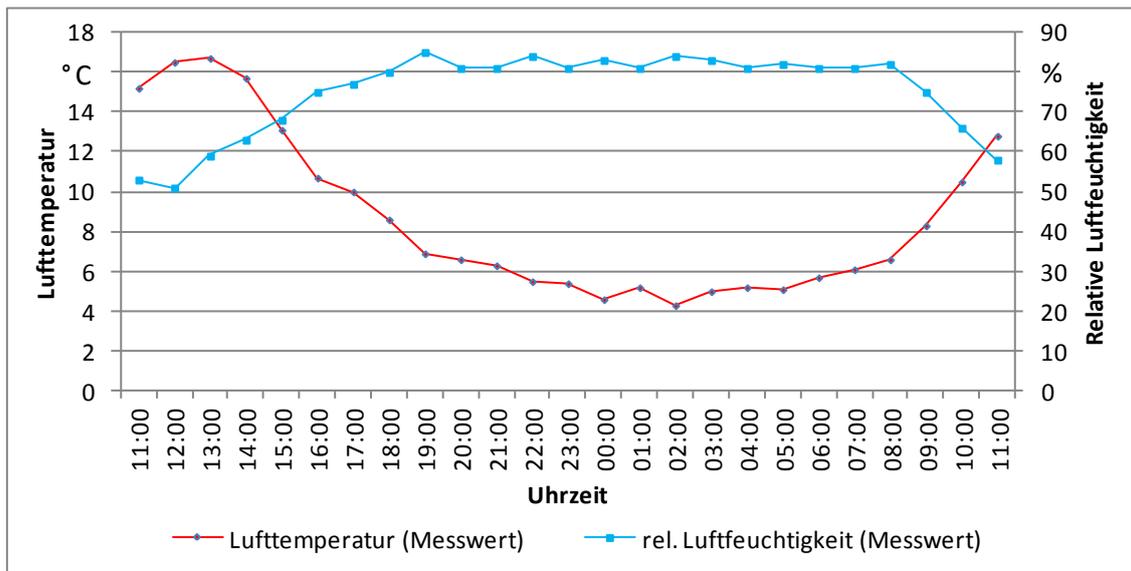
4.4.1 Feldnachtrocknung im 2-phasigen Erntesystem

Durch das Zusammenlegen der beiden Phasen für ein 1-phasiges Erntesystem entfällt die Ablage der Wurzeln auf den Boden. Hiermit entfällt in vielen Fällen auch das Nachtrocknen der Wurzeln am Feld. In diesem Versuch wird geprüft, ob sich mehr Erde von

den gerodeten und auf einen Schwad abgelegten Baldrianwurzeln ausschütteln lässt, wenn diese auf dem Feld noch einen Tag zum Abtrocknen liegen bleiben.

Im Versuch am Standort „Ludwigshof“ in Ranis werden 40 Wurzeln aus einem am Feld abgelegten Baldrianschwad am Stück entnommen. Der Schwad wird mit einem Siebkettenvorratsroder vom Typ „Fortschritt“ angelegt. Die ersten 20 Wurzeln werden unmittelbar nach dem Roden (3. Nov. 2010, 11:00 Uhr), weitere 20 werden 24 Stunden später entnommen. Die einzelnen Wurzeln werden nach der Entnahme aus dem Schwad zehn Sekunden von Hand ausgeschüttelt. Die Gewichtsdiﬀerenz zwischen vor und nach dem Ausschütteln wird ermittelt.

In Abbildung 13 ist die relative Luftfeuchtigkeit und die Lufttemperatur am Versuchsstandort für den Zeitraum zwischen 11:00 Uhr des 3. Nov. bis 11:00 Uhr des 4. Nov. 2010 dargestellt.



Datenquelle: DWD, Agrarmeteorologie, Niederlassung Weihenstephan

Abbildung 13: Witterungsdaten des Versuchszeitraums

Im Versuchszeitraum war es windig, fiel kein Niederschlag und die Luft war am Tag nicht mit Wasser gesättigt. Der erdfeuchte Baldrianschwad hellte durch die einsetzende Abtrocknung sichtbar auf. Die Witterung an den Versuchstagen ist für diese Jahreszeit untypisch mild und somit ideal für die Abtrocknung der Wurzeln auf dem Feld.

4.4.2 Erstellung eines Wurzeltiefenprofils

Weil aus der recherchierten Literatur und den Mitteilungen von Praktikern keine einheitliche Rodetiefe ersichtlich ist, wird ein Wurzeltiefenprofil erstellt. Mit dem Wissen

über die Verteilung der Wurzelmassen in den Bodenschichten kann anschließend die optimale Rodetiefe gewählt werden.

Das Wurzeltiefenprofil wird 2010 am Standort „Baumannshof“ in Forstwiesen im November ausgegraben. Tabelle 10 enthält Daten des Schlages.

Tabelle 10: Ackerdaten des Versuchsfeldes am Standort „Baumannshof“ im Jahr 2010

Bodenart:	Schwach lehmiger Sand	Bodenpunkte:	29
Sorte:	BLBP 58	pH-Wert:	4,6
P ₂ O ₅ :	12 mg/100g	K ₂ O:	8 mg/100g
Reihenabstand:	41,7 cm	Pflanzabstand:	25 cm

Aus dem ebenerdig im Frühjahr gepflanzten Baldrianbestand werden drei angrenzende Parzellen (a 40 cm x 80 cm) in drei Schichten (a 10 cm) bis zu 30 cm Tiefe mit einem Spaten ausgestochen. Die Wurzeln werden von der Erde mit einem Sieb (Maschenweite 5 mm) abgeseibt, gereinigt und im Trockenschrank bei 105°C getrocknet.

4.4.3 Ernte von Baldrian mit einem Rübenvollernter

Weil im Rahmen der Technikrecherche nicht endgültig geklärt werden konnte, ob die Ernte von Baldrianwurzeln mit Zuckerrübenvollerntern ohne jegliche Umbaumaßnahme möglich ist, wird im Frühjahr 2013 am Baumannshof eine Baldrianversuchsfläche (220 m²) speziell für die Ernte mit einem Rübenroder ausgepflanzt.

Der Reihenabstand (Tabelle 11) zwischen den sechs Reihen wird für die Ernte mit dem Rübensvollernter abgestimmt.

Tabelle 11: Ackerdaten des Versuchsfeldes am Standort „Baumannshof“ im Jahr 2013

Bodenart:	Schwach lehmiger Sand	Bodenpunkte:	29
Sorte:	B-19	pH-Wert:	5,4
P ₂ O ₅ :	20 mg/100g	K ₂ O:	32 mg/100g
Reihenabstand:	50 cm	Pflanzabstand:	30 cm

Die Fläche wird in drei Abschnitte a 73 m² unterteilt und mit einem Rübensvollernter (Abbildung 14) der Firma „Holmer“ Typ: Terra Dos T3 am 26. Sept. 2013 bei trockenen Bodenverhältnissen aber nassem Kraut beerntet.



Abbildung 14: Rübenroder (links), Rüttelscharroder (rechts)

Am Vortag werden aus den drei Abschnitten jeweils 4 m² mit einem Rüttelscharroder der Firma „Netagco“ gerodet, damit, falls die Wurzelverlustbestimmung mit der Bohrstockmethode misslingen sollte, Vergleichswerte vorhanden sind, zu denen der mit dem Rübenernter geerntete Ertrag in Relation gesetzt werden kann. In den sechs Rodeparzellen (2 Rodesysteme, 3 Wiederholungen) wird mit der Bohrstockmethode jeweils eine Fläche von 0,29 m² bis zu einer Tiefe von 17 cm beprobt.

Über die ermittelten Wurzelverluste und den geernteten Drogen ertrag der einzelnen Parzellen wird der mögliche Gesamtertrag berechnet zu dem die Verluste in Relation gesetzt werden.

4.4.4 Krautstabilität

In dem Versuch „Krautstabilität“ soll untersucht werden, ob die Stabilität des Krautes bis in den Spätherbst erhalten bleibt. Mit dem Versuch soll die Frage beantwortet werden, ob das Baldriankraut als ein „herausragendes“ Merkmal für das Trennverfahren des automatisierten Klaubens benutzt werden kann.

Als Maß für die Stabilität des Krautes von Baldrianpflanzen wird an drei Ernteterminen (7. Okt., 28. Okt. und 24. Nov. 2010) die Reißfestigkeit des Krautes bestimmt. Der Versuch wird am Standort „Baumannshof“ (siehe oben: Tabelle 10) in Forstwiesen durchgeführt. Für die Erfassung der Reißfestigkeit werden die Blätter einer Pflanze gebündelt, an einem Seil fixiert und von Hand abgerissen. Mittels einer digitalen Zugwaage (Abbildung 15) wird die benötigte Abreißkraft ermittelt.



Abbildung 15: Versuchsutensilien

An jedem Erntetermin werden aus vier Parzellen je 10 Pflanzen aus dem Boden gezogen. In den Parzellen steht im Frühjahr gepflanzter Baldrian aus einem Zuchtprogramm. Zwischen den drei Ernteterminen lagen jeweils mehrere Tage mit Frost. Die Witterung vor dem ersten Erntetermin war frostfrei.

4.4.5 Vergleich von Herbst- und Frühjahrsernte

In dem Vergleich zwischen Herbst- und Frühjahrsernte wird die Höhe der zu erwartenden Ertragsdepression ermittelt und zusätzlich wird untersucht, ob sich zwischen den beiden Ernteterminen die Inhaltsstoffgehalte (ätherisches Öl und Valerensäure) verändern. Hintergrund des Versuches ist die Überlegung, ob der Einsatz aggressiver, verlustreicher Erntesysteme, die auch im Herbst unter widrigen Bedingungen eine Ernte ermöglichen, der alternativen Frühjahrsernte vorgezogen werden sollen. Der Versuch wird am Standort „Baumannshof“ (Tabelle 12) in Forstwiesen durchgeführt.

Tabelle 12: Ackerdaten des Versuchsfeldes mit gesättem Baldrian am Standort „Baumannshof“

Bodenart:	Schwach lehmiger Sand	Bodenpunkte:	29
Herkünfte:	Zuchtmaterial	pH-Wert:	4,6
P ₂ O ₅ :	12 mg/100g	K ₂ O:	8 mg/100g
Reihenabstand:	41,7 cm	Saatstärke:	1,5 kg/ha

Im Versuch werden aus vier in sich homogen erscheinenden Parzellen (Länge 5,1 m x Breite 2,5 m) je zwei Teilstücke von 3,2 m² (Breite 1,27 m x Länge 2,5 m) quer herausgerodet, eines im Herbst (19. Nov. 2010) und ein zweites im Frühjahr (16. März 2011) zu Vegetationsbeginn vor dem Austreiben. In den Parzellen steht im Frühjahr ebenerdig gesäter Baldrian aus einem Zuchtprogramm. Das Roden erfolgt mit einem 1,27 m breiten Rüttelscharroder (Abbildung 14 rechts). Die Wurzeln werden von Hand aufgesammelt. In einer Trommelwaschmaschine werden die Wurzeln gewaschen und anschließend bei 42°C getrocknet. Die Inhaltsstoffanalyse wird extern durchgeführt (siehe Kap. 4.4.7.9).

4.4.6 Erfassung von Wurzelverlusten mittels Referenzsystem

In dem Versuch soll geklärt werden, ob der Wurzelertrag bei einer Handernernte als Referenzwert gegenüber einer maschinellen Ernte angenommen werden kann.

Es wird angenommen, dass der Ernteertrag bei der maschinellen Ernte, bedingt durch höhere Verluste als bei der Handernernte, niedriger ist.

In Praxisschlägen (Tabelle 13) werden an zwei Standorten „Schwebheim“ und „Rockendorf“ zufällig Parzellen (Länge 116 cm x Breite 300 cm bzw. 250 cm) ausgewählt.

Tabelle 13: Standortdaten

Standort:	Schwebheim	Rockendorf
Bodenart:	Sand	Sand bis schwach lehmiger bzw. schluffiger Sand
Anbauverfahren:	Pflanzung im Beetanbau	Pflanzung ebenerdig mit leichter Dammanhäufung
Reihenabstand:	50 cm	62,5 cm
Pflanzabstand:	30 cm	25 cm
Erntemaschine:	Schwingsiebvorratsroder „Bärtschi“	Siebkettenvorratsroder „Fortschritt“
Rodebreite:	150 cm	125 cm
Rodtiefe:	20 cm	15 cm
Parzellengröße:	3,48 m ²	2,9 m ²
Wiederholungen:	2	5
Erntetermin:	3. Nov. 2010	4. Nov. 2010

Die einzelnen Parzellen werden zur einen Hälfte maschinell und zur anderen Hälfte manuell gerodet. Am Standort „Schwebheim“ (Abbildung 16 links) wird mit einem Schwingsiebvorratsroder, am Standort „Rockendorf“ (Abbildung 16 rechts) werden die Wurzeln mit einem Siebkettenvorratsroder gerodet.



Abbildung 16: Hand- versus Maschinenernte (l. Schwingsieb-, r. Siebkettenvorratsroder)

Mit einem Spaten werden die Wurzeln nach dem maschinellen Roden von den außerhalb der Parzelle liegenden abgestochen. Mit einer Spatengabel werden sie ausgeschüttelt und aufgesammelt. Die manuelle Ernte erfolgt mit Spaten und Spatengabel. Die Wurzeln werden von Hand gewaschen und nach dem Abtropfen (1h) gewogen.

4.4.7 Vergleich von drei Reinigungssystemen

Für die Durchführung des Vergleichs von drei Reinigungssystemen wurde der Feldversuch gewählt, da dieser dem praktischen Einsatz am nächsten kommt. Alle Ernteversuche werden auf dem gleichen Praxisschlag „Waldhaus“ in einem Jahr „2011“ ausgeführt. Der Einfluss der Störfaktoren Bodenart und Jahreseinfluss wird dadurch minimiert. Wechselnde Bedingungen, wie Bodenfeuchte und Ertrag, werden erfasst und finden in der Auswertung der Ergebnisse Berücksichtigung, wenn sie diese beeinflussen. In den vorangestellten Versuchen und in der Literatur wurde die starke Heterogenität der Baldrianwurzeln offensichtlich. Extreme Ertragsschwankungen auf engstem Raum bei augenscheinlich homogenem Bestand bzw. Kraut machen die Berechnung von Wurzelverlusten über ein Referenzsystem unmöglich. Auch die Bohrstockmethode, bei der nur ein Teil der Fläche beprobt wird, ist hierzu nur bedingt geeignet. Für eine exakte Ermittlung von Wurzelverlusten als auch der Reinigungsintensität wird deshalb das Austragsgut vollständig erfasst und die Bestandteile zueinander ins Verhältnis gesetzt. Weil es im Bereich Wurzelernte hierfür keine Standardmethode gibt, wird die nachfolgend detailliert beschriebene angewendet.

4.4.7.1 Reinigungssysteme im Versuch

Bei der Auswahl geeigneter Reinigungssysteme für die Reinigung von Baldrian haben sich die Systeme „Siebband“, „Rotation“ und „Siebsterne“ etabliert. Im Versuch wird geprüft, ob sich die drei Reinigungssysteme bei der Ernte von Baldrianwurzeln hinsichtlich Massenverluste, Inhaltsstoffgehalte und Reinigungsintensität unterscheiden.

Siebband:

Im Versuch wird ein Siebband (Abbildung 17) als sogenanntes Standardreinigungssystem im Vergleich mit der „Rotation“ und dem „Siebsterne“ getestet.

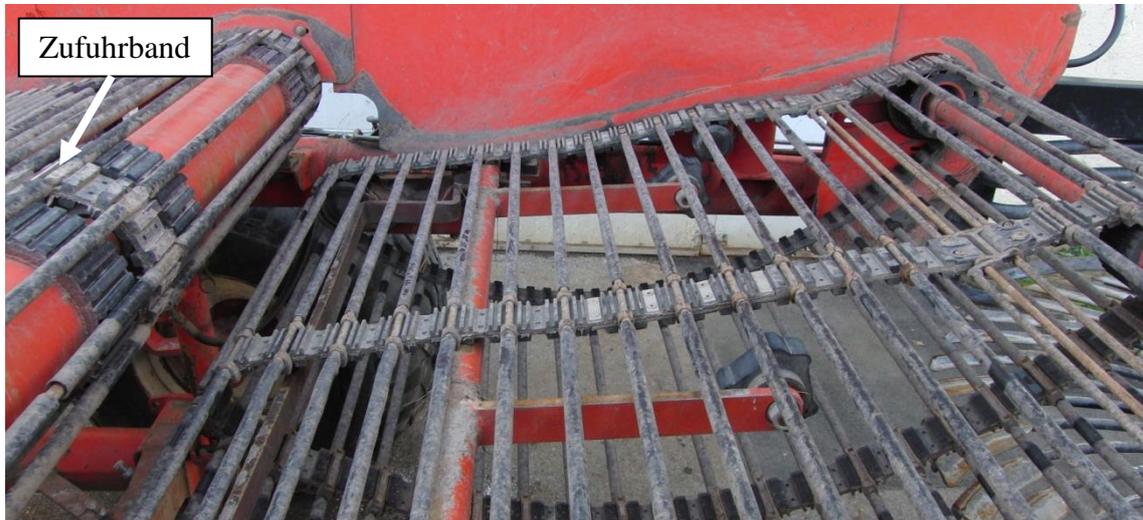


Abbildung 17: Reinigungssystem „Siebband“

Das Siebband wird ohne Rüttelinstrumente eingesetzt. Über ein Zufuhrband, das ebenfalls ein Siebband ist, wird das Erntegut in das Reinigungssystem befördert.

Tabelle 14 enthält technische Daten des Siebbandes, wie es im Versuch eingesetzt wird.

Tabelle 14: Technische Daten des Reinigungssystems „Siebband“

Bandgeschwindigkeit:	1,7 m/s
Siebfläche (Länge 1170 mm x Breite 1631mm)	1,91 m ²
Teilung:	70 mm
Siebbandanstiegswinkel:	12°
Stabdurchmesser incl. Kunststoffummantelung:	17 mm
Anzahl Riemen:	3
Riemenbreite:	60 mm
Höhe des Produktaustrags über dem Erdboden:	1680 mm
Höhe der Fallstufe zwischen Zufuhrband und Siebband:	280 mm

Rotation:

Bei dem Reinigungssystem „Rotation“ wird der Anstiegswinkel (Abbildung 18) des oben beschriebenen Siebbandes verändert. Durch passive Rüttelelemente, welche als Umlenkrollen dienen, wird das Siebband in zwei Abschnitte mit unterschiedlichen Anstiegswinkeln geteilt. Die drei Rüttelelemente greifen neben den Riemen direkt in die Siebstäbe ein.



Abbildung 18: Reinigungssystem „Rotation“ (r.) Ausschnitt: Passives Rüttelelement

Durch eine Erhöhung des Anstiegswinkels im ersten Teil des Siebbandes wird das Band im zweiten Abschnitt abgeflacht. Die Umlenkrollen können bei Bedarf stufenlos abgesenkt werden, bis das ganze Band eben ist. Eine Absenkung des Bandes erfolgt nur, wenn die Förderwirkung des Bandes beeinträchtigt ist.

In Tabelle 15 sind technische Daten des Reinigungssystems „Rotation“, wie dieses im Versuchsbetrieb eingesetzt wird, dargestellt.

Tabelle 15: Technische Daten des Reinigungssystems „Rotation“

Bandgeschwindigkeit:	1,7 m/s
Siebfläche bei max. Anstiegswinkel (Länge 1350 x Breite 1631mm)	2,20 m ²
Teilung:	70 mm
Maximaler Siebbandanstiegswinkel im ersten Abschnitt:	45°
Länge des ersten Siebbandabschnittes:	55 cm
Anzahl Rüttelelemente	3
Schenkellänge des Rüttelelements	100 mm
Stabdurchmesser incl. Kunststoffummantelung:	17 mm
Anzahl Riemen:	3
Riemenbreite:	60 mm
Höhe des Produktaustrags über dem Erdboden:	1680 mm
Höhe der Fallstufe zwischen Zufuhrband und Siebband:	230 mm

Durch eine Veränderung der Anstiegswinkel verändert sich die Siebfläche des Bandes.

Siebstern:

Bei dem Reinigungssystem „Siebstern“ wird ein für Baldrian optimierter Siebstern (Abbildung 19) zusammen mit einem Beschickungsband getestet. Das Beschickungsband entspricht dem Reinigungssystem „Siebband“.

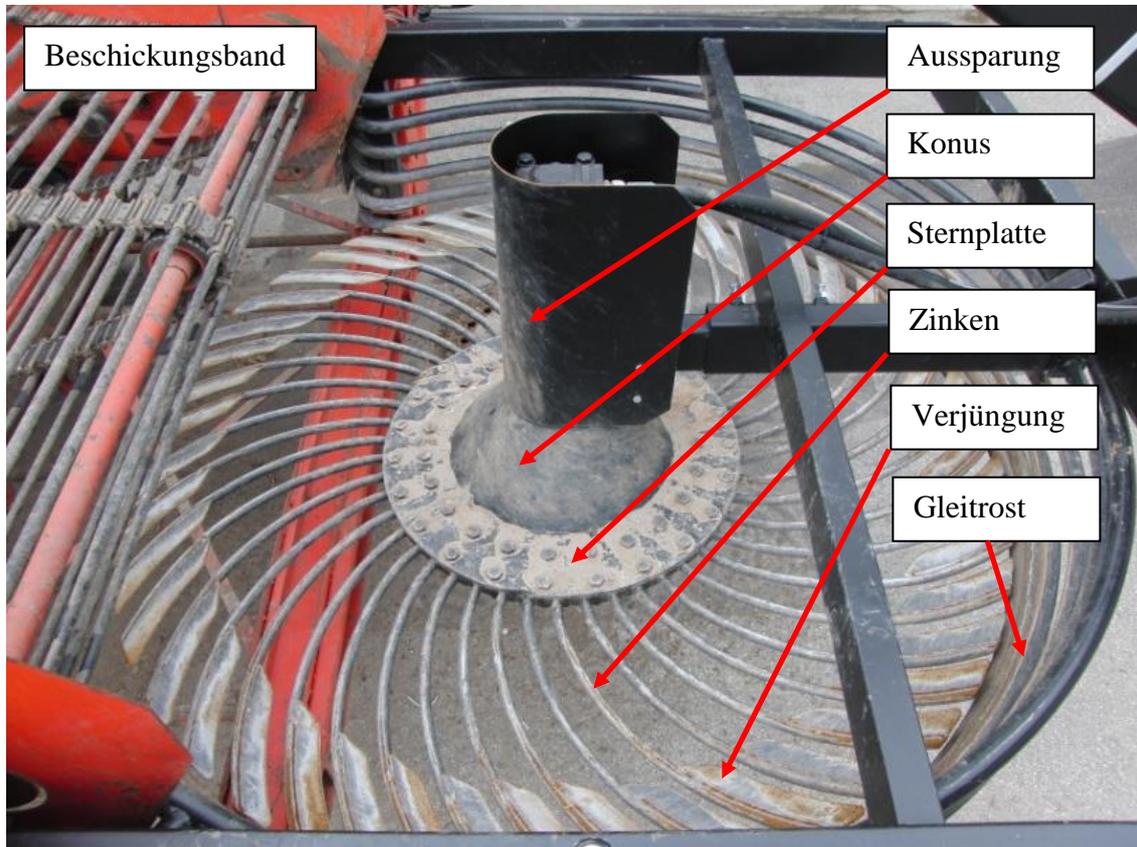


Abbildung 19: Reinigungssystem „Siebstern“

Das Erntegut wird breitflächig über das Beschickungsband in den rechts drehenden Siebstern abgegeben. Das gereinigte Gut wird unter dem Beschickungsband aus dem Stern ausgetragen.

Für den Austrag ist der Gleitrost unter dem Beschickungsband geöffnet. Die einzelnen Gleitrostrohre (Abbildung 20) sind an der Auswurföffnung am Rahmen befestigt.

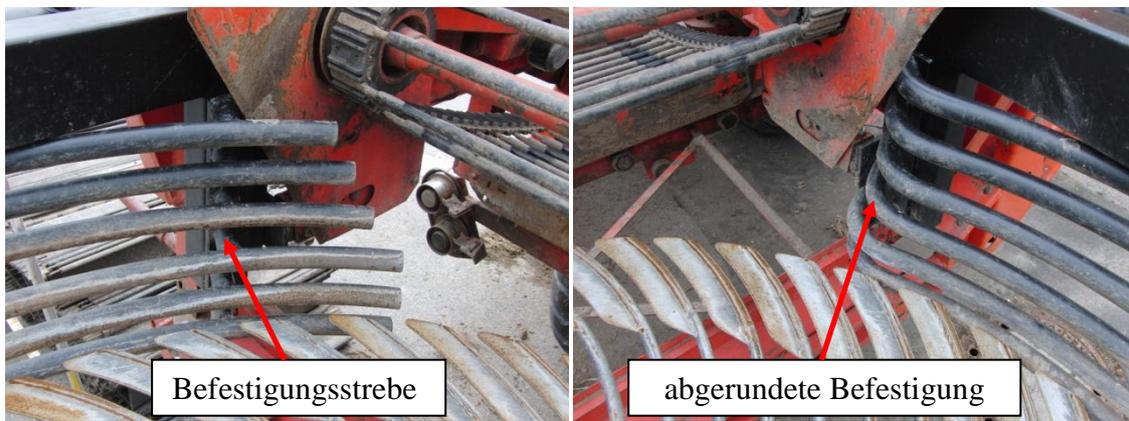


Abbildung 20: Gleitrostbefestigung (links vor, rechts nach der Abgabeöffnung)

An der Befestigung nach der Abgabeöffnung sind die Rohre abgerundet. Durch die Ab-
rundung werden scharfkantige Stellen im Bereich der Gutführung vermieden, welche
die Gefahr von Wurzelverlusten begünstigen. Der Innenradius der beiden unteren Be-
festigungen ist acht Zentimeter. Ab der dritten Befestigung verringert sich der Radius
jeweils um einen Zentimeter. Der Radius ist gleich dem Abstand des Rostrohres vom
tragenden Rahmen. An den Befestigungsstreben vor der Öffnung sind die Rohre um bis
zu 22 cm über die Befestigungsstrebe hinaus verlängert, damit die Wurzeln richtungs-
weisend auf das Leitsegel (im Bild nicht vorhanden) abgelegt werden. Die Befesti-
gungsstreben erhöhen den Abstand zwischen Rost und kantigen Rahmenbauteilen. Bei
den unteren drei Rohren sind die Streben 6 cm lang, die oberliegenden drei Streben sind
4 cm lang. Die Streben haben den gleichen Durchmesser wie die Gleitrostrohre. Durch
den Verzicht auf stabilisierende Stützstreben zwischen den Befestigungspunkten bei den
unteren vier Rohren federn diese. Das Federn erhöht die Eigenreinigung.

Tabelle 16 enthält technische Daten des Reinigungssystems „Siebsterne“.

Tabelle 16: Technische Daten des Reinigungssystems „Siebsterne“

Siebsterne	
Drehzahl:	2 U/s
Sterndurchmesser:	1750 mm
Radius der Aussparung im Zentrum des Sterns:	100 mm
Radius des Konus:	220 mm
Öffnungswinkel des Konus:	80°
Radius der Zinkenbefestigungsplatte:	350 mm
Radius bis zur Verjüngung:	690 mm
Innenradius der beiden untersten Leitroste:	880 mm
Rohrdurchmesser der Gleitroste:	33,7 mm
Abstand zwischen den Gleitrosten:	30 mm
Anzahl Zinken:	46
Zinkendurchmesser:	20 mm
Zinkenkrümmungsradius:	550 mm
Abstand zwischen zwei Zinken an der Verjüngung:	20 mm
Höhe des Produktaustrags über dem Erdboden:	1200 mm
Höhe der Fallstufe zwischen Beschickungsband und Siebsterne:	480 mm
Abstand der Rotationsachse des Sterns vom Beschickungsband:	550 mm
Beschickungsband (3. Siebband)	
Bandgeschwindigkeit:	1,7 m/s
Siebfläche (Länge 1170 mm x Breite 1631mm)	1,91 m ²
Teilung:	70 mm
Anstiegswinkel:	12°
Stabdurchmesser incl. Kunststoffummantelung:	17 mm
Anzahl Riemen:	3
Riemenbreite:	60 mm
Höhe der Fallstufe zwischen Zufuhrband und Beschickungsband:	280 mm

Die Siebsternndrehzahl wurde vor Versuchsbeginn so eingestellt, dass sich der Stern unter trockenen Erntebedingungen noch eigenständig reinigt und somit die Wurzeln selbständig ausgetragen werden.

4.4.7.2 Trägerfahrzeug

Als Trägerfahrzeug für die drei Reinigungssysteme, bzw. für die Durchführung der Versuche, wird ein Kartoffelrodelader (Abbildung 21) der Firma Grimme „Typ: DLS-1700, Bj. 1996“ verwendet. Aus den theoretischen Überlegungen (siehe Kap. 5.1) ergibt sich ein Anforderungsprofil für ein Erntesystem von Baldrian. Das genannte Trägerfahrzeug beinhaltet bereits einen Teil der geforderten Ausstattungen. Durch zusätzliche Modifikationen kann der Kartoffelrodelader sowohl für den Versuchsbetrieb mit verschiedenen Reinigungssystemen ausgestattet werden, als auch anschließend für den praktischen Feldeinsatz weiterentwickelt werden.

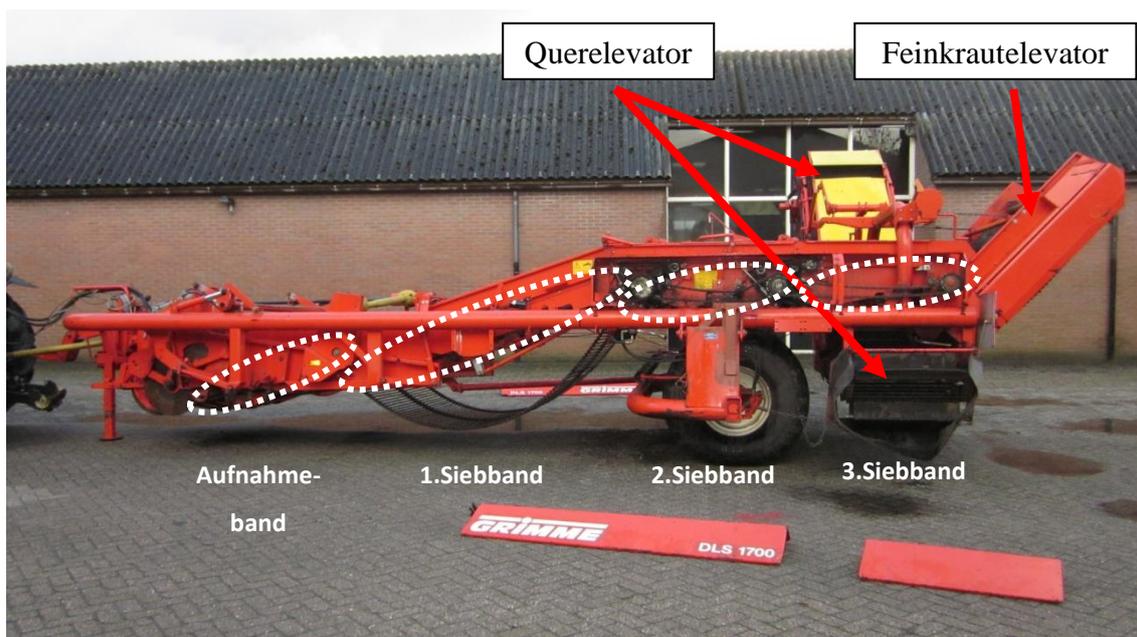


Abbildung 21: Kartoffelrodelader

Entscheidend für die Auswahl dieses Typs ist die Ausstattung der Maschine mit einem kurzen breiten Aufnahmeband, einem langen, relativ flach ansteigenden ersten Siebband und zwei kurzen Siebbändern. An den Übergängen zwischen den Bändern entstehen Fallstufen, an denen der Wurzel-Erde-Verbund umgestürzt und dabei aufgelöst wird. Durch die Aufnahmebreite von 170 cm besteht die Möglichkeit mehrere Reihen Baldrian gleichzeitig aufzunehmen. Des Weiteren kann die Maschine so modifiziert werden,

dass das dritte Siebband auch im Versuch als eine Variante des Reinigungssystems Verwendung findet. Es wird als Standardreinigungssystem „Siebband“ eingesetzt, welches auch, durch den Einbau einer entsprechenden Mechanik zur Verstellung des Neigungswinkels, für das zweite Reinigungssystem „Rotation“ genutzt werden kann und zudem dient es als Beschickungsband im dritten Reinigungssystem „Siebsterne“.

Nachfolgend sind alle baulichen Veränderungen, die an diesem Kartoffelrodelader für den Einsatz in Baldrian durchgeführt werden und alle nicht standardisierten Ausstattungsvarianten, aufgelistet.

- Die Dammtrommeln des 2-reihigen Rodeladers werden durch Stützräder ersetzt. Die Stützräder laufen seitlich neben den Rodereihen.
- Die Krauteinzugsrollen werden entfernt.
- Die Originalscharen werden durch zwei stabilere 2-stielige Scharen mit Steinsicherung ersetzt. Mit den beiden 540 mm breiten Scharen werden im Versuch zwei Reihen im Abstand von 625 mm gleichzeitig aufgenommen.
- Das Aufnahmeband hat eine Teilung von 40 mm und die Siebstäbe haben einen Durchmesser von 11 mm. Jeder zweite Stab ist mit einem Überzug aus Kunststoff ummantelt.
- Die Teilung des ersten Siebbandes von 35 mm wird auf 70 mm erhöht, damit sich die Erdabsiebung und in erster Linie der Rollwiderstand erhöht. Die Stäbe haben einen Durchmesser von 11 mm und sind nicht ummantelt.
- Die Teilung des zweiten und dritten Siebbandes wird ebenfalls auf 70 mm erhöht. Die Stäbe sind mit einem Überzug aus Kunststoff ummantelt.
- Die Krautzupfwalzen inklusive der zugehörigen Rückhalteköpfe werden am ersten und am zweiten Siebband entfernt.
- Die geschlossenen Antriebstrommeln des ersten und zweiten Siebbandes werden durch offene Trommeln ersetzt, damit die Wurzeln nicht zwischen den Trommeln und den Siebstäben eingeklemmt werden.
- Das Verhältnis der Siebbandgeschwindigkeiten zueinander wird verändert.
- Der Feinkrautelevator wird entfernt.
- Der Querelevator wird entfernt.
- In das dritte Siebband wird eine hydraulische Neigungswinkelverstellung für das Reinigungssystem „Rotation“ integriert.

- An Stelle des Feinkrautelevators wird ein Siebstern (Abbildung 22) angebaut, der hydraulisch ausgehoben werden kann.



Abbildung 22: Trägerfahrzeug für die Versuchsdurchführung

- Unter das dritte Siebband wird eine Trommel zum Aufwickeln von Unterziehfolien montiert, damit Ernteverluste direkt erfasst werden können. Auf die Unterziehfolien wird das Ernteprodukt abgelegt. Zusätzlich werden die abgesiebte Erde und die Verlustwurzeln aufgefangen, welche vom verwendeten Reinigungssystem verursacht werden.
- Unter das zweite Siebband, 35 cm vor dem dritten Siebband, wird ein Leitsegel installiert, über welches die Absieberde und die Wurzelverluste ab dem Leitsegel vollständig abgeleitet und auf die Folie abgelegt werden. Bis zum zweiten Siebband bleiben die Maschineneinstellungen bei allen Versuchsvarianten gleich. Unterschiede, bedingt durch die verschiedenen Reinigungssysteme, treten erst ab dem dritten Siebband auf.

4.4.7.3 Versuchsfeld

Der Versuch wird 2011 auf dem Praxisschlag „Am Waldhaus“ der Ludwigshof Agrarprodukte e.G. durchgeführt. Tabelle 17 enthält Daten des Schlages sowie der pflanzenbaulichen Maßnahmen bis vor die Ernte.

Tabelle 17: Ackerdaten des Versuchsfeldes

Gemarkung:	Zella			
Sand-Ton-Schluff-Anteil:	80-5-15			
Bodenpunkte:	34			
pH-Wert:	6,3			
N – min am 18.02.2011	Tiefe cm	NO3	NH4	ges. kg/ha
	0 - 30	14	1	15
	30 - 60	13	3	16
P – Untersuchung am 27.05.2009	10,6 mg/100g			
K – Untersuchung am 27.05.2009	20,1 mg/100g			
NPK-Düngung:	60 kg N/ha am 12.06.2011 Piagran			
	60 kg N/ha am 12.07.2011 Piagran			
Feldvorbereitung:	Pfluglos, Grubber + 2x Kompaktor			
Sorte:	MB 001			
Reihenabstand:	62,5 cm			
Pflanzabstand:	25 cm			
Datum der Pflanzung:	19. bis 26.04.2011			
Pflegemaßnahmen:	3x Handhacke, 5x Maschinenhacke			
Pflanzenschutz:	19.04.2011 Devrinol FI 1,7 l/ha			
	15.08.2011 Thiovit Jet 1,5 kg/ha			
Vorfrucht:	Lupinen			

Die Pflanzen werden ebenerdig ausgepflanzt. Bei den Pflegemaßnahmen (maschinelle Hacke) werden die Reihen angehäufelt, so dass ein kleiner Damm geformt wird.

4.4.7.4 Bodenanalyse

Für ein optimales Rodeergebnis ist ein siebfähiger Boden Voraussetzung (Bomme, 1984a). Für die Durchführung von Rodeversuchen wird ein homogener Boden vorausgesetzt. Zur Überprüfung der Homogenität im Versuchsfeld wird eine Texturanalyse des Feinbodens durchgeführt. An ausgewählten Parzellen (siehe Kap. 4.4.7.6) werden an den ersten drei Ernteterminen Bodenproben bis zur Rodetiefe entnommen, bei denen der Sand-, Schluff- und Ton-Anteil bestimmt wird. Die Texturanalyse wird nach der Methode: VDLUFA vom Ingenieurs-Büro Dr. W. Häusler durchgeführt.

In Tabelle 18 sind die Ergebnisse der Körnungsanalyse dargestellt, welche die Homogenität des Bodens in der Versuchsanlage bekräftigen.

Tabelle 18: Ergebnisse der Körnungsanalyse des Feinbodens

Probe aus dem Block des...	Angaben in M.-% bezogen auf 105°C getrocknete Proben		
	Sand	Schluff	Ton
1. Erntetermins	79,8	15,9	4,3
2. Erntetermins	79,7	14,6	5,7
3. Erntetermins	81,2	14,2	4,7

Da bei der Körnungsanalyse mit dieser Methode mit ± 1 M.-% zu rechnen ist, haben die drei Proben nahezu die gleiche Korngrößenverteilung. Mit einem Sandanteil von ca. 80 % ist die von BOMME (1984a) geforderte Siebfähigkeit des Bodens gegeben. Die Bodenart liegt zwischen dem schwach lehmigen und dem schwach schluffigen Sand.

4.4.7.5 Witterungsdaten

Neben der Bodenart beeinflusst auch die Bodenfeuchtigkeit das Rodeergebnis. Die Witterungsdaten im Versuchszeitraum werden vom Deutschen Wetterdienst, Agrarmeteorologie, Niederlassung Weihenstephan bereitgestellt. Die Messstation „Krölp- Rockendorf“ (Stations-Nr.: M765), an der die Witterungsdaten (Abbildung 23) erfasst werden, ist 900 m vom Versuchsfeld entfernt und liegt auf gleicher Höhe über NN.

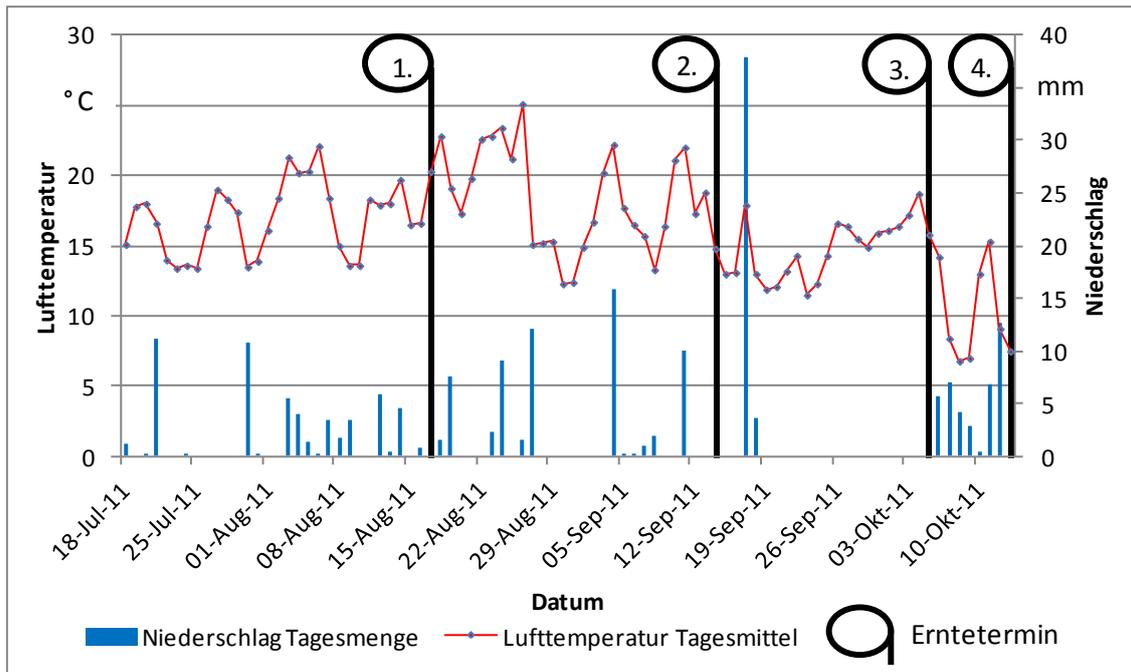


Abbildung 23: Witterungsdaten während des Versuches

Die Witterungsdaten sind einen Monat vor dem ersten Erntetermin bis zum vierten Erntetermin dargestellt. Vor dem dritten Erntetermin am 4. Oktober 2011 werden die Versuchspartellen künstlich mit 25 mm bewässert, damit die Reinigungssysteme auch unter nassen Bodenverhältnissen getestet werden.

4.4.7.6 Versuchsanlage

Die in der Abbildung 24 dargestellte Versuchsanlage wird in den Praxisbestand „Am Waldhaus“ implementiert.

9 Parzellen a 4,375 m (7 Reihen a 62,5 cm) = 39,4 m Gesamtbreite

7 x 4,375 m = 30,6 m Blockbreite

Rückeweg (20 m x 30,6 m)

3. Erntetermin

215 m Gesamtlänge der Versuchsanlage

3 x 15 m = 45 m Blocklänge

<u>25</u>	Rückeweg/Spritzgasse	14	33	12	Spritzgasse	<u>31</u>
15		24	<u>13</u>	32		21
35		<u>34</u>	23	<u>22</u>		11

Rückeweg (20 m x 30,6m)

2. Erntetermin

3 x 15 m = 45 m Blocklänge

<u>25</u>	Rückeweg (4,4 m x 215 m)	14	33	12	Spritzgasse (4,4 m x 215 m)	<u>31</u>
15		24	<u>13</u>	32		21
35		<u>34</u>	23	<u>22</u>		11

Rückeweg (20 m x 39,4 m)

1. Erntetermin

3 x 15 m = 45 m Blocklänge

<u>25</u>	Rückeweg/Spritzgasse	14	33	12	Spritzgasse	<u>31</u>
15		24	<u>13</u>	32		21
35		<u>34</u>	23	<u>22</u>		11

Rückeweg (20 m x 39,4 m)

Rückeweg (4,4 m x 15 m)

<u>31</u>
<u>21</u>
<u>11</u>

4. Erntetermin ohne WH

Abbildung 24: Anlage der Versuchspartellen

Die erste Zahl der Versuchsnummern beziffert die Variante (1 = Siebband, 2 = Rotation, 3 = Siebsterne), die zweite die Wiederholung. An den ersten drei Ernteterminen wird der Versuch mit jeweils fünf randomisierten Wiederholungen durchgeführt. Am vierten Erntetermin erfolgt der Versuch ohne Wiederholung. Bei den Parzellen mit unterstrichenen Ziffern erfolgt eine Ermittlung der Vorreinigungsverluste (siehe Kap.4.4.7.8). Aus den mittig liegenden Parzellen mit den eingekreisten Ziffern wird mit der Bohrstockmethode eine Bodenprobe entnommen für die Texturanalyse des Feinbodens.

In Tabelle 19 sind die Parzellengrößen zur Anlage, zur Ernte, zur Beprobung und zur Wurzelverlustermittlung im Unterboden aufgelistet.

Tabelle 19: Parzellengrößen

Parzellengröße zur Anlage:	15 m x 4,375 m (7 Reihen a 62,5 cm) = 65,63 m²
Parzellengröße bei Ernte:	15 m x 1,25 m (2 Reihen a 62,5 cm) = 18,75 m²
Parzellengröße zur Beprobung:	8 m x 1,25 m (2 Reihen a 62,5 cm) = 10 m²
Parzellengröße zur Ermittlung der Vorreinigungsverluste	4 m x 1,25 m (2 Reihen a 62,5 cm) = 5 m²

Die Anlage wurde so dimensioniert, dass bei jeder Versuchsparzelle rechnerisch mehr als 50 Pflanzen für die Beprobung zur Verfügung stehen.

Der Streckenabschnitt zwischen zwei aufeinander folgenden Beprobungspartellen wird für den Variantenwechsel bei laufendem Betrieb benötigt.

Abbildung 25 zeigt den Fahrplan für die Versuchstechnik sowie die Fahrspuren des Traktors bei der Pflanzung und den Pflegemaßnahmen.

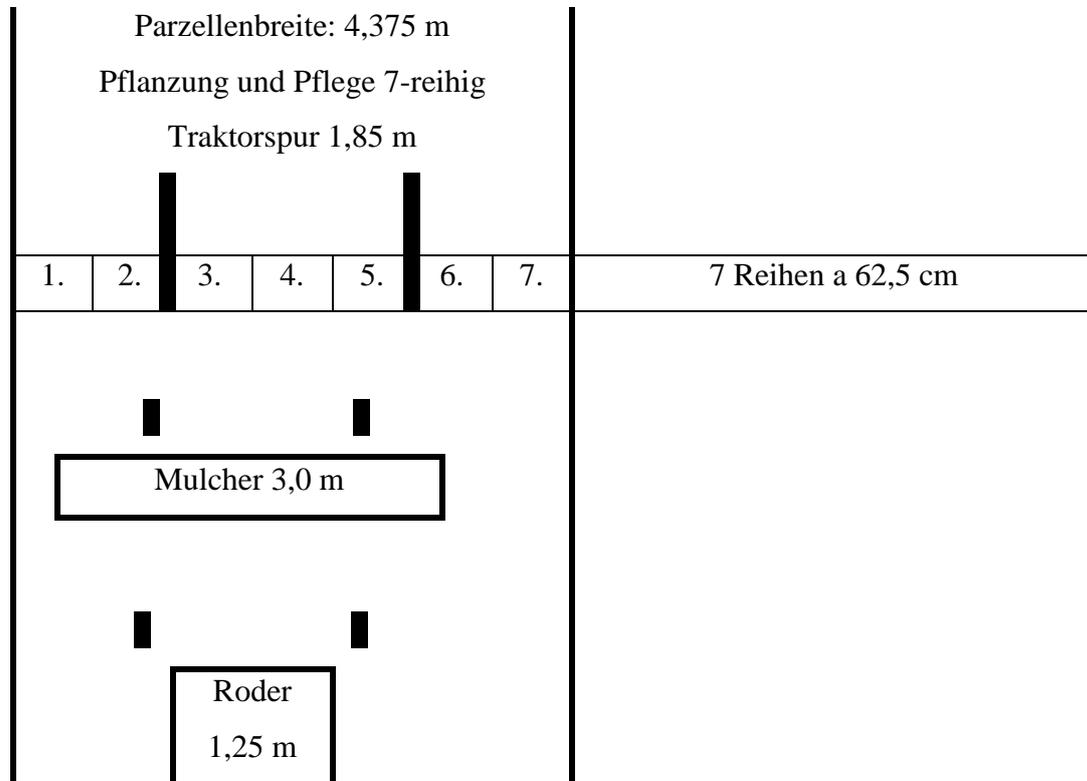


Abbildung 25: Technik Fahrplan

Die Parzellen werden 7-reihig gepflanzt und gepflegt. Hierfür liegen die Fahrspuren immer zwischen der zweiten und dritten sowie zwischen der fünften und sechsten Reihe. Im Versuch wird nur die dritte und vierte Reihe geerntet. Diese beiden Rodereihen werden beim Roden als auch beim vorhergehenden Mulchen, bzw. Beseitigen des Krautes, nicht überfahren, damit keine zusätzlichen Verdichtungen im Wurzelbereich auftreten, welche die Ergebnisse beeinflussen.

4.4.7.7 Erntetermine

An vier Ernteterminen (Tabelle 20) werden die drei Reinigungssysteme bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen miteinander verglichen.

Tabelle 20: Erntetermine

Versuch:	Termin:
1. Erntetermin (sehr trocken)	17. und 18. August 2011
2. Erntetermin (trocken)	14. und 15. September 2011
3. Erntetermin (nass, 25 l/m ² beregnet)	5. Oktober 2011
4. Erntetermin (sehr nass)	13. Oktober 2011

Bei sehr trockenen Bodenverhältnissen werden am 17. August drei Wiederholungen gerodet. Die vierte und fünfte Wiederholung wird am 18. Aug., unter gleichen Verhältnissen durchgeführt. Am zweiten Erntetermin findet die Ernte unter trockenen Bedingungen statt. Die ersten vier Wiederholungen werden am 14. September, die fünfte Wiederholung wird am darauffolgenden Tag ausgeführt. Da sich die Ergebnisse der ersten beiden Erntetermine unter idealen trockenen Erntebedingungen bestätigen, werden die Reinigungssysteme zum dritten Erntetermin bei nicht idealen Verhältnissen getestet. Am Vortag des dritten Erntetermins (Abbildung 26) werden deshalb die vom Kraut befreiten Ernteparzellen mit 25 l/m² bewässert.



Abbildung 26: Ernteparzelle unmittelbar nach Bewässerung

Die Wassergabe erfolgt mit einem Güllefass auf einer Breite von 2 m über den Erntereihen. Die Wasserverteilung ist nicht optimal. Augenscheinlich sammelt sich und versickert zwischen den Reihen mehr Wasser als auf der Krone und den Flanken des Dammes.

Der ursprünglich nicht geplante vierte Erntetermin erfolgt am 13. Oktober nach einer Regenperiode. An diesem zusätzlichen Erntetermin werden die drei Reinigungssysteme unter grenzwertigen Bedingungen verglichen. Auf Grund des sehr nassen Bodens zum vierten Erntetermin ist die Auswertung des Versuches nicht unter ebenbürtigen Bedingungen möglich. Zudem ist die technische Ausstattung für die Versuchsauswertung mehrerer Wiederholungen unter sehr nassen Bedingungen nicht vorhanden, deshalb wird der Versuch ohne Wiederholungen ausgeführt.

4.4.7.8 Versuchsdurchführung

Die Durchführung der Versuche erfolgt bei allen vier Ernteterminen nach dem gleichen Schema (Abbildung 27). Nur am vierten Erntetermin wird ein Teil des Probenmaterials für die Auswertung zusätzlich vorgetrocknet.

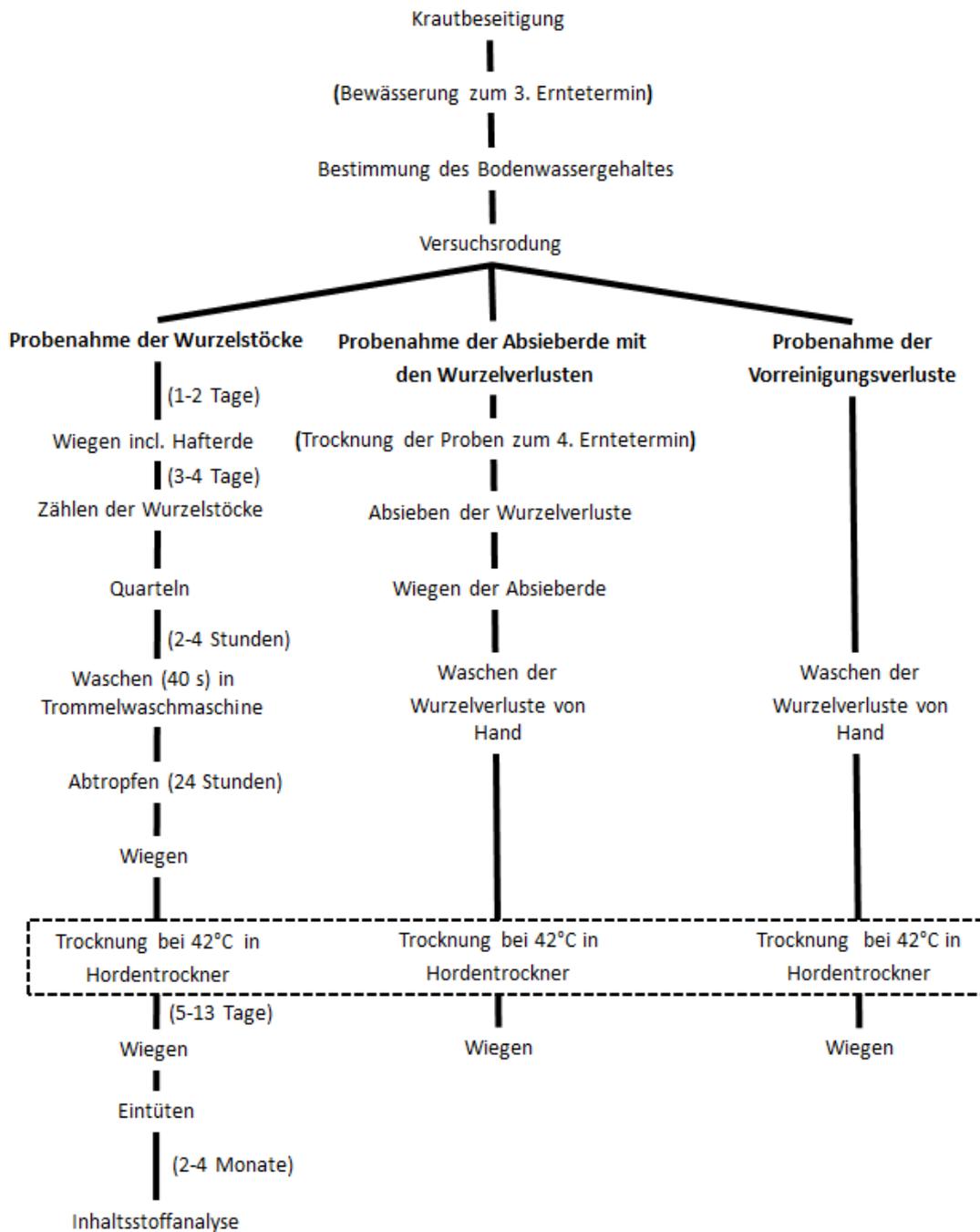


Abbildung 27: Schema der Versuchsdurchführung

Am linken Pfad sind die Zeitdifferenzen zwischen den einzelnen Arbeitsschritten von der Probenahme der Wurzelstöcke bis zur Inhaltstoffanalyse mit abgebildet. Die einzelnen Proben werden in einem Hordentrockner bei 42°C gemeinsam nebeneinander getrocknet, damit sie bei der anschließenden Gewichtsermittlung den gleichen Feuchtegehalt haben.

Krautbeseitigung:

Das Baldriankraut aller Parzellen eines Erntetermins wird mit einem Schlegelmulcher (Arbeitsbreite: 3 m) vor der Ernte zerkleinert. Auf den Ernteparzellen liegende Krautreste werden mit einem Laubbläser beseitigt, damit sie beim Absieben der Wurzelverluste nicht hindern. Die Ernteparzellen werden vom Traktor, der das Mulchgerät antreibt, nicht überrollt. Der Traktor fährt mittig über den beiden Erntereihen. Die Randreihen der Parzellen, welche durch die um 1,37 m schmalere Arbeitsbreite des Mulchers gegenüber der Parzelle nicht gemulcht werden, bleiben stehen. Diese Randreihen fungieren als Laubfang bei der Krautrestebeseitigung mit dem Laubbläser. Die Mitte der Ernteparzellen wird am Anfang und am Ende mit weißen Stäben markiert, damit dem Fahrer des Mulchgerätes ein exaktes Spurhalten erleichtert wird.

Bestimmung des Bodenwassergehaltes:

Da mit den Witterungsdaten nur eine allgemeine Aussage über die Bodenfeuchtigkeit zum Zeitpunkt der Ernte möglich ist, wird der Bodenwassergehalt jeder einzelnen Parzelle ermittelt. Für die Bestimmung des Bodenwassergehaltes werden mit der Bohrstockmethode Materialproben bis zur Rodetiefe entnommen. Je Parzelle werden drei Proben unmittelbar vor dem Roden gezogen. Der Bohrstock wird zwischen zwei Pflanzen auf der Krone des Dammes in den Boden geschlagen. Die Materialproben werden direkt nach der Entnahme am Feld gewogen. Anschließend wird die Probe in einem Trockenofen bei ca. 105 °C getrocknet bis sich Gewichtskonstanz bei aufeinanderfolgenden Wägungen einstellt. Der gravimetrische Wassergehalt W_g ergibt sich aus der Masse der feuchten Probe m_f und der Masse der trockenen Probe m_t :

$$W_g = (m_f - m_t)/m_t$$

Versuchsrodung:

Der Beginn der Ernteparzellen wird mit Stäben markiert. Die zwei Reihen der Ernteparzellen werden gleichzeitig bei einer Überfahrt gerodet. Der Variantenwechsel erfolgt während des Rodens einer Wiederholung im laufenden Betrieb ohne Stillstand der Rodermaschine. Alle Wiederholungen der Anlage werden in eine Richtung gerodet. Das Erntematerial wird über den jeweils gerodeten zwei Reihen abgelegt. Bei den Reinigungssystemen „Siebband“ und „Rotation“ fallen die Wurzelstöcke direkt auf den Boden. Bei dem Reinigungssystem „Siebstern“ werden sie über das Leitsegel auf den Boden abgelegt. Die Probenahme erfolgt mittels Unterziehfolien (Abbildung 28). Eine unter dem Roder auf eine Trommel aufgewickelte Plane (10 m x 4 m) wird während der Rodung der Versuchspartzellen abgerollt und somit unter dem Reinigungsmodul hindurch gezogen.



Abbildung 28: Hinter dem Roder abgelegte Folien bei der 3. Wiederholung

Vor Rodebeginn der einzelnen Wiederholungen mit jeweils drei Varianten werden drei Planen auf den Planenabroller aufgewickelt (je Variante eine Plane). Beginn der Ablage erfolgt auf Höhe der Stäbe, welche den Beginn der Ernteparzelle markieren. Direkt nach dem Abrollen der Folie wird das Reinigungssystem gewechselt. Durch den Variantenwechsel während des Rodens verringert sich der Abstand zwischen den aufeinanderfolgenden Parzellen gegenüber einem Wechsel mit Stillstand der Maschine, da ein er-

neutes Anfahren der Rodemaschine entfällt. In Tabelle 21 sind die Einstellungen der Erntemaschine dargestellt.

Tabelle 21: Einstellungen der Erntemaschine

Rodebreite:	1,25 m
Rodetiefe:	17,5 cm
Rodegeschwindigkeit:	0,8 km/h
Zapfwellendrehzahl:	400 U/min
Geschwindigkeit Aufnahmeband:	1,3 m/s
Geschwindigkeit 1. Siebband:	1,0 m/s
Geschwindigkeit 2. Siebband:	1,5 m/s
Geschwindigkeit 3. Siebband:	1,7 m/s
Drehzahl Siebstern:	2 U/s

Die Einstellungen werden unabhängig von den Erntebedingungen bei allen vier Ernteterminen beibehalten.

Probenahme der Wurzelstöcke:

Für die Probenahme werden 8 m in Längsrichtung auf der Plane (Länge 10 m) heraus gemessen. Der Messabschnitt beginnt 1 m nach dem Planenanfang bzw. 1 m nach dem Anfang der Ernteparzelle. Außerhalb des Abschnitts auf der Folie liegende Erde und Wurzeln werden mit einem Besen entfernt. Die Wurzeln werden unmittelbar nach dem Roden einer Wiederholung von ein und derselben Person gewendet und in Transportbehälter abgelegt. Durch eine Wendung der Wurzeln um 180° werden lose Wurzeln und Erde beseitigt, welche von den Reinigungssystemen auf die Wurzelstöcke geschleudert werden. Die Drehung erfolgt über der Folie. Als Transportbehältnis werden mit Folie ausgekleidete Gitterkisten (60 x 40 x 28 cm) verwendet. Damit keine Gewichtsverluste durch Feuchteentzug entstehen, werden die Behälter geschlossen, bzw. die Folien mit Klebeband abgedichtet. Nach Abschluss der Rodearbeiten werden die Wurzeln zum Baumannshof in Forstwiesen transportiert und dort gewogen. Nach dem Wiegen bis zur weiteren Verarbeitung bleiben die Transportbehälter geöffnet, damit sich die Wurzeln nicht eigenerwärmen. Vor dem Waschen mit einer Trommelwaschmaschine werden die Wurzelstöcke gezählt und mit einer Hacke geviertelt. Durch das Quarteln lassen sich die

Wurzeln leichter reinigen. Die Wurzeln werden 40 Sekunden in einer offenen Waschtrommel bei fließendem Wasser gereinigt. Vor der Wiegung der Frischmasse tropfen die Wurzeln 24 Stunden ab. Anschließend werden diese bei 42°C bis unter 12 % Restfeuchte getrocknet. Der Trocknungsprozess wird nach einem Tag für ca. 24 Stunden unterbrochen, damit das Wasser aus den dickeren Rhizomstücken nach außen nachgeliefert wird, ohne dass eine Übertrocknung der Wurzeln stattfindet. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt, bis Lagerfähigkeit (Tabelle 22) erreicht ist.

Tabelle 22: Trocknungszeit der geviertelten Wurzelstöcke

Erntetermin	Trocknungsdauer in Tagen
1.	5
2.	7
3.	9
4.	13

Nach der Wiegung der Wurzelmasse, aus der der Wurzelertrag in kg/ha errechnet wird, wird aus den Proben eine Mischprobe von ca. 300 g für die Inhaltsstoffuntersuchung gezogen. Die Mischprobe wird eingetütet und in einem Probenlagerraum bis zur Untersuchung zwischengelagert. Die Proben aller vier Erntetermine werden gemeinsam an das Labor verschickt und dort analysiert.

Probenahme der Absieberde mit den Verlustwurzeln:

Die Wurzelverluste, welche durch die drei Reinigungssysteme verursacht werden, befinden sich in der abgeseibten Erde des herausgemessenen Abschnitts auf der abgerollten Plane. Die Absieberde mit den Wurzelverlusten wird nach dem Entfernen der Wurzelstöcke in Kisten gefüllt und zur Landtechnik nach Freising transportiert. Dort werden die Verlustwurzeln mit zwei Handsieben von der Absieberde getrennt. Die Maschenweite der Siebe beträgt 5 mm und 23 mm. Die Absieberde wird gewogen. Die separierten Verlustwurzeln werden zum Baumannshof transportiert, dort von Hand in einer geschlossenen Wanne gewaschen, im Hordentrockner zusammen neben den Wurzelstöcken auf dieselbe Endfeuchte getrocknet und gewogen.

Zum vierten Erntetermin wird die nasse Absieberde mit den Verlustwurzeln vor dem Separieren getrocknet. Zum Trocknen wird das Probenmaterial auf der Folie offen am Feld belassen. Bei Regen wird die Folie eingeschlagen. Da mit dieser Methode inner-

halb von zwei Wochen kein erkennbarer Trocknungserfolg eintritt, wird das Probenmaterial breitflächig mit einem Rechen auf dem Betonboden in einer Maschinenhalle am Baumannshof verteilt. Die Siebfähigkeit ist nach einer Woche erreicht. Harte Kluten werden mit einer Gartenwalze zerdrückt, damit sich eingeschlossene Wurzeln lösen. Der Wassergehalt der abgeseibten Erde unmittelbar nach dem Roden und nach der Trocknung wird bestimmt, damit daraus die Masse der Absieberde zum Rodezeitpunkt errechnet werden kann. Je Parzelle werden drei Proben von Hand entnommen. Die erdfeuchten Materialproben werden direkt nach der Entnahme gewogen. Anschließend werden die Proben in einem Trockenofen bei ca. 105 °C getrocknet bis sich Gewichtskonstanz bei aufeinanderfolgenden Wägungen einstellt.

Probenahme der Vorreinigungsverluste:

Bei der „Probenahme der Vorreinigungsverluste“ werden Wurzelverluste ermittelt, die vor den drei zu prüfenden Reinigungssystemen entstehen, verursacht durch die Rodeaggregate im Trägerfahrzeug. Diese Wurzelverluste fallen vor dem Leitsegel des Planenabrollers samt Erdmaterial auf den Boden. Durch eine Unterziehfolie sind sie von den Wurzelstöcken, der Absieberde und den Wurzelverlusten der drei Systeme, die miteinander verglichen werden, getrennt.

In fünf ausgewählten Parzellen werden die unter der Plane bis zum Rodehorizont liegenden Wurzelverluste erfasst. Nach dem Beseitigen der Plane werden dazu fünf Quadratmeter (4 m x 1,25 m) mittig der Beprobungsparzelle heraus gemessen und mit weißen Stäben markiert. Die Wurzeln werden von Hand bis zur Rodetiefe aufgesammelt. Das Verlesen erfolgt nach Abschluss der Rodearbeiten eines Erntetermins von mehreren Personen. Damit keine personenbedingten Unterschiede zwischen den fünf Parzellen auftreten, wechselt das Verlesepersonal mehrmals die Parzellen in einem sogenannten Rotationssystem. Die aufgesammelten Wurzelverluste werden am Baumannshof von Hand in einer geschlossenen Wanne gewaschen, im Hordentrockner zusammen neben den Wurzelstöcken auf dieselbe Endfeuchte getrocknet und gewogen.

4.4.7.9 Inhaltsstoffanalyse

Die Wurzelproben werden bei der Firma „IGV Institut für Getreideverarbeitung GmbH“ auf Trocknungsverlust, ätherischer Ölgehalt und Sesquiterpensäure berechnet als Valerensäure untersucht. Die Analysemethoden erfolgen nach den Richtlinien der Mono-

graphie für Baldrianwurzeln der sechsten Ausgabe des Europäischen Arzneibuches. Bei der Analyse der Valerensäure ist mit einer Schwankung bis zu 5 %, bei der Bestimmung des äth. Ölgehalts bis zu 10 % zu rechnen (Bauer mann, 2013).

4.4.8 Wurzelverlustbestimmung in der Aufnahmevorrichtung

Bei dem Vergleich der drei Reinigungssysteme als auch bei der Schwachstellenanalyse wurde beobachtet, dass bei hohem Ertragsniveau die einzelnen Wurzelstöcke mit dem Aufnahmeband nach den Blattscharen nicht vollständig voneinander gelöst werden. Durch Integration einer Einzugs- bzw. Reißtrommel soll die Vereinzelung effektiver erfolgen. Mit rostartigen Rundscharen soll zudem das Trennverfahren der Siebklassierung auch im Bereich der Entnahme frühzeitig zur Anwendung kommen. Im Gegensatz zu den Blattscharen, wird bei den Rundscharen die Erdschicht, in der sich die Wurzeln befinden, nicht vollständig durch einen geraden Schnitt vom Unterboden getrennt. Im Versuch wird geklärt, ob sich die Blattschar von den Rundscharen bezüglich der Wurzelverluste unterscheidet. Neben der Unterscheidung der Scharen soll der Versuch einen Richtwert für die zu erwartenden Wurzelverluste in der Aufnahmevorrichtung (Abbildung 29) mit integrierter Einzugstrommel liefern.



Abbildung 29: 1. Aufnahmevorrichtung mit verschiedenen Schararten,
r. Probenentnahme mit einem runden Handsieb.

Die beiden angespitzten 10 cm breiten Rundscharen werden mit einem 23 cm breiten Blattschar verglichen. Der Abstand zwischen den beiden Rundscharspitzen beträgt 17 cm. Die Scharen und die Reißtrommel sind in das Trägerfahrzeug (siehe Kap. 4.4.7.2) integriert.

Mit der Aufnahmevorrichtung werden am 17. Sept. 2012 am Standort „Baumannshof“ (Tabelle 23) bei trockenen Bodenverhältnissen Wurzeln aus einem zweijährigen Bestand gerodet. Das Kraut wird vor dem Roden maschinell beseitigt.

Tabelle 23: Ackerdaten des Versuchsfeldes am Standort „Baumannshof“ im Jahr 2012

Bodenart:	Schwach lehmiger Sand	Bodenpunkte:	29
Sorte:	Zuchtmaterial	pH-Wert:	4,6
P ₂ O ₅ :	12 mg/100g	K ₂ O:	8 mg/100g
Reihenabstand:	41,7 cm	Pflanzabstand:	25 cm
Parzellengröße:	1,25 m ²	Rodtiefe:	17 cm

Im Versuch werden aus zwei anliegenden Randreihen aus dem Zuchtprogramm fünf Teilstücke quer herausgerodet. Die gerodeten Wurzeln werden über die Scharen und das Aufnahmeband auf das 1. Siebband abgelegt und von Hand entnommen. Die gerodete Fläche (Abbildung 30) wird bis zu einer Tiefe von 22,5 cm muldenförmig beprobt.

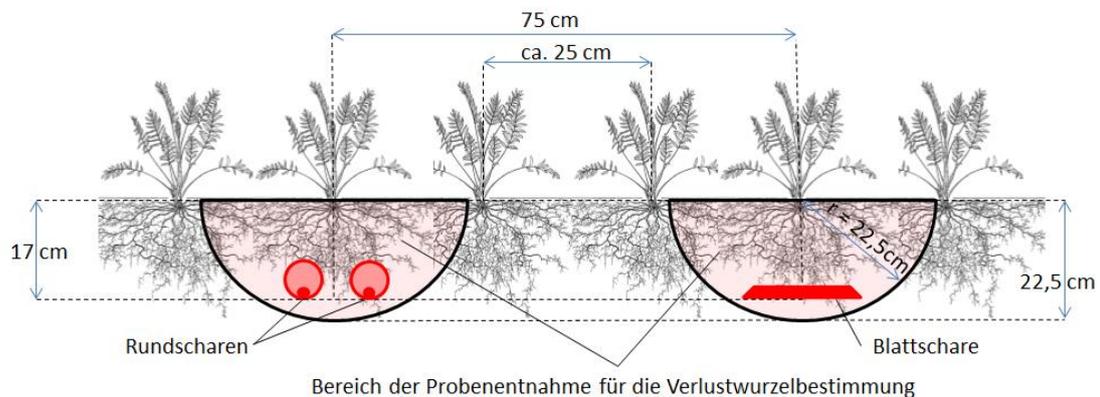


Abbildung 30: Versuchsanlage für die Erfassung der Wurzelverluste in der Aufnahmevorrichtung mit unterschiedlichen Scharen

Die Entnahme und das Absieben des Bodens, in dem sich die Verlustwurzeln befinden, erfolgt mit einem Rundsieb. Die Maschenweite des Siebes beträgt 5 mm. Das Probenmaterial wird von Hand gewaschen, anschließend bei 42°C bis unter 12 % Restfeuchte getrocknet und die ermittelten Gewichte ins Verhältnis gesetzt.

4.4.9 Testung der Aufnahmevorrichtung in verschiedenen Anbauverfahren

Für die Überprüfung der Einsatzfähigkeit der Aufnahmevorrichtung aus dem vorhergehenden Versuch (Kap. 4.4.8) wird am Standort „Baumannshof“ ein Feld mit sechs verschiedenen praxisrelevanten Anbauverfahren (Tabelle 24) angelegt. Der Versuch wird als nicht randomisierter Streifenversuch mit drei Wiederholungen ausgeführt.

Tabelle 24: Anbauverfahren bei Baldrian im Streifenversuch mit der Sorte B-19

Anbauverfahren	Saatstärke	Saattermin
1. Herbstsaat Damm	3,6 kg/ha bei 39 % KF	29.8. 2011
2. Herbstsaat flach		
3. Frühjahrssaat Damm	3,6 kg/ha bei 39 % KF	23.3.2012
4. Frühjahrssaat flach		
	Pflanzabstand	Pflanztermin
5. Frühjahrspflanzung Damm	75 cm x 30 cm	13.4.2012
6. Frühjahrspflanzung flach		29.3.2012

In die 1,5 m breiten und 29,3 m langen Versuchspartzellen werden jeweils zwei Reihen im Abstand von 75 cm mit Baldrian in den verschiedenen Anbauverfahren gepflanzt bzw. gesät. Die sechs Varianten werden mit der Aufnahmevorrichtung (Abbildung 29 links, Kap. 4.4.8), welche in das Trägerfahrzeug (siehe Kap. 4.4.7.2) integriert wurde, gerodet. Das Trägerfahrzeug wurde mit einem Querelevator (Abbildung 31) ausgestattet, in den die Wurzeln über ein Gleitsegel rutschen. Der Siebsterne und das System „Rotation“ werden nicht eingesetzt. Die Wurzeln werden zur Probenahme in big bags gefüllt.



Abbildung 31: Trägerfahrzeug mit Leitsegel und Querelevator zum Befüllen von Probenbehältnissen

Der Ernteprozess wird in Bezug auf das Trennen von Wurzelverbänden und Blockaden in der Erntemaschine beurteilt. Blockaden bei der Umlenkung des Gutstroms in den Querelevator als auch nicht aufgelöste Wurzelverbände werden erfasst. Wurzelverbände die länger als 50 cm sind gelten als nicht aufgelöst. Dies entspricht in etwa dem Durchmesser eines großen Wurzelstocks. Die Überprüfung der Länge der Verbände erfolgt beim Quarteln vor dem anschließenden Waschvorgang (siehe Kap.4.4.7.8). Neben den technischen Aspekten der Zerkleinerungswirkung und der Gutführung werden im Versuch auch pflanzenbauliche Aspekte mitbetrachtet, welche für eine zukünftige Weiterentwicklung gerade im Hinblick auf den Dammanbau von Bedeutung sein könnten. Der Erdbesatz, die Inhaltsstoffgehalte (Valerensäure- und äth. Ölgehalt) und der Drogenertrag werden miteinander verglichen. Die Bestimmung des Erdbesatzes, des Drogenertrags und der Inhaltsstoffgehalte erfolgen nach dem gleichen Schema wie bei dem Vergleich der drei Reinigungssysteme in Kap. 4.4.7. In der Tabelle 25 sind schlagbezogene und technische Daten der Versuchsdurchführung abgebildet.

Tabelle 25: Schlagbezogene und technische Daten der Versuchsanlage zur Testung der Aufnahmevorrichtung

Bodenart:	Schwach lehmiger Sand	Bodenpunkte:	29
Sorte:	B-19	pH-Wert:	4,6
P ₂ O ₅ :	12 mg/100g	K ₂ O:	8 mg/100g
Parzellengröße:	43,95 m ²	Reihenabstand:	75 cm
Rodetiefe:	17,5 cm	Rodebreite:	150 cm
Rodegeschwindigkeit:	1,5 km/h	Zapfwellenumdrehung:	400 U/min

Die Bandgeschwindigkeiten der einzelnen Siebbänder sind dieselben wie in Tabelle 21 beim Vergleich der drei Reinigungssysteme. Die Versuchsanlage wurde am 20. Juli und am 1. Aug. 2012 mit jeweils 30 l/m² beregnet, nachdem bei den Pflanzen im Dammanbau Welkeerscheinungen sichtbar wurden. Die Ernte wird am 25. Sept. 2012 ohne den Einsatz von Rüttelelementen bei trockenen Bodenverhältnissen ausgeführt. Das Kraut wird am Vortag mit einem Schlegelmulcher entfernt.

4.4.10 Wurzelverlustermittlung im neuen Erntesystem

Das neuentwickelte 1-phasige Erntesystem wird in den Erntekampagnen 2013 und 2014 auf den Praxisschlägen (Tabelle 26) des Kooperationsbetriebes eingesetzt und bezüglich ihrer Wurzelverluste validiert. Die Anbaufläche des Betriebes beträgt jährlich 22 ha Baldrian. Die Untersuchungen fanden jeweils auf einem ausreichend großen zusammenhängenden Schlag statt.

Tabelle 26: Schlagbezogene und technische Daten der Versuchsanlagen zur Erfassung der Wurzelverluste im 1-phasigen Erntesystem in den Kampagnen 2013 und 2014

Standort:	Rockendorf an der Werkstatt	Zella
Erntetermin:	30. Okt. 2013	12. Nov. 2014
Bodenart:	wechselnd zw. Sand u. Lehm, überwiegend lehmig	wechselnd zw. Sand u. Lehm
Schlaggröße:	9 ha	8,5 ha
Bodenverhältnisse:	trocken	feucht
Sorte:	MB	MB
Pflanzabstand:	25 cm	25 cm
Reihenabstand:	62,5 cm	62,5 cm
Rodestrecke:	214 m	376 m
Rodebreite:	125 cm	125 cm
Rodtiefe:	17 cm	17 cm
Zapfwellenumdrehung:	650 U/min	650 U/min
Rodegeschwindigkeit:	3,3 km/h	1,2 km/h
Anzahl Bohrkerne:	8	10

In den vorausgegangenen Versuchen wurden die Aufnahmevorrichtung mit den unterschiedlichen Schartypen inklusive der Reißtrommel und die verschiedenen Reinigungssysteme einzeln hinsichtlich ihrer Wurzelverluste geprüft. Im neuen 1-phasigen Erntesystem ist die Aufnahmevorrichtung nochmals modifiziert worden und im Anschluss daran folgt das Reinigungssystem „Rotation“ dreifach in Reihe geschaltet. Zur Umlenkung des Gutstroms in den steil fördernden Elevator, der einem Siebband mit Mitnehmern entspricht, wird ein Siebsterne eingesetzt. Für die theoretische Berechnung der Ge-

samtwurzelverluste werden die in den vorausgegangenen Versuchen ermittelten Verluste der einzelnen Systeme entsprechend der Häufigkeit ihrer Anwendung addiert. Zur Validierung des errechneten Wertes werden in der Kampagne 2013 die Wurzelverluste am Standort „Rockendorf an der Werkstatt“ und im Jahr 2014 am Standort „Zella“ erfasst. Zur Ermittlung der Erträge im Bereich der Verlustwurzelbestimmung werden die Schläge, auf denen im Frühjahr gepflanzter Baldrian steht, vollständig durchgerodet. Die Einstellungen der Maschine entsprechen denen aus Tabelle 21 in Kap. 4.4.7.8. Die Bandgeschwindigkeiten in der Erntemaschine sind entsprechend der veränderten Zapfwellendrehzahl im Praxiseinsatz um den Faktor 1,6 erhöht. Die Siebsterndrehzahl bleibt gleich. Die gerodeten Wurzeln werden nach dem Reinigen in der Waschanlage des Kooperationsbetriebes mit anschließender Abtropfphase von einer Stunde gewogen. Zur Berechnung des Drogenertrags werden 21 % Waschverluste, welche in der Anlage im Jahr 2012 gemessen wurden, aufaddiert. Über das Eintrocknungsverhältnis von Proben, welche aus den abgetropften Wurzeln entnommen werden, wird der Drogenertrag berechnet.

In den Rodeparzellen werden mit der Bohrstockmethode mehrere Bohrkerne gleichmäßig verteilt über die Versuchsfläche jeweils mit einer Fläche von 0,096 m² bis zu einer Tiefe von 17 cm entnommen. Das Probenmaterial wird auf dem Boden einer Maschinenhalle breitflächig zum Trocknen ausgebreitet. Nach erfolgter Abtrocknung werden die Wurzelverluste wie in dem Vergleich von drei Reinigungssystemen in Kap. 4.4.7 bestimmt.

Über die gemittelten Wurzelverluste und den geernteten Drogenertrag wird der mögliche Gesamtertrag berechnet zu dem die Verluste in Relation gesetzt werden.

4.4.11 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Versuchsdaten erfolgt mit der Statistiksoftware „R“. Im Rahmen einer Varianzanalyse werden Gruppenmittelwerte mit dem Tukey-HSD-Test auf signifikante Unterschiede (p-Wert < 0,05 = signifikant) überprüft. Vorab wird die Normalverteilung der Residuen mit dem Shapiro-Wilk-Test, die Varianzhomogenität der Residuen mit dem Bartlett-Test geprüft. Als parameterfreies Verfahren der Varianzanalyse wird der Friedman-Rangsummentest, für multiple Vergleiche der Wilcoxon-Test durchgeführt.

5 Ergebnisse

Nachfolgend sind die anwendbaren Wirkprinzipien, die Systematisierung mit der vorausgegangenen Schwachstellenanalyse und die wesentlichen Neuentwicklungen zur Erreichung des Hauptziels dargestellt. Im Anschluss folgen die Ergebnisse aus diversen Feldversuchen im Zeitraum von 2010 bis 2014, welche zur Entscheidungsfindung und zur Validierung beigetragen haben.

5.1 Anwendbare Wirkprinzipien für die Ernte von Baldrianwurzeln

Für die Entnahme der Wurzeln aus dem Boden scheiden die Wirkprinzipien Hebeln und Ziehen auf Grund der Morphologie der Baldrianwurzeln aus (siehe Versuch Kap. 5.5.4). Für eine vollständige Entnahme der Wurzeln aus dem Bodengefüge verbleibt somit ausschließlich das Prinzip des Schneidens.

Sind die Wurzeln in der Erde zu einem teppichartigen Verbund zusammengewachsen, so müssen die einzelnen Wurzelstöcke möglichst als Ganzes aus diesem herausgelöst bzw. –gebrochen werden.

Für die Trennung des überwiegend feinkörnigen Bodenmaterials von den groben Baldrianwurzeln ist die Siebklassierung über Roste gegenüber allen anderen aufgeführten Trennverfahren zu bevorzugen.

Eine Voraussetzung für das Separieren von Erde und Baldrian ist ein relativ lockerer offener Verbund beider Materialien. Durch die am Rhizom hängenden Adventivwurzeln wird Erdmaterial, welches nahe am Rhizom zwischen den Wurzeln liegt, fixiert. Selbst gelöstes Material kann aus dem Wurzelstock nicht entweichen, weil dieser von den feinen Wurzeln umschlungen wird. In einem Reinigungssystem für Baldrian muss deshalb ein Loslassen der Erde durch die Wurzeln mit möglichst wenigen Wurzelverlusten erreicht werden. Eine behutsame Krafteinwirkung, möglichst nicht an einer Festkörperfläche, sondern durch Fliehkraft oder Eigenschwingung mit dem Ziel der Zerkleinerung bzw. des Herauslösen der Erde aus den Wurzeln, soll Anwendung finden.

Sollen stetig hohe Förderleistungen erzielt werden, so bedarf es eines breiten mechanisch wirkenden Stetigförderers mit Zugmittel. Nach der Reinigung des Produkts, wodurch sich der Durchmesser der Baldrianwurzel verringern wird, können schmalere Förderer eingesetzt werden. Steile Anstiege lassen sich durch den Einsatz von Mitnehmern realisieren.

5.2 Systematisierung bestehender Erntesysteme mit Schwachstellenanalyse

Bei der Visite von Baldriananbaubetrieben wurden ausschließlich 2-phasige Erntesysteme vorgefunden (siehe Anhang B). In der ersten Phase (Tabelle 27) werden die Wurzeln aus dem Boden geschnitten. Die Vorreinigung erfolgt ausschließlich auf Rosten. Bei der Siebklassierung mittels Siebband werden die Wurzeln auf einen Schwad, bei den bewegten Rosten hingegen breitflächig auf den Boden abgelegt.

Tabelle 27: Systematisierung bestehender Erntesysteme

Arbeitsschritt	Wirkprinzip	Verwendete Systeme
1. Phase		
Entnahme	<i>Schneiden</i>	Passive Blattschar Aktive Blattschar
Vorreinigung	<i>Siebklassierung</i>	Siebband Bewegte Roste
Ablage auf Boden	<i>Schwerkraft</i>	Schwadablage Breitflächige Ablage
2. Phase		
Aufnahme	<i>Ziehen</i>	Modifiziertes Siebband Modifizierter Siebstern Gabel (manuell)
Nachreinigung	<i>Siebklassieren</i>	Siebband Siebstern
	<i>Klauben</i>	Gabel (manuell)
Überladen	<i>Stetigfördernd</i>	Siebband mit Mitnehmer
	<i>Intermittierend</i>	Gabel (manuell)

In der zweiten Phase werden die Wurzeln manuell oder mechanisiert aufgenommen, erneut gereinigt und auf ein Transportfahrzeug geladen. Zusammenhängende Wurzelstöcke werden zwischen den beiden Phasen bzw. vor oder während des Aufnehmens durch das Herausziehen aus dem Schwad teilweise vereinzelt.

Mit dem universell einsetzbaren Siebband lassen sich alle Arbeitsschritte ausführen, ebenso wie mit der Gabel bei der manuellen Variante. Wegen der geringen vertikalen Förderleistung wird der Siebsterne nur zur Aufnahme des Gutes aus dem Schwad und zur Reinigung genutzt. Mit Siebkettenvorratsrodern wurden deutlich höhere Rodegeschwindigkeiten (Abbildung 32) erzielt als mit Schwingsiebrodern.

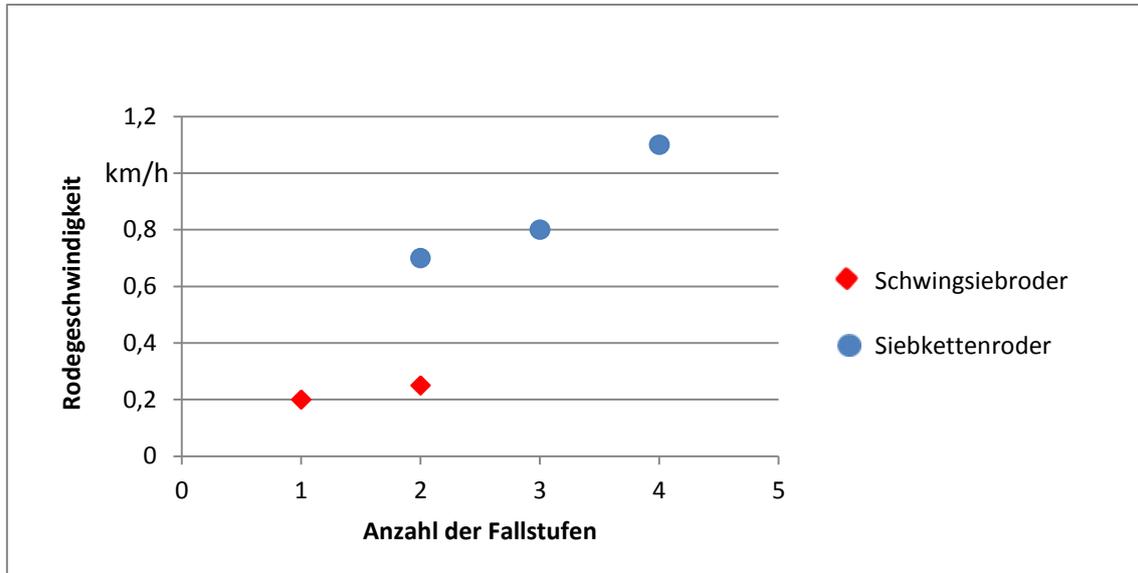


Abbildung 32: Rodegeschwindigkeit in Abhängigkeit der Fallstufen in Schwingsieb- und Siebkettenrodern

Bei den Siebkettenrodern mit einer höheren Anzahl an Fallstufen zwischen den reinigenden Rosten wurden höhere Rodegeschwindigkeiten gemessen. Die Rodetiefe bei der Baldrianernte liegt in der Praxis zwischen 10 cm und 20 cm.

Schwachstellen der mechanisierten Erntesysteme sind Blockaden im Gutfluss und mangelnde Reinigung der Wurzeln. Blockaden treten bei der Umlenkung von zusammenhängenden Wurzeln und bei der Entnahme (Abbildung 33) der Wurzeln über steil gestellte Scharen bei nassen Bodenverhältnissen auf.



Abbildung 33: Blockade in der Aufnahmevorrichtung (l. Seitenansicht, r. Frontansicht)

An der steil gestellten Schar (ca. 45°) des Vorratsroders schiebt sich die herausgeschnittene plastische Wurzel-Erde-Schicht zu einer Rolle auf und blockiert so die Aufnahmevorrichtung.

5.3 Entwicklung neuartiger Entnahme- und Reinigungssysteme

Durch die Fusion des zweigeteilten zu einem 1-phasigen Erntesystems gehen die Arbeitsschritte Ablage auf den Boden, Aufnahme und Nachreinigung verloren. Die Zerkleinerungs- und Trennprozesse müssen deshalb entsprechend effizienter gestaltet werden. Beim neuen Erntesystem wird das Prinzip der selektiven Zerkleinerung mit sofortigem Ausscheiden des zerkleinerten Feingutes angewandt.

5.3.1 Aufnahmevorrichtung mit Reißtrommel

Die Aufnahmevorrichtung eines Erntesystems (Abbildung 34) muss die Wurzeln aus dem Boden schneiden. Sind die Wurzeln zu einem teppichartigen Verbund zusammengewachsen, so muss dieser aufgelöst werden. Bodenmaterial, das dabei gelockert wird, soll baldmöglichst aus dem Gutstrom ausgeschieden werden. Das Trennverfahren der Siebklassierung wird deshalb schon frühzeitig im Bereich der Wurzelentnahme integriert. Durch Meißelscharen, die einem Siebrost gleichen, kann lose Erde abgesiebt werden. Mit einer Reißtrommel analog einem Walzenbrecher unmittelbar nach der Entnahme werden zusammenhängende Wurzelstöcke vereinzelt.

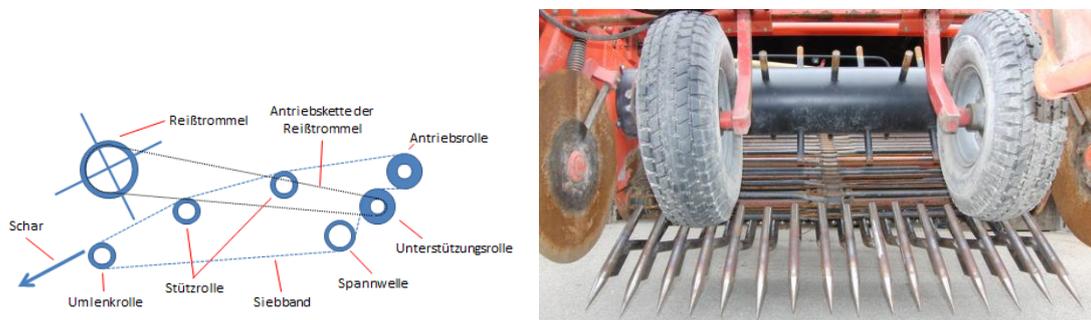


Abbildung 34: Aufnahmevorrichtung mit integrierter Reißtrommel (l. Skizze, r. Frontansicht)

Aus dem vom Unterboden gelösten Wurzel-Erde-Verbund werden einzelne Wurzelstöcke mit in den Verbund eingreifenden Zinken herausgezogen. Zeitgleich wird gelockertes Erdmaterial durch das Siebband abgeführt. Zur Verringerung von Scherkräften wird die äußere Umlaufgeschwindigkeit der Reißtrommel an die Siebbandgeschwindigkeit angeglichen. Über das Verhältnis von Rodegeschwindigkeit zur Bandgeschwindigkeit kann die Intensität der Entnahme variiert werden.

5.3.2 Reinigungssystem „Rotation“

Nachfolgende Reinigungssysteme sollen die vereinzelt Wurzelstöcke öffnen und das darin verfestigte Material lockern, damit das Bodenmaterial entweichen kann, welches sich zwischen den Wurzeln um das Rhizom befindet. Hierbei sollen keine Scherkräfte auftreten, die zu einem Abreißen der Wurzeln führen.

Diesen formulierten Anforderungen wird ein Ausschütteln der Wurzeln gerecht. Das Ausschütteln erfordert aber ein Fixieren der Pflanzen. Dies ist wegen der abnehmenden Stabilität über das Kraut nicht an allen Ernteterminen möglich. Die Möglichkeit einer

Fixierung über die unterirdischen Bestandteile der Pflanze wird verworfen, weil hierfür der technische Aufwand sehr hoch erscheint und zudem die Wurzeln über die Fixierung wiederum belastet werden.

Eine andere Möglichkeit ist das Herausschleudern des Bodenmaterials aus dem Wurzelstock durch Rotation (um die eigene Achse drehen). Bei der Rotation werden durch die Zentrifugalkraft Massen (Erde und Wurzeln) beschleunigt und bewegen sich von der Drehachse (Rhizom) weg. Am Rhizom hängende Wurzeln werden entgegen der Fliehkraft gehalten, dadurch gestreckt, folglich öffnen sich die Wurzeln und lose Erdpartikel werden aus dem Wurzelstock geschleudert. Die Umsetzung dieser theoretischen Überlegung soll auf einem Siebband erfolgen, weil dieses als Standardreinigungs- und Standardtransportsystem angesehen werden kann.

In Abbildung 35 ist die Überlegung eines Funktionsprinzips für die „Rotation“ auf einem Siebband mit verstellbarem Neigungswinkel abgebildet.

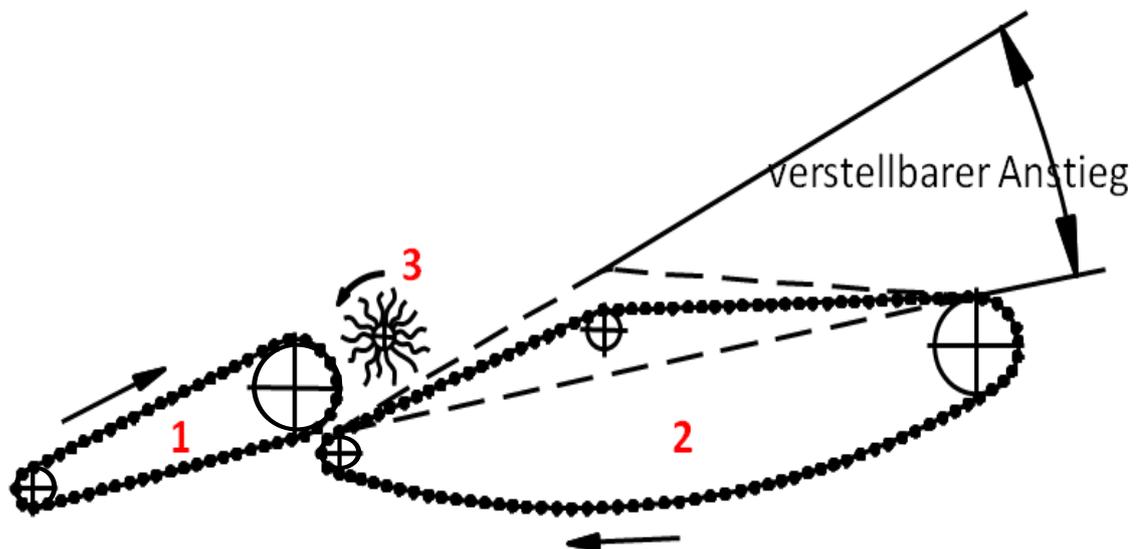


Abbildung 35: Funktionsprinzip „Rotation“

Die Wurzeln werden vom ersten Siebband (1) auf ein nachfolgendes Siebband (2) abgelegt. Durch einen steilen Anstieg zu Beginn des zweiten Bandes drehen sich die Wurzeln (3) entgegengesetzt der Laufrichtung des Siebbandes. Ein stufenlos verstellbarer

Anstieg und eine einstellbare Geschwindigkeit des zweiten Siebbandes ermöglichen ein Variieren der Rotationsgeschwindigkeit und damit der Reinigungsintensität. Die Krafteinleitung erfolgt über eine Festkörperfläche, dem Siebband.

5.4 Synthese zum 1-phasigen Erntesystem

Im morphologischen Kasten (Abbildung 36) ist die Ernte der Wurzeln in sechs Phasen gegliedert. Die ersten drei Phasen werden in der Aufnahmevorrichtung ausgeführt. Die beiden markierten Lösungswege für die Synthese zum 1-phasigen Erntesystem unterscheiden sich bei der vierten Phase, der Reinigung.

Phase	Funktion	Lösungen			
1	Ausschneiden	Durchgehende Blattschar 	Geteilte Blattscharen 	Rundscharen 	Rostartige Meißelscharen 
2	Vereinzeln	Siebband 	Siebsterne 	Doppeltes Siebband 	Reißtrommel 
3	Heben	Siebband 	Siebsterne 	Doppeltes Siebband 	Rotation 
4	Reinigen	Siebband 	Rotation 	Siebsterne 	
5	Umlenken	Siebband 	Siebsterne 		
6	Vertikal Fördern	Siebband 	Siebsterne 	Siebband mit Mitnehmern 	Doppeltes Siebband 

Abbildung 36: Morphologischer Kasten mit Lösungswegen für ein 1-phasiges Erntesystem

Zugunsten des Lösungsweges „B“ spricht die hohe Reinigungsleistung der Siebsterne. Die entscheidenden Nachteile dieser Lösung sind die nicht bzw. nur wenig regulierbare Intensität, mit der möglichen Folge höherer Wurzelverluste und die geringe vertikale Förderleistung. Im Lösungsweg „A“ mit der Rotation als Hauptreinigungssystem, welches je nach Bedarf zu- und abgeschaltet werden kann, kann die Intensität der Reini-

gung den Erntebedingungen entsprechend angepasst werden. Außerdem wird bei diesem Lösungsweg die für die Phasen 5 und 6 notwendige Förderhöhe schneller bzw. mit einer kürzeren Wegstrecke erreicht. Bei der Weiterentwicklung der Rodetechnik zum 1-phasigen Erntesystem wird insbesondere wegen der regulierbaren Intensität der Lösungsweg „A“ gewählt.

Für ein neues Erntesystem (Abbildung 37) wird im Anschluss an die Aufnahmevorrichtung mit Meißelscharen und Reißtrommel mehrmals hintereinander das System „Rotation“ angekoppelt. Die Umlenkung des Gutstroms in ein steil förderndes Siebband mit Mitnehmern (Überladeelevators) erfolgt mit einem Siebstern, der bei Bedarf entfernt werden kann.

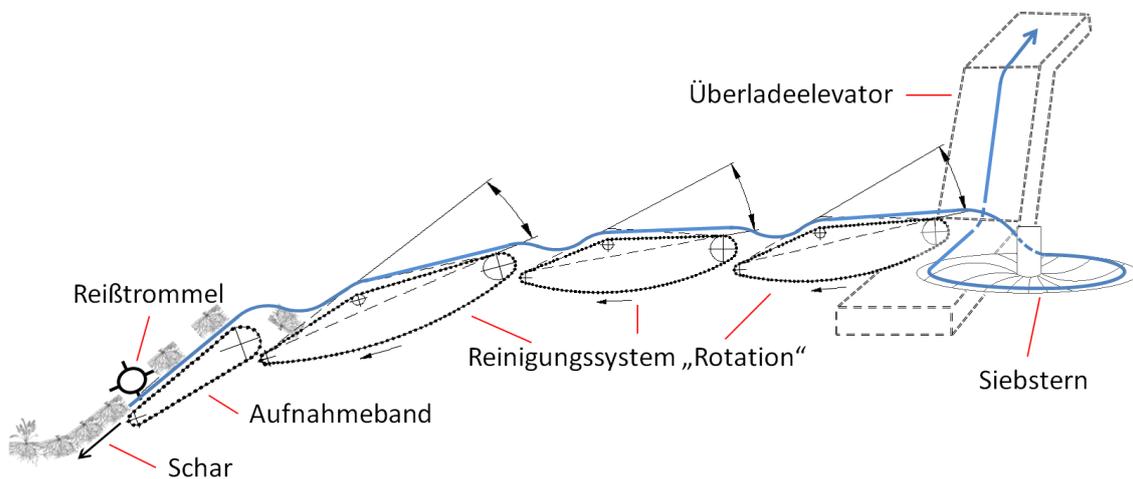


Abbildung 37: Funktionsschema des neuen 1-phasigen Erntesystems

Das Funktionsschema wird in den Kartoffelrodeler integriert, der in dem Feldversuch „Vergleich von drei Reinigungssystemen“ in Kap. 4.4.7.2 als Trägerfahrzeug diente.

5.5 Feldversuche

Als Entscheidungshilfe für die Auswahl geeigneter Wirkprinzipien, technischer Komponenten, als auch des optimalen Versuchsmaterials und geeigneter Methoden werden die Ergebnisse aus Feldversuchen verwendet.

5.5.1 Einfluss der Feldnachtrocknung auf Kohäsion und Adhäsion

Das Ziel des Versuchs ist zu klären, ob durch eine Nachtrocknung der Wurzeln im Schwad das Lösen der Erde aus den Wurzeln positiv beeinflusst werden kann.

In Tabelle 28 ist die Gewichtsreduzierung durch Ausschütteln der mit Erde behafteten Wurzeln mit und ohne Nachtrocknung prozentual dargestellt. Die Wurzeln sind in Gewichtsklassen nach ihrem Anfangsgewicht gruppiert.

Tabelle 28: Gewichtsreduzierung bei Feldnachtrocknung

Gewichtsklassen: (Wurzelgewicht vor dem Schütteln)	0 ≤ 1kg	1kg < 2kg	2kg ≤
	Gewichtsreduzierung in %		
ohne Nachtrocknung	35,4 n=6	42,0 n=7	53,1 n=7
mit Nachtrocknung	33,4 n=8	40,4 n=7	50,2 n=5
Differenz in %-Punkte	2,0	1,6	2,9

Beim Ausschütteln des Baldrians ohne Nachtrocknung verringert sich das Wurzelanfangsgewicht tendenziell mehr als beim Ausschütteln mit Nachtrocknung. Eine sichtbare Abtrocknung ist nur im Randbereich des Schwades feststellbar. Die innenliegenden, mit Erde behafteten Wurzeln sind augenscheinlich nicht abgetrocknet. Das Versuchsmaterial ist stark heterogen. Eine statistische Absicherung der Differenz zwischen mit und ohne Nachtrocknung ist nicht gegeben.

5.5.2 Wurzelmassenverteilung im Wurzeltiefenprofil

Für die Ermittlung der optimalen Rodtiefe wurde ein Wurzeltiefenprofil erstellt, das die Verteilung der Wurzelmassen im Boden bis zu einer Tiefe von 30 cm wiedergibt. In Tabelle 29 ist die Wurzelmasse als Ganzes, als auch die prozentuale Verteilung auf die drei Rodehorizonte dargestellt.

Tabelle 29: Ergebnis der Wurzelmassenverteilung (Wurzeltiefenprofil)

Parzellen-Nr.	1	2	3	Ø
Rodehorizont	Wurzelmassenverteilung in %			
0 bis -10 cm	98,2	96,6	95,1	96,4
-10 bis -20 cm	1,3	2,8	4,2	3,1
-20 bis -30 cm	0,5	0,6	0,7	0,6
TS in t/ha	4,68	6,21	8,18	6,36

Mit steigendem Ertrag steigt auch der prozentuale Anteil der Wurzeln in tieferen Bodenschichten. Mehr als 96 % der Wurzelmasse befindet sich durchschnittlich in der obersten Bodenschicht bis zehn Zentimeter. Zwischen 20 cm und 30 cm Tiefe liegt weniger als 1 % des Ertrages der beprobten Parzellen. Der Ertrag in den angrenzenden Parzellen steigt bis zur dritten Wiederholung stark an.

5.5.3 Ernte von Baldrian mit einem Rübenvollernter

Die Ernte von Baldrianwurzeln mit einem Zuckerrübenvollernter der Firma „Holmer“ Typ: Terra Dos T3 ist nur bedingt möglich. Im Mittel betragen die Wurzelverluste 77,1 % bei der Ernte mit dem Rübenroder. Bei dem teilmechanisierten Erntesystem mit dem Rüttelscharroder der Firma „Netagco“ und anschließendem Aufsammeln der Wurzeln mit einer Gabel bleiben von 8,1 t/ha möglichem Drogenertrag nur Verluste (Abbildung 38) in Höhe von 3,7 % auf dem Feld liegen.

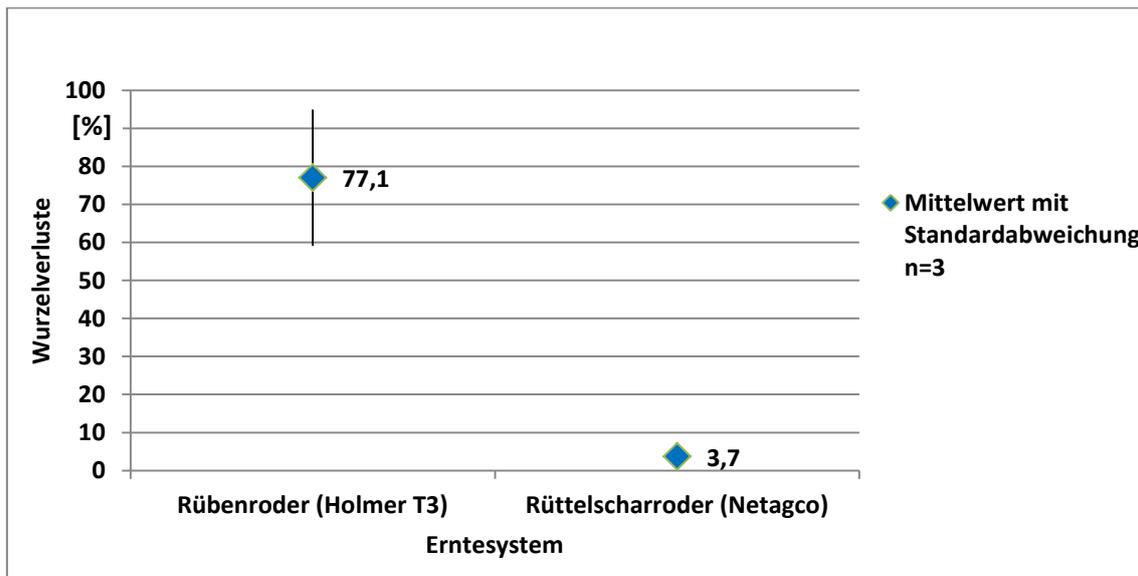


Abbildung 38: Wurzelverluste in Abhängigkeit vom Erntesystem

Augenscheinlich verursachte der Walzenrost (Abbildung 12 in Kap. 3.3.4) im Rübenroder unmittelbar nach der Schar die sehr hohen Wurzelverluste. Besonders zwischen der letzten Wendelwalze und einer gegenläufigen Glattwalze vor dem weiterführenden Siebband wurden viele Wurzeln beschädigt und nach unten herausgezogen. Das Heraushebeln der Wurzeln aus dem Boden war mit den aktiv bewegten Polderscharen möglich, wenn korrekt in der Reihe gerodet wurde. Das exakte Spurhalten erwies sich aber auf Grund des vollkommen geschlossenen Pflanzenbestandes, in dem die einzelnen Reihen nicht erkennbar waren, als schwierig.

5.5.4 Krautstabilität

Baldrianpflanzen sind frosthart und haben ein augenscheinlich sehr stabiles Kraut. Bis zum Spätsommer kann die Pflanze über das Kraut fixiert, aus einem lockeren Boden gezogen werden. Im Herbst nimmt die Stabilität des Krautes stark ab.

In Abbildung 39 ist der Zugkraftaufwand für den Abriss des Krautes an drei verschiedenen Ernteterminen in logarithmierter Form dargestellt.

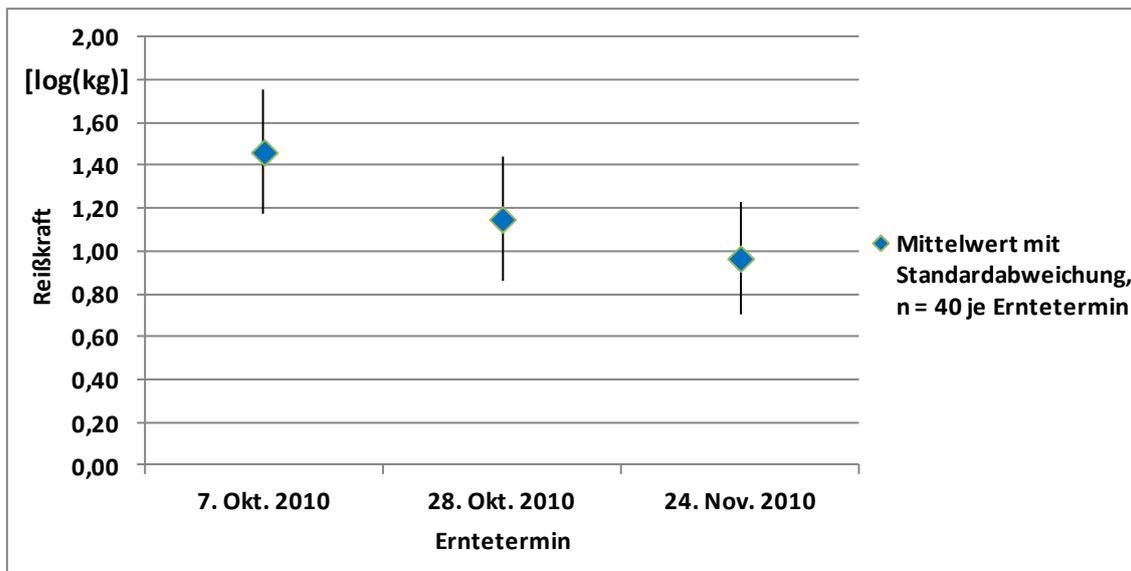


Abbildung 39: Zugkraftaufwand für den Krautabriss

Die gebündelten Blätter reißen am Krautansatz über dem Rhizom ab. Die durchschnittlich benötigten Reißkräfte an den einzelnen Ernteterminen unterscheiden sich voneinander signifikant. Im Untersuchungszeitraum hat die Reißfestigkeit des Krautes im Mittel von 35 kg bis zum dritten Erntetermin auf 11 kg stark abgenommen, so dass ein Herausziehen des Wurzelstocks über das Kraut nicht mehr möglich war. Die hohe Standardabweichung ($35 \text{ kg} \pm 21$) zum ersten Erntetermin unterstreicht die Heterogenität von Baldrian.

5.5.5 Veränderung qualitativer und quantitativer Merkmale zwischen Herbst- und Frühjahrsernte

Tabelle 30 beinhaltet die einzelnen Erträge der vier Stämme im Vergleich zwischen Herbst- und Frühjahrsernte.

Tabelle 30: Ertrag (Vergleich zwischen Herbst- und Frühjahrsernte)

Parzellen-Nr.	1	2	3	4	Ø
	TS-Ertrag in t/ha				
Herbsternte	4,48	4,02	3,59	4,86	4,24
Frühjahrsernte	2,93	2,49	2,93	3,34	2,92
in % zur Herbsternte	66	62	81	69	69

Bei allen vier Stämmen treten Ertragsdepressionen auf. Durchschnittlich gehen 31 % des möglichen Ernteertrages verloren.

Neben den quantitativen Verlusten wurden auch qualitative Verluste der Baldrianwurzeln berücksichtigt. In Tabelle 31 ist der Valerensäuregehalt der getrockneten Droge (*Valerianae radix*) der vier Parzellen im Vergleich dargestellt.

Tabelle 31: Valerensäure (Vergleich zwischen Herbst- und Frühjahrsernte)

Parzellen-Nr.	1	2	3	4	Ø
	Valerensäure in % (=g/100g TS)				
Herbsternte	0,43	0,47	0,40	0,38	0,42
Frühjahrsernte	0,35	0,51	0,44	0,50	0,45
in % zur Herbsternte	82	109	108	131	107

Im Durchschnitt ist der Gehalt an Valerensäure im Frühjahr gegenüber dem Herbst um sieben Prozentpunkte gestiegen. Eine Verringerung des Säuregehaltes tritt nur bei einem von den vier Baldrianstämmen auf.

Im Gegensatz zur Valerensäure ist der Gehalt an ätherischem Öl (Tabelle 32) im Durchschnitt um neun Prozentpunkte gesunken.

Tabelle 32: Ätherischer Ölgehalt (Vergleich zwischen Herbst- und Frühjahrsernte)

Parzellen-Nr.	1	2	3	4	Ø
	Ätherisches Öl in ml/100g TS				
Herbsternte	0,67	0,80	1,20	1,02	0,92
Frühjahrsernte	0,49	0,75	1,00	1,11	0,84
in % zur Herbsternte	74	95	83	108	91

Nur bei einer von vier Parzellen ist der ätherische Ölgehalt gestiegen.

5.5.6 Handerntertrag als Referenzwert zur Berechnung von Wurzelverlusten bei der maschinellen Ernte

In Tabelle 33 sind die Frischmasseerträge der beprobten Parzellen von der Hand- und der Maschinenernte gegenübergestellt.

Tabelle 33: Ergebnisdarstellung (Hand- versus Maschinenernte)

Parzellen-Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Standort	„Schwebheim“		„Rockendorf“				
Rodesystem	(Schwingsiebroder)		(Siebkettenvorratsroder)				
	FM-Ertrag in t/ha						
Maschinelle Ernte	37,6	25,6	11,4	1,6	17,2	15,0	7,5
Handernte	35,1	27,0	18,6	0,2	11,1	14,8	5,0
in % zur Handernte	107	95	61	800	155	101	150

Die FM-Erträge in den einzelnen Parzellen zwischen der manuellen und der maschinellen Ernte schwanken stark. Bei fünf von sieben Proberodungen liegt der Ertrag der maschinellen Erntesysteme über dem ermittelten Ertrag bei der Handernte. Das extreme Ergebnis in der Parzelle 4 unterstreicht die starke Heterogenität des Baldrians innerhalb der Parzellen. Der stark erniedrigte Ertrag gegenüber den anderen Parzellen im Bestand ist auf unterschiedliche Bodenverhältnisse zurückzuführen.

5.5.7 Reinigungsintensität, Inhaltsstoff- und Wurzelverluste bei den drei getesteten Reinigungssystemen

Nachfolgend werden die Ergebnisse, aufgegliedert nach Ernteterminen, dargestellt. Im Anschluss folgt eine Zusammenführung der Ergebnisse. Die Vorreinigungsverluste sind nur bei einem Teil der Parzellen erfasst. Für die prozentuale Darstellung der Ertragsverteilung ist deshalb eine Berechnung des Gesamtwurzelertrages erforderlich. Dieser setzt sich zusammen aus dem Wurzelertrag, zuzüglich dem relativen Mittel der Vorreinigungsverluste, und den Wurzelverlusten der einzelnen Reinigungssysteme, welche auch als Systemverluste bezeichnet werden. Zum Systemvergleich werden alle Ernteertrags- und –verlustangaben auf eine Fläche von 1 ha bezogen.

5.5.7.1 Testung der Reinigungssysteme unter sehr trockenen Bedingungen

Am 17. und 18. Aug. 2011 wurden die drei Reinigungssysteme bei sehr trockenen Bodenverhältnissen getestet. In der nachfolgenden Arbeit wird dieser Erntetermin als Ernte 1 bezeichnet.

Massenverluste:

Zwischen den drei Reinigungssystemen gibt es keine signifikanten Unterschiede im Wurzelertrag (Tabelle 34).

Tabelle 34: Wurzelertrag und –verluste in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1

Reinigungssystem	Wurzelertrag	Wurzelverluste
	kg/ha	
Siebband	2489 ± 500	17,5 ± 4,4
Rotation	2974 ± 868	31,5 ± 11,0
Siebstern	2009 ± 627	33,9 ± 8,2
	n.s.	*

n.s. = nicht signifikant; *p<0,05

Der Siebstern weist signifikant höhere Wurzelverluste als das Siebband auf. Auch die Rotation führt zu höheren Wurzelverlusten als das Siebband, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von p=0,051. Zwischen dem Reinigungssystem „Rotation“ und „Siebstern“ besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Wurzelverluste.

In fünf Parzellen wurden die Vorreinigungsverluste ermittelt. In Tabelle 35 sind sowohl die absoluten Werte als auch die Verluste relativ zum Gesamtertrag der Parzelle dargestellt.

Tabelle 35: Vorreinigungsverluste zur Ernte 1

Parzellenummer	(Wurzelertag+Systemverluste) in kg/ha	Vorreinigungs- verluste in kg/ha	Vorreinigungs- verluste in % vom Gesamtertrag
13	2208	59,0	2,60
22	3341	49,9	1,47
25	2320	73,7	3,08
31	1979	88,7	4,29
34	1233	40,3	3,17
Mittelwert mit Standardabweichung in %			2,92±1,02

Zur Ernte 1 errechnet sich ein mittlerer Vorreinigungsverlust von 2,92 Prozent.

In Abbildung 40 ist die Ertragsverteilung in Abhängigkeit von den drei geprüften Reinigungssystemen abgebildet.

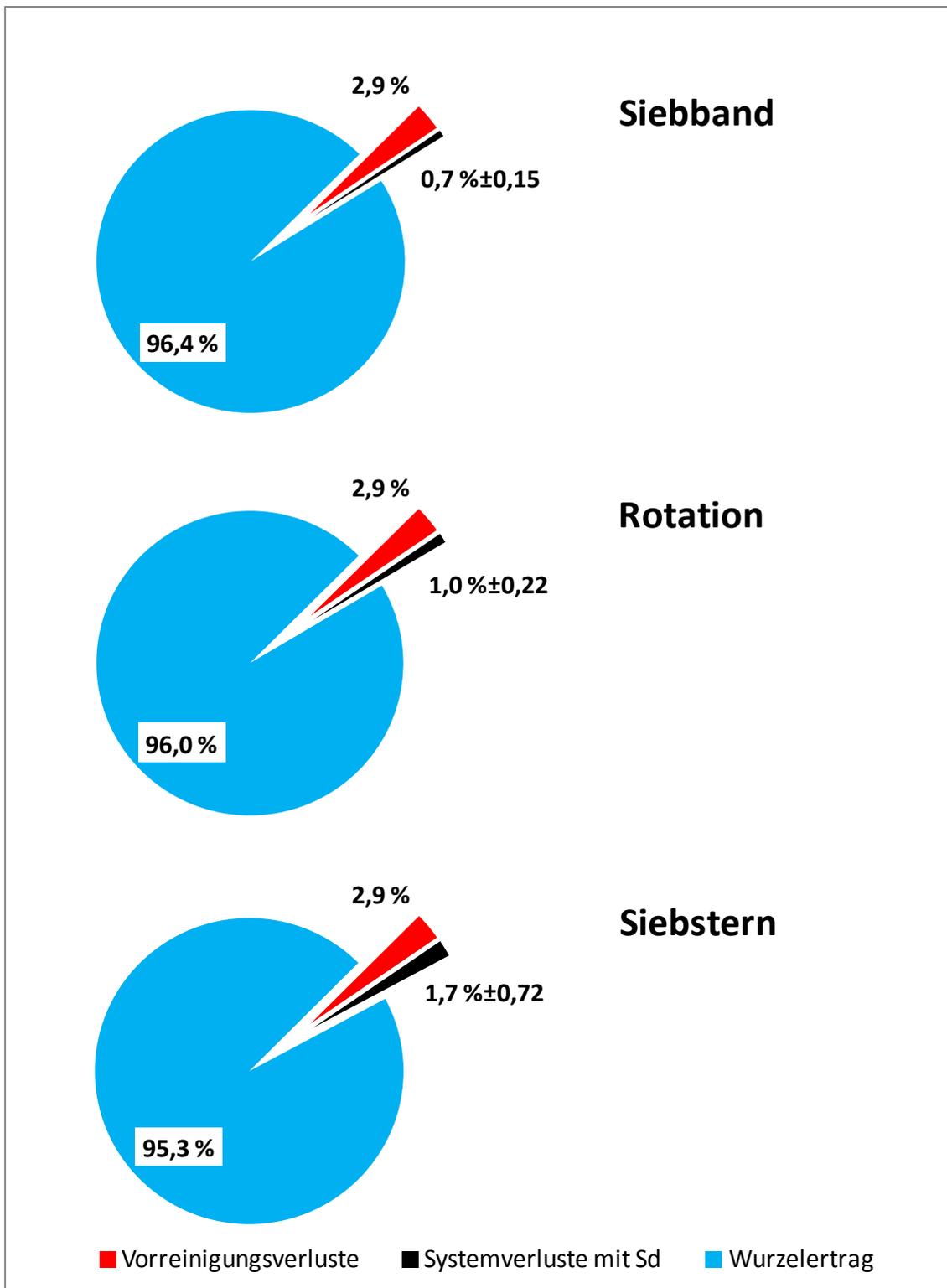


Abbildung 40: Ertragsverteilung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1

Das Reinigungssystem „Siebsterne“ unterscheidet sich vom „Siebband“ hinsichtlich der Wurzelverluste bzw. der Systemverluste signifikant. Der Siebsterne verursacht 1,7 % und somit mehr als doppelt so viele Wurzelverluste wie das Siebband mit nur 0,7 % Verlusten. Bei allen drei Systemen wird mehr als 95 % des möglichen Gesamtertrages geerntet.

Inhaltsstoffgehalte:

Der Valerensäuregehalt (Abbildung 41) wird durch das Reinigungssystem nicht beeinflusst.

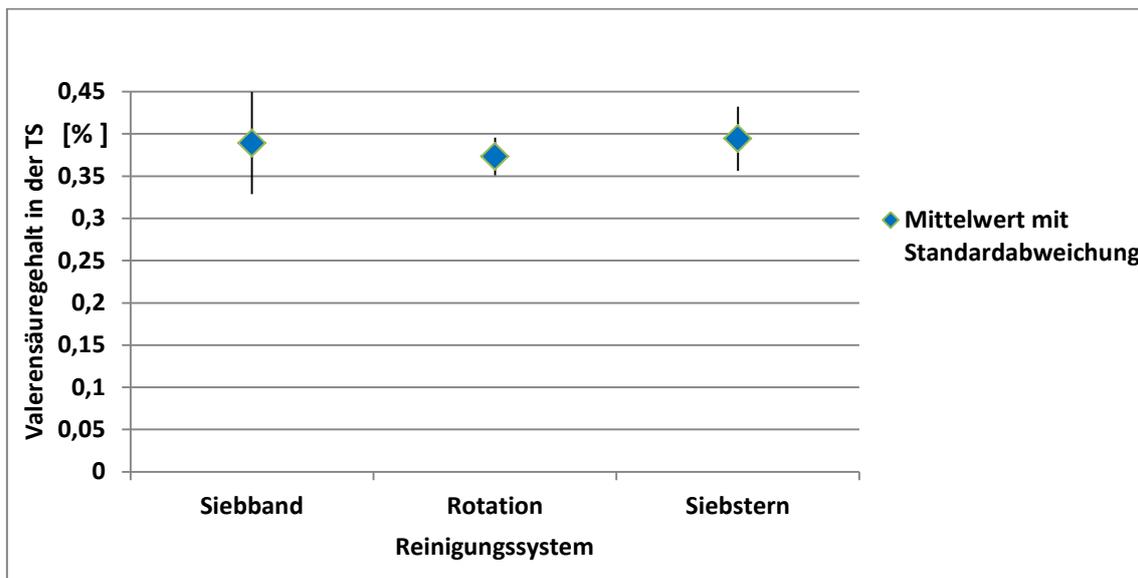


Abbildung 41: Valerensäuregehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1
Zwischen den Reinigungssystemen treten keine signifikanten Unterschiede auf.

Auch der ätherische Ölgehalt (Abbildung 42) wird von keinem der drei Systeme nachweislich negativ beeinflusst.

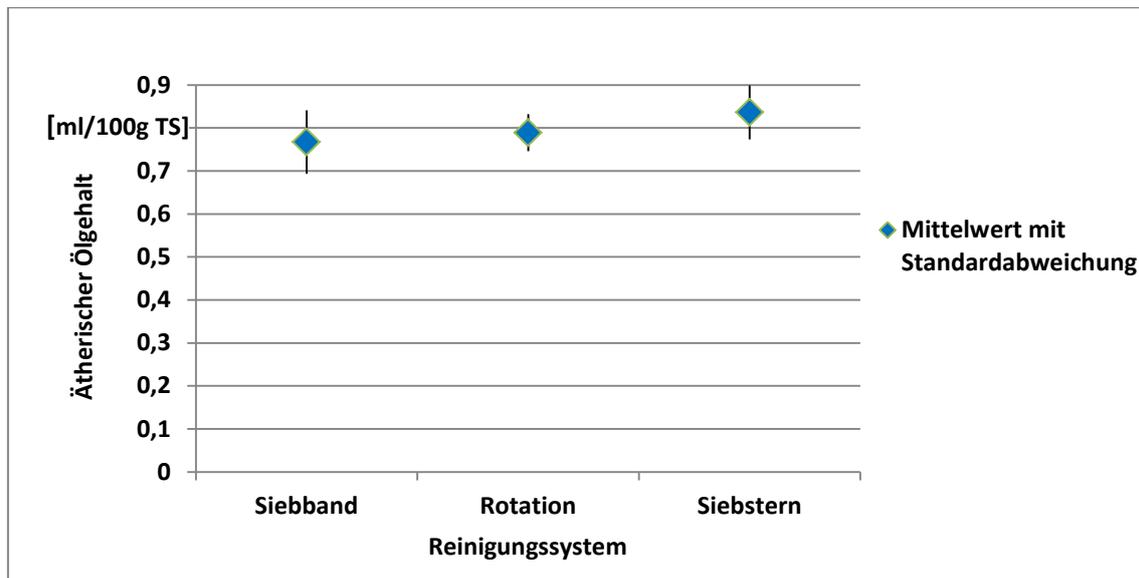


Abbildung 42: Äth. Ölgehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1

Zwischen den Reinigungssystemen treten keine signifikanten Unterschiede auf.

Reinigungsintensität:

Als Indiz für die Reinigungsintensität ist in Tabelle 36 die an den Wurzeln haftende Erde als Erdanhang und die von den Reinigungssystemen abgesiebte Erde als Absieberde dargestellt.

Tabelle 36: FM-Wurzelsertrag, Erdanhang und Absieberde in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1

Reinigungssystem	FM-Wurzelsertrag	Erdanhang	Absieberde
	t/ha		
Siebband	11,8 ± 1,6	39,3 ± 8,9	47,3 ± 3,5
Rotation	13,7 ± 3,3	26,4 ± 7,3	59,9 ± 12,9
Siebsterne	10,7 ± 1,5	18,6 ± 1,1	62,4 ± 10,9
	n.s.	*	n.s.

n.s. = nicht signifikant; *p<0,05

Signifikante Unterschiede zwischen den Systemen treten nur beim Erdanhang auf. Bei der Variante mit dem Siebsterne haftet signifikant weniger Erde an den Wurzeln als bei den anderen beiden Systemen. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,056$ ist der Erdanhang auch bei dem System „Rotation“ geringer als beim System „Siebband“.

In der Abbildung 43 ist die Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem visualisiert.

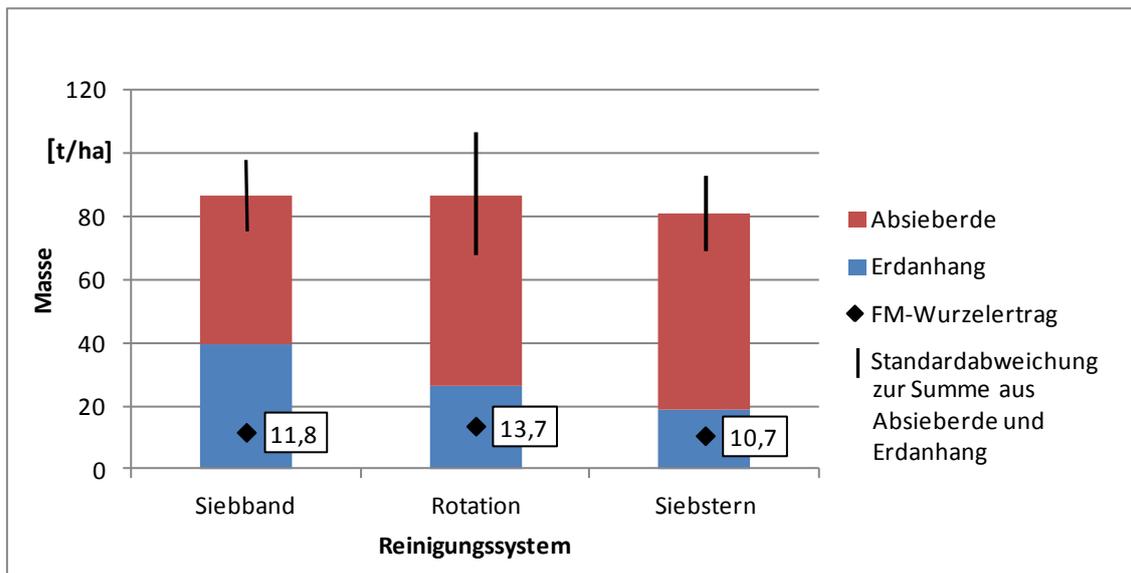


Abbildung 43: Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 1

Die Summe aus Absieberde und Erdanhang, zu der die Standardabweichung abgebildet ist, bekräftigt die Homogenität der Versuchsanlage zur Ernte 1. Die Reinigungssysteme wurden somit mit annähernd gleichen Erdmassen beschickt. Auch der FM-Wurzelertrag weist keine signifikanten Unterschiede zwischen den Parzellen der Versuchsvarianten auf.

5.5.7.2 Testung der Reinigungssysteme unter trockenen Bedingungen

Am 14. und 15. Sept. 2011 wurden die drei Reinigungssysteme bei trockenen Bodenverhältnissen getestet. In der nachfolgenden Arbeit wird dieser Erntetermin als Ernte 2 bezeichnet.

Massenverluste:

Zwischen den drei Reinigungssystemen gibt es keine signifikanten Unterschiede im Wurzertrag (Tabelle 37).

Tabelle 37: Wurzertrag und –verluste in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2

Reinigungssystem	Wurzertrag	Wurzelverluste
	kg/ha	
Siebband	3437 ± 476	18,2 ± 4,4
Rotation	3125 ± 960	35,9 ± 4,1
Siebstern	2823 ± 820	34,6 ± 1,8
	n.s.	*

n.s. = nicht signifikant; *p<0,05

Der Siebstern und die Rotation weisen signifikant höhere Wurzelverluste als das Siebband auf. Zwischen dem Reinigungssystem „Rotation“ und „Siebstern“ besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Wurzelverluste.

In fünf Parzellen wurden die Vorreinigungsverluste ermittelt. In Tabelle 38 sind sowohl die absoluten Werte als auch die Verluste relativ zum Gesamtertrag der Parzelle dargestellt.

Tabelle 38: Vorreinigungsverluste zur Ernte 2

Parzellenummer	(Wurzertrag+Systemverluste) in kg/ha	Vorreinigungs- verluste in kg/ha	Vorreinigungs- verluste in % vom Gesamtertrag
13	3201	57,0	1,75
22	3578	93,0	2,53
25	2632	107,5	3,92
31	2027	130,5	6,05
34	3621	64,8	1,76
Mittelwert mit Standardabweichung in %			3,20±1,82

Zur Ernte 2 errechnet sich ein mittlerer Vorreinigungsverlust von 3,2 Prozent.

In Abbildung 44 ist die Ertragsverteilung in Abhängigkeit von den drei geprüften Reinigungssystemen abgebildet.

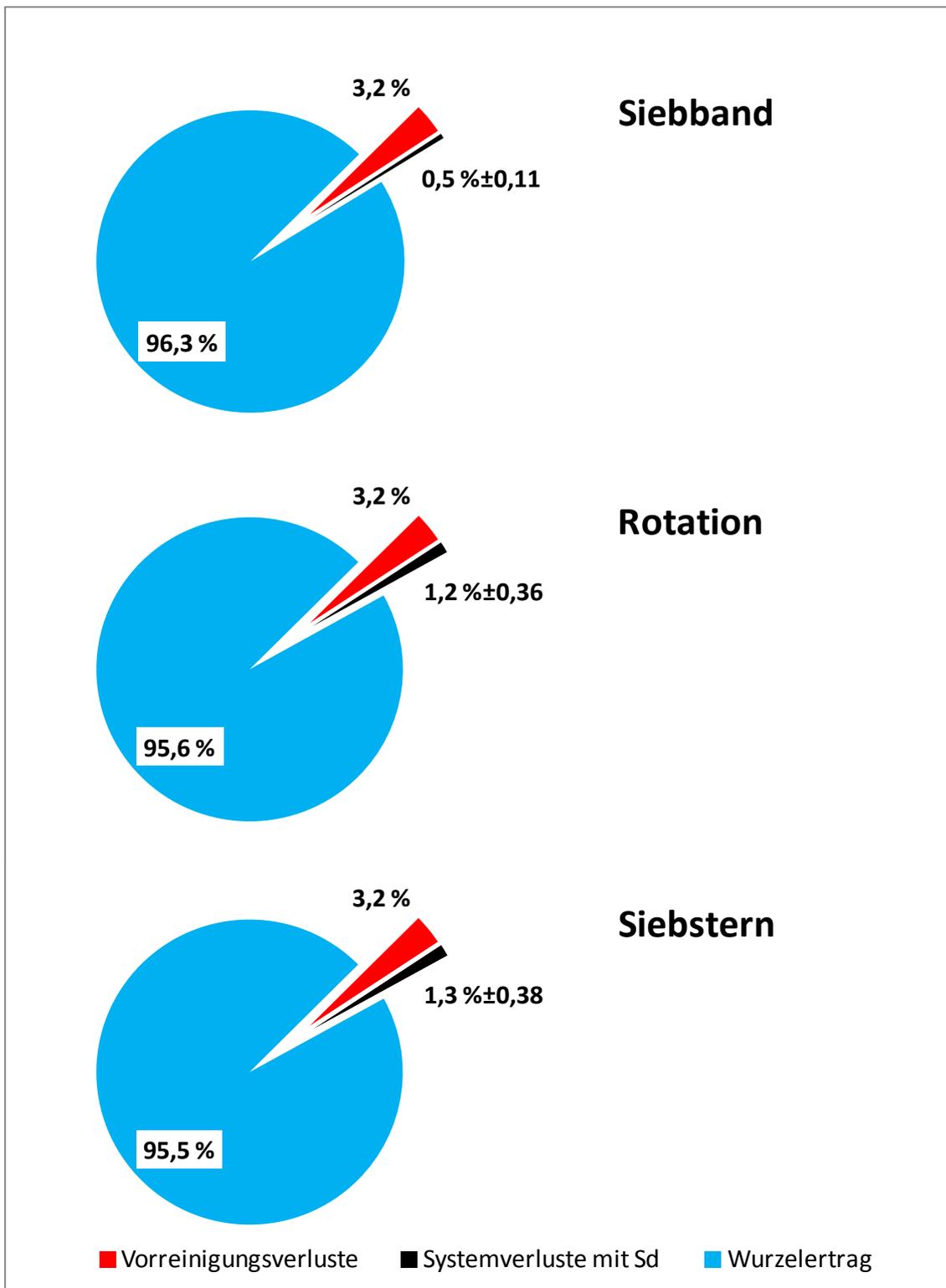


Abbildung 44: Ertragsverteilung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2

Die Reinigungssysteme „Rotation“ und „Siebsterne“ unterscheiden sich vom System „Siebband“ hinsichtlich der Systemverluste signifikant. Die „Rotation“ verursacht 0,7 %, der „Siebsterne“ 0,8 % mehr Wurzelverluste als das Siebband. Zwischen der „Rotation“ und dem „Siebsterne“ besteht kein signifikanter Unterschied bei den Verlusten. Bei allen drei Systemen wird mehr als 95 % des möglichen Gesamtertrages geerntet.

Inhaltsstoffgehalte:

Der Valerensäuregehalt (Abbildung 45) wird durch das Reinigungssystem nicht beeinflusst.

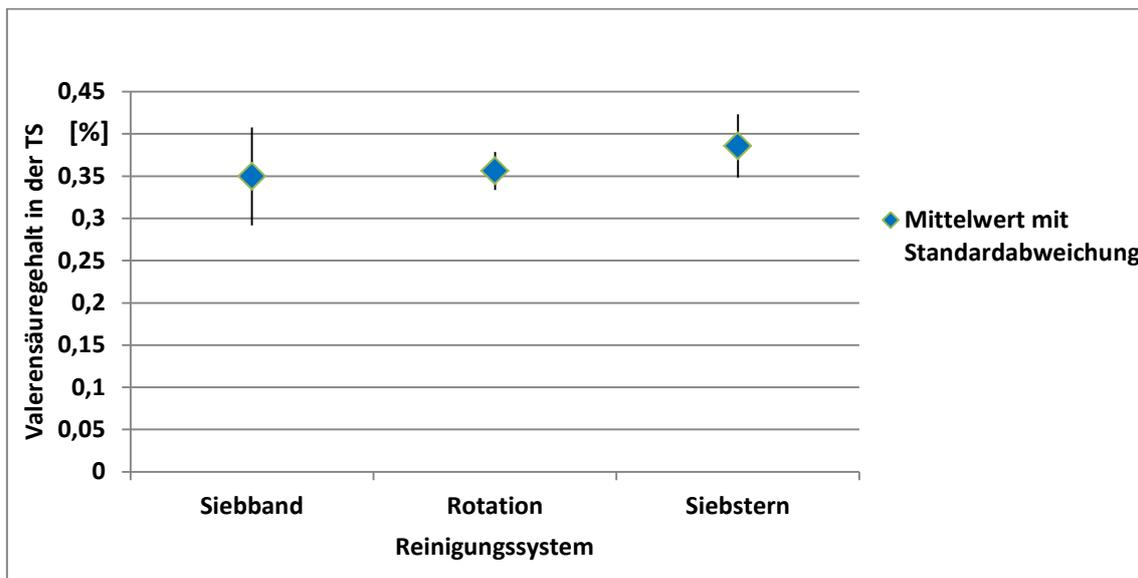


Abbildung 45: Valerensäuregehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2
Zwischen den Reinigungssystemen treten keine signifikanten Unterschiede auf.

Auch der ätherische Ölgehalt (Abbildung 46) wird von keinem der drei Systeme nachweislich negativ beeinflusst.

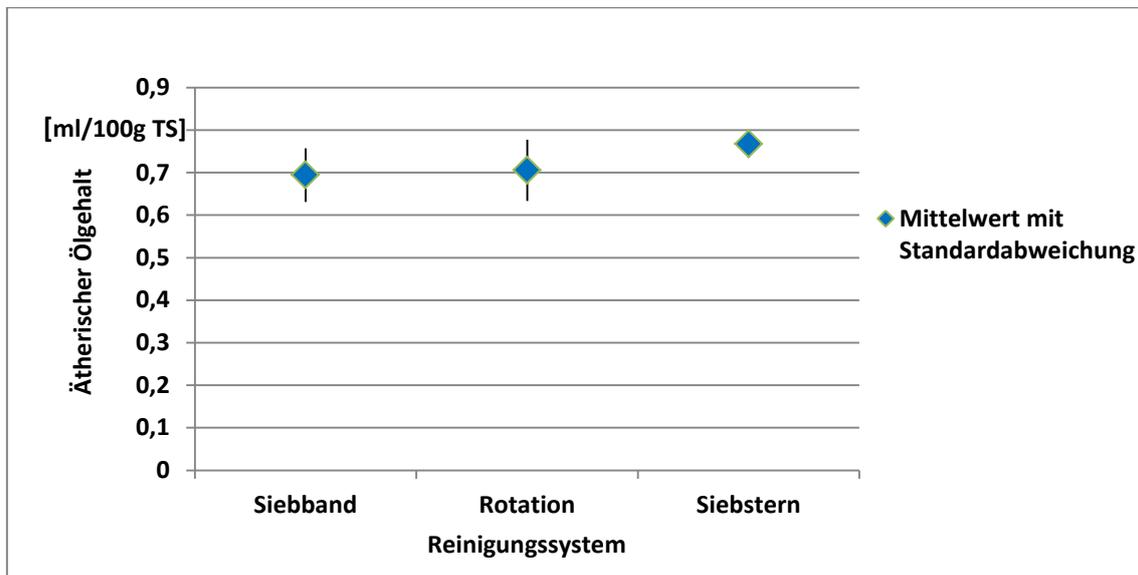


Abbildung 46: Äth. Ölgehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2

Zwischen den Reinigungssystemen treten keine signifikanten Unterschiede auf.

Reinigungsintensität:

Als Indiz für die Reinigungsintensität ist in Tabelle 39 die an den Wurzeln haftende Erde als Erdanhang und die von den Reinigungssystemen abgesiebte Erde als Absieberde dargestellt.

Tabelle 39: FM-Wurzelsertrag, Erdanhang und Absieberde in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2

Reinigungssystem	FM-Wurzelsertrag	Erdanhang	Absieberde
	t/ha		
Siebband	17,2 ± 2,0	68,1 ± 9,0	79,2 ± 17,7
Rotation	16,1 ± 3,9	38,3 ± 8,1	102,6 ± 26,1
Siebsterne	14,9 ± 4,1	35,8 ± 10,6	105,3 ± 28,1
	n.s.	*	n.s.

n.s. = nicht signifikant; *p<0,05

Signifikante Unterschiede zwischen den Systemen treten nur beim Erdanhang zwischen dem System „Siebband“ und „Rotation“ als auch zwischen „Siebband“ und „Siebsterne“ auf. Bei der Variante mit dem Siebband haftet über 30 t/ha mehr Erde an den Wurzeln als bei den anderen beiden Systemen.

In der Abbildung 47 ist die Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem visualisiert.

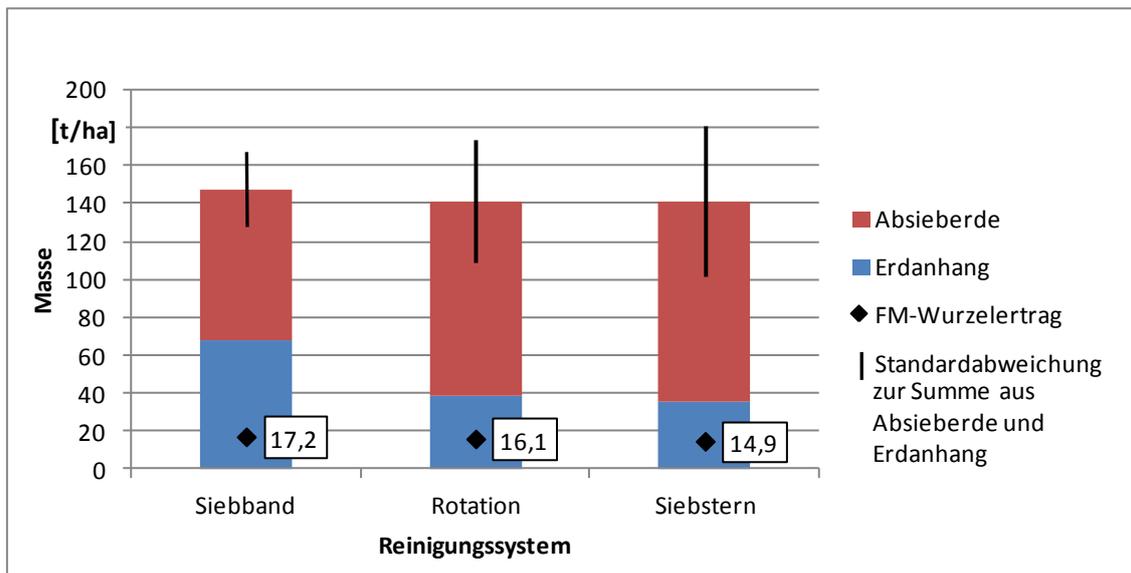


Abbildung 47: Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 2

Die Summe aus Absieberde und Erdanhang, zu der die Standardabweichung abgebildet ist, bekräftigt die Homogenität der Versuchsanlage zur Ernte 2. Die Reinigungssysteme wurden somit mit annähernd gleichen Erdmassen beschickt. Auch der FM-Wurzelertrag weist keine signifikanten Unterschiede zwischen den Parzellen der Versuchsvarianten auf.

5.5.7.3 Testung der Reinigungssysteme unter nassen Bedingungen

Am 5. Okt. 2011 wurden die Reinigungssysteme bei nassen Bodenverhältnissen getestet. Hierfür wurden am Vortag die Parzellen mit 25 l/m² beregnet. In der nachfolgenden Arbeit wird dieser Erntetermin als Ernte 3 bezeichnet.

Massenverluste:

Zwischen den drei Reinigungssystemen gibt es keine signifikanten Unterschiede im Wurzertrag (Tabelle 40).

Tabelle 40: Wurzertrag und –verluste in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3

Reinigungssystem	Wurzertrag	Wurzelverluste
	kg/ha	
Siebband	4507 ± 834	41,4 ± 8,9
Rotation	4349 ± 1896	75,7 ± 27,8
Siebstern	4171 ± 1769	99,2 ± 18,6
	n.s.	*

n.s. = nicht signifikant; *p<0,05

Der Siebstern und die Rotation weisen signifikant höhere Wurzelverluste als das Siebband auf. Zwischen dem Reinigungssystem „Rotation“ und „Siebstern“ besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Wurzelverluste.

In fünf Parzellen wurden die Vorreinigungsverluste ermittelt. In Tabelle 41 sind sowohl die absoluten Werte als auch die Verluste relativ zum Gesamtertrag der Parzelle dargestellt.

Tabelle 41: Vorreinigungsverluste zur Ernte 3

Parzellenummer	(Wurzertrag+Systemverluste) in kg/ha	Vorreinigungs- verluste in kg/ha	Vorreinigungs- verluste in % vom Gesamtertrag
13	4823	42,9	0,88
22	6464	68,4	1,05
25	1937	66,7	3,33
31	2952	66,3	2,20
34	5431	52,6	0,96
Mittelwert mit Standardabweichung in %			1,68±1,07

Zur Ernte 3 errechnet sich ein mittlerer Vorreinigungsverlust von 1,68 Prozent.

In Abbildung 48 ist die Ertragsverteilung in Abhängigkeit von den drei geprüften Reinigungssystemen abgebildet.

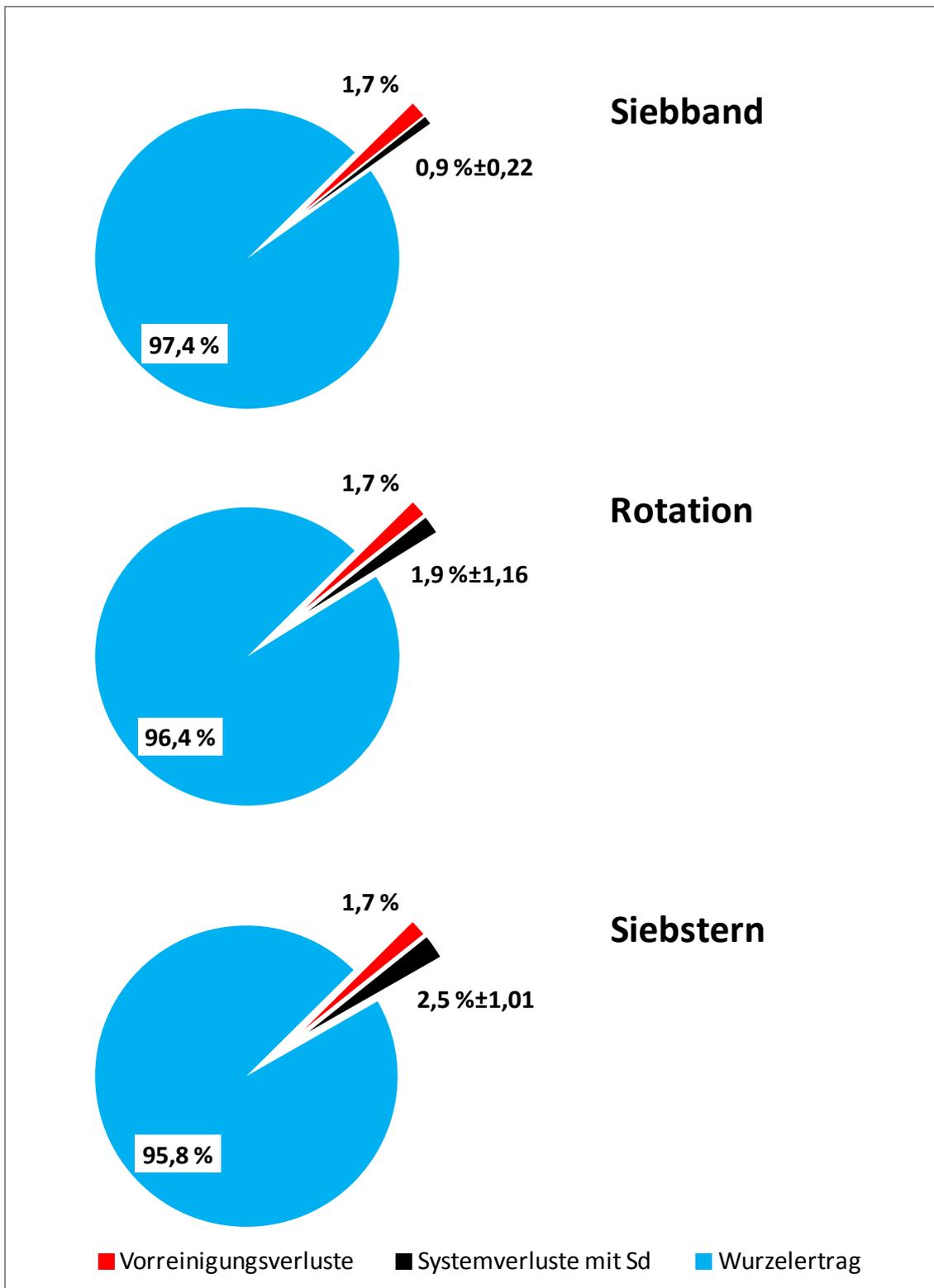


Abbildung 48: Ertragsverteilung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3

Das Reinigungssystem „Siebsterne“ unterscheidet sich vom „Siebband“ hinsichtlich der Wurzelverluste bzw. der Systemverluste signifikant. Der Siebsterne verursacht 2,5 % und somit mehr als doppelt so viele Wurzelverluste wie das Siebband mit nur 0,9 % Verlusten. Bei allen drei Systemen wird mehr als 95 % des möglichen Gesamtertrages geerntet.

Inhaltsstoffgehalte:

Der Valerensäuregehalt (Abbildung 49) wird durch das Reinigungssystem nicht beeinflusst.

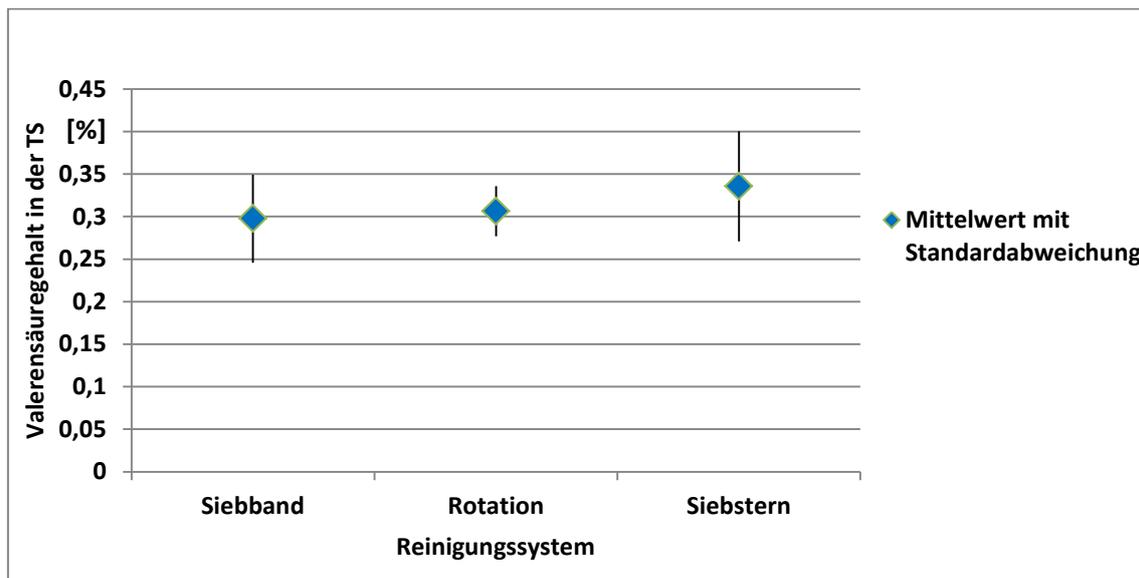


Abbildung 49: Valerensäuregehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3
Zwischen den Reinigungssystemen treten keine signifikanten Unterschiede auf.

Auch der ätherische Ölgehalt (Abbildung 50) wird von keinem der drei Systeme nachweislich negativ beeinflusst.

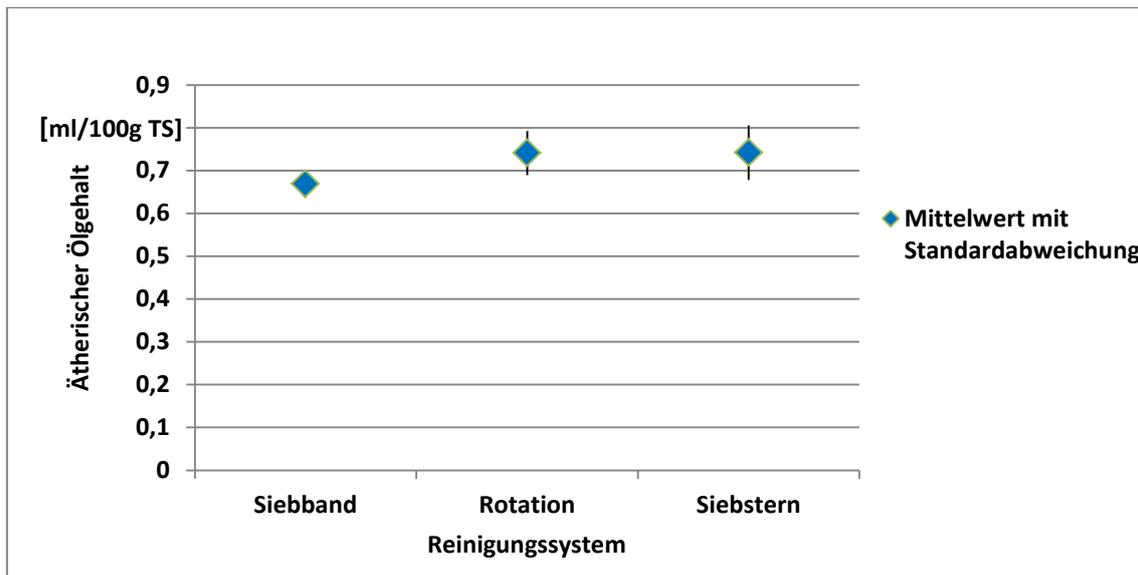


Abbildung 50: Äth. Ölgehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3

Der ätherische Ölgehalt der Variante „Siebband“ ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,08$ um $0,07$ ml/100g TS niedriger als der der „Rotation“ und der des „Siebsterne“. Da bei der Analyse mit dieser Methode mit einer Abweichung bis zu $\pm 10\%$ zu rechnen ist, ist der Unterschied nicht systembedingt.

Reinigungsintensität:

Als Indiz für die Reinigungsintensität ist in Tabelle 42 die an den Wurzeln haftende Erde als Erdanhang und die von den Reinigungssystemen abgesiebte Erde als Absieberde dargestellt.

Tabelle 42: FM-Wurzelерtrag, Erdanhang und Absieberde in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3

Reinigungssystem	FM-Wurzelерtrag	Erdanhang	Absieberde
	t/ha		
Siebband	$20,8 \pm 2,4$	$140,6 \pm 24,2$	$133,8 \pm 28,4$
Rotation	$20,3 \pm 7,5$	$83,3 \pm 40,9$	$160,2 \pm 38,5$
Siebsterne	$19,5 \pm 7,6$	$74,5 \pm 36,8$	$182,0 \pm 70,2$
	n.s.	*	n.s.

n.s. = nicht signifikant; * $p<0,05$

Signifikante Unterschiede zwischen den Systemen treten nur beim Erdanhang auf. Bei der Variante mit dem Siebsterne haften 66 t/ha weniger Erde an den Wurzeln als bei dem System „Siebband“. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,055$ ist der Erdanhang auch bei dem System „Rotation“ um 57 t/ha geringer als beim System „Siebband“. Zwischen den Systemen „Rotation“ und „Siebsterne“ besteht kein signifikanter Unterschied. In der Abbildung 51 ist die Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem visualisiert.

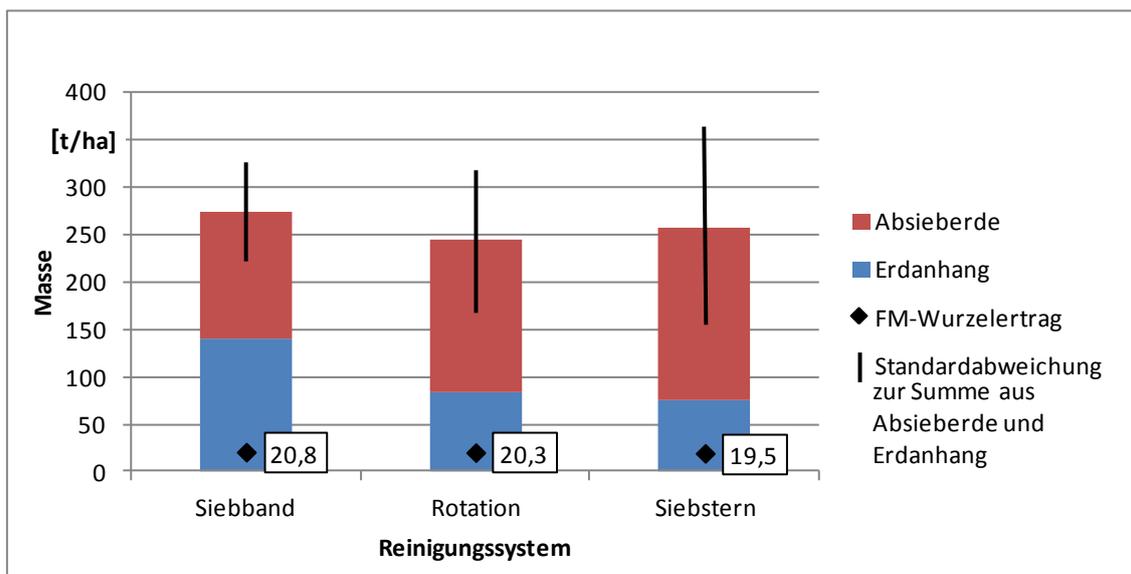


Abbildung 51: Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 3

Die Summe aus Absieberde und Erdanhang, zu der die Standardabweichung abgebildet ist, bekräftigt die Homogenität der Versuchsanlage zur Ernte 3. Die Reinigungssysteme wurden somit mit annähernd gleichen Erdmassen beschickt. Auch der FM-Wurzelsertrag weist keine signifikanten Unterschiede zwischen den Parzellen der Versuchsvarianten auf.

5.5.7.4 Testung der Reinigungssysteme unter sehr nassen Bedingungen

Am 13. Okt. 2011 wurden die drei Reinigungssysteme nach einer Regenperiode unter sehr nassen Bedingungen getestet. In der nachfolgenden Arbeit wird dieser Erntetermin als Ernte 4 bezeichnet.

Massenverluste:

Der Wurzelertrag (Tabelle 43) nimmt von der Ernteparzelle des Siebbandes über die im Anschluss gerodete Parzelle der Rotation bis zur Parzelle in dem der Siebsterne getestet wird um jeweils mehr als 1000 kg ab. Grund für die kontinuierliche Ertragsabnahme ist der lückiger werdende Pflanzenbestand. In der ersten Parzelle stehen 44 Pflanzen, in der zweiten 39 und in der zuletzt geernteten Variante des Siebsterne nur noch 31 Pflanzen.

Tabelle 43: Wurzelertrag und –verluste in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4

Reinigungssystem	Wurzelertrag	Wurzelverluste
	kg/ha	
Siebband	5119	8,7
Rotation	4012	28,1
Siebsterne	2855	24,4

(Einzelwerte)

Die Wurzelverluste aller drei Varianten betragen weniger als ein Prozent des Wurzelertrages.

In drei Parzellen wurden die Vorreinigungsverluste ermittelt. In Tabelle 44 sind sowohl die absoluten Werte als auch die Verluste relativ zum Gesamtertrag der Parzelle dargestellt.

Tabelle 44: Vorreinigungsverluste zur Ernte 4

Parzellenummer	(Wurzelertrag+Systemverluste) in kg/ha	Vorreinigungs- verluste in kg/ha	Vorreinigungs- verluste in % vom Gesamtertrag
11	5128	42,6	0,82
21	4040	41,6	1,02
31	2879	70,1	2,38
Mittelwert mit Standardabweichung in %			1,41±0,85

Zur Ernte 4 errechnet sich ein mittlerer Vorreinigungsverlust von 1,41 Prozent.

In Abbildung 52 ist die Ertragsverteilung in Abhängigkeit von den drei geprüften Reinigungssystemen abgebildet.

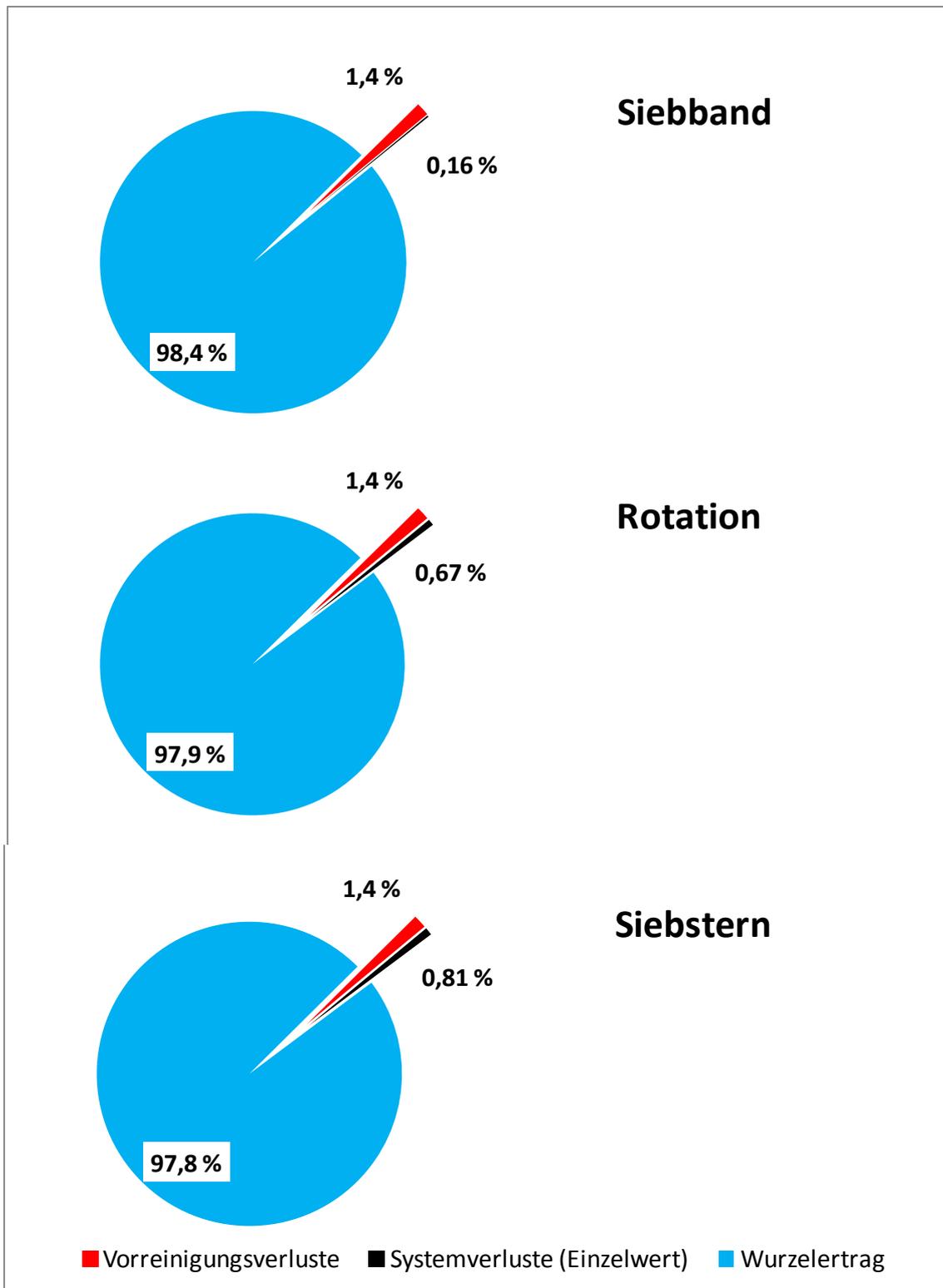


Abbildung 52: Ertragsverteilung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4

Das Reinigungssystem „Siebband“ verursacht Verluste in Höhe von 0,16 %, das System „Rotation“ 0,67 % und das System „Siebsterne“ 0,81 %. Bei allen drei Systemen wird mehr als 97 % des möglichen Gesamtertrages geerntet. Das Ergebnis zum vierten Erntetermin ist aus Einzelwerten, ohne Wiederholungen errechnet.

Inhaltsstoffgehalte:

Der Valerensäuregehalt (Abbildung 53) wird durch das Reinigungssystem nicht beeinflusst.

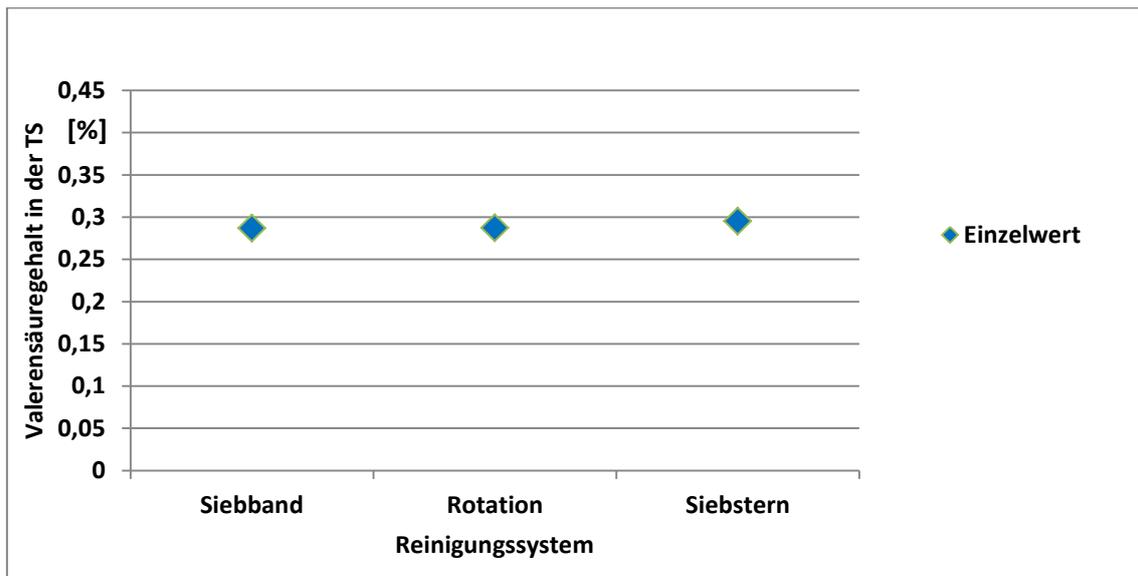


Abbildung 53: Valerensäuregehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4
Die Einzelwerte des Valerensäuregehaltes zum vierten Erntetermin sind nahezu gleich.

Auch der ätherische Ölgehalt (Abbildung 54) liegt auf einem Niveau das dem der vorhergehenden Erntetermine entspricht.

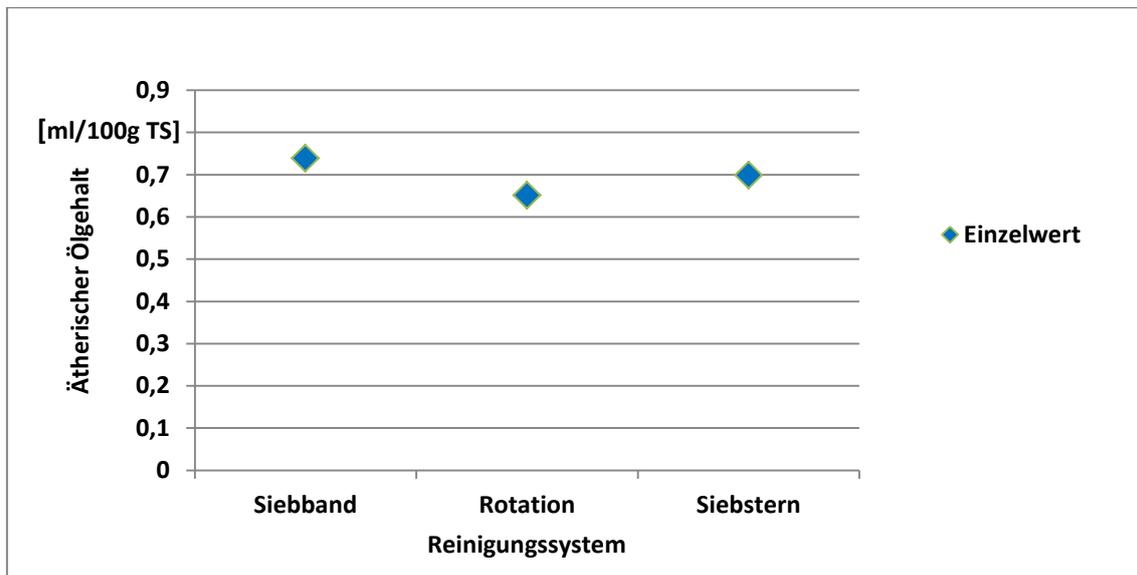


Abbildung 54: Äth. Ölgehalt in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4

Der äth. Ölgehalt in der Parzelle bei dem System „Rotation“ ist um 0,09 ml/100g TS niedriger als in der Parzelle in der das Siebband verwendet wurde mit 0,74 ml/100g TS. In der Parzelle in der der Siebsterne eingesetzt wurde liegt der Ölgehalt bei 0,70 ml/100g TS. Da bei der Analyse mit dieser Methode mit einer Abweichung bis zu $\pm 10\%$ zu rechnen ist, haben die drei Proben nahezu den gleichen Ölgehalt.

Reinigungsintensität:

Als Indiz für die Reinigungsintensität ist in Tabelle 45 die an den Wurzeln haftende Erde als Erdanhang und die von den Reinigungssystemen abgesiebte Erde als Absieberde dargestellt.

Tabelle 45: FM-Wurzeltrug, Erdanhang und Absieberde in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4

Reinigungssystem	FM-Wurzeltrug	Erdanhang	Absieberde
	t/ha		
Siebband	24,4	187,6	126,9
Rotation	18,4	111,2	126,1
Siebsterne	13,5	46,9	82,6

(Einzelwerte)

Der Erdanhang nimmt von der Ernteparzelle des Siebbandes über die im Anschluss gerodete Parzelle der Rotation bis zur Parzelle in dem der Siebsterne getestet wird kontinuierlich ab. Die kontinuierliche Abnahme der an den Wurzeln haftenden Erde kann nicht ausschließlich auf das Reinigungssystem zurückgeführt werden, da der Pflanzenbestand auch kontinuierlich lückiger wird. In der ersten Parzelle stehen 44 Pflanzen, in der zweiten 39 und in der zuletzt geernteten Variante des Siebsterne nur noch 31 Pflanzen. Der lückiger werdende Bestand spiegelt sich auch im abnehmenden FM-Wurzelsertrag wider. In der Abbildung 55 ist die Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem visualisiert.

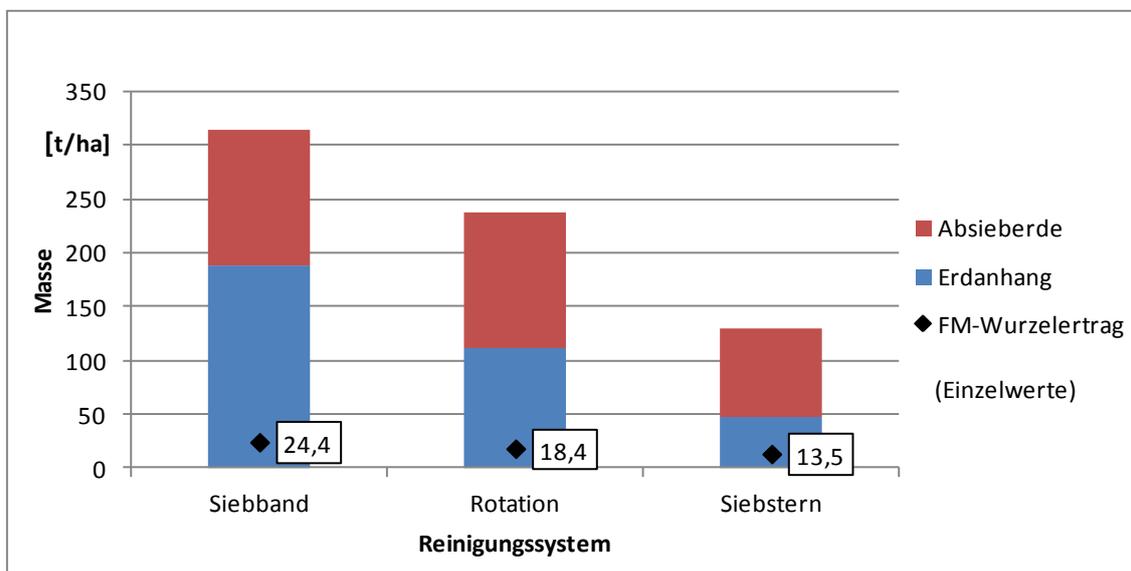


Abbildung 55: Massenbewegung in Abhängigkeit vom Reinigungssystem zur Ernte 4

Die Summe aus Absieberde und Erdanhang bekräftigt nochmals die Heterogenität der drei Einzelparzellen zur Ernte 4. Die Reinigungssysteme wurden mit unterschiedlichen Erd- als auch Wurzelmassen beschickt. Die Abnahme des Erdanhangs vom Reinigungssystem „Siebband“ über die „Rotation“ bis hin zum „Siebsterne“ ist deshalb nicht ausschließlich auf eine höhere Reinigungsintensität der beiden letztgenannten Systeme gegenüber dem System „Siebband“ zurückzuführen.

5.5.7.5 Zusammenführung der Ergebnisse des Systemvergleichs

Nach der Betrachtung des gravimetrischen Bodenwassergehaltes werden die Massenverluste, die Inhaltsstoffgehalte und die Reinigungsintensität in Abhängigkeit von den vier Ernteterminen zusammengeführt.

Gravimetrischer Bodenwassergehalt:

In der Abbildung 56 ist der gravimetrische Bodenwassergehalt der Materialproben, welche mit der Bohrstockmethode gezogen wurden, abgebildet.

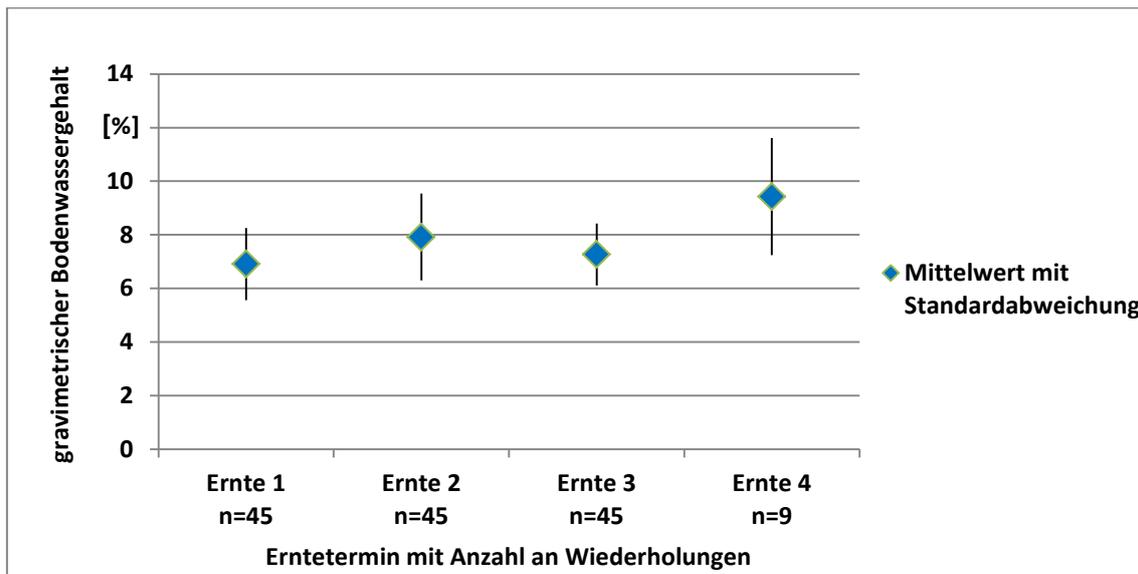


Abbildung 56: Gravimetrischer Bodenwassergehalt

Im Rang besteht beim Wassergehalt zwischen dem ersten und zweiten sowie zwischen dem dritten und vierten Erntetermin als auch zwischen dem ersten und vierten Erntetermin ein signifikanter Unterschied. Der sichtlich und auch spürbar feuchtere Boden nach dem Bewässern der Parzellen zum dritten Erntetermin gegenüber den ersten beiden Ernteterminen wurde aus folgenden Gründen messtechnisch nicht erfasst.

Die Wassergabe glich einem Starkregenereignis. An den Flanken der flachen Dämme (siehe Abbildung 26) ist das Wasser offensichtlich zum größten Teil abgelaufen und zwischen den Dämmen ungleich versickert. Die Entnahme des Bodenmaterials erfolgte mit dem Bohrstock jeweils zwischen zwei Pflanzen auf der Krone des Dammes, somit im am wenigsten durchfeuchteten Bereich der Parzelle.

Massenverluste:

In Abbildung 57 ist der Wurzeletragsanstieg von der Ernte 1, welche im August durchgeführt wurde, bis zu den beiden Oktoberernteterminen der Ernte 3 und Ernte 4 abgebildet.

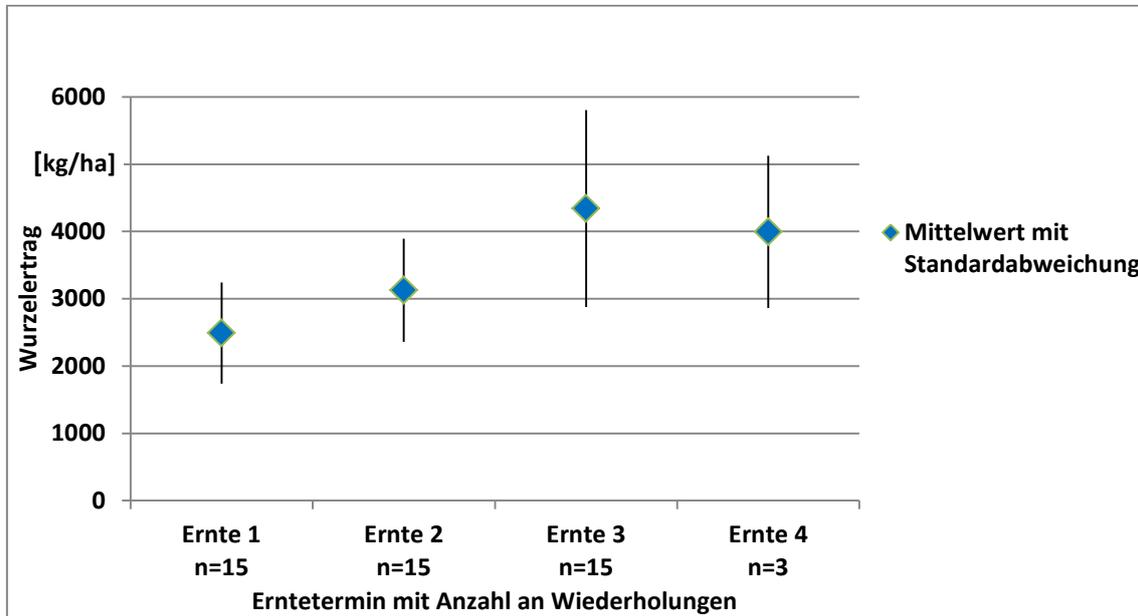


Abbildung 57: Wurzeletragsanstieg in Abhängigkeit vom Erntetermin

Zwischen dem ersten und dritten Erntetermin besteht im Rang ein signifikanter Ertragsunterschied.

Die von Hand verlesenen Vorreinigungsverluste sind in Abbildung 58 in Abhängigkeit vom Erntetermin dargestellt.

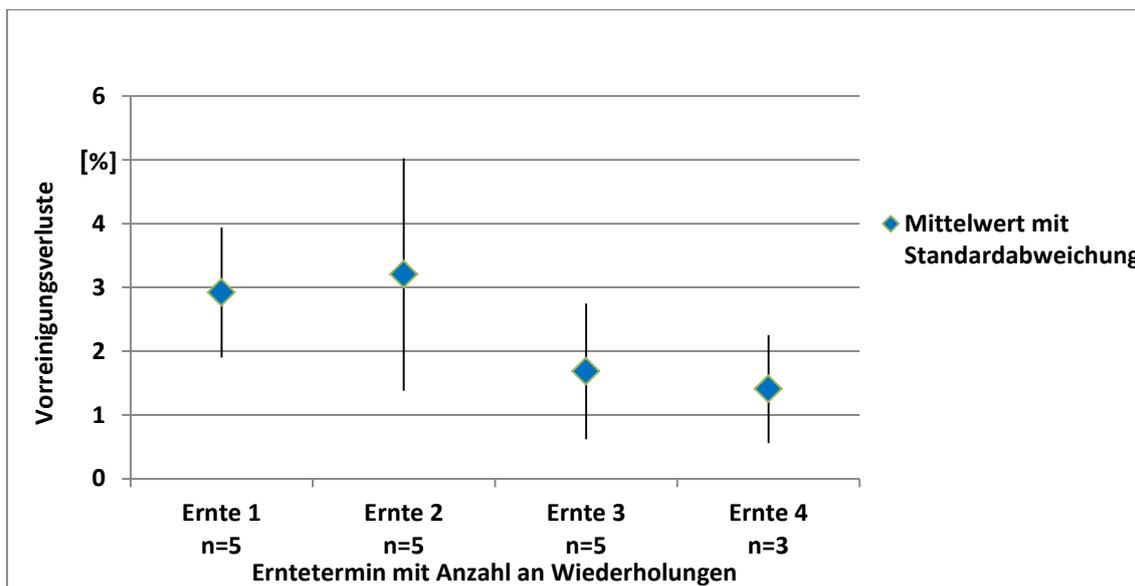


Abbildung 58: Vorreinigungsverluste in Abhängigkeit vom Erntetermin

Zwischen den vier Ernteterminen gibt es keine signifikanten Unterschiede. Die Einzelwerte, welche in den vorausgehenden Kapiteln für die Berechnung der Durchschnittswerte berechnet wurden, schwanken von 0,82 % bis 6,05 %. Dennoch scheinen die Verluste an den beiden Ernteterminen im Oktober, welche unter feuchteren Bedingungen durchgeführt wurden, tendenziell niedriger zu sein als die der ersten beiden Erntetermine, die unter trockenen Bedingungen durchgeführt wurden.

In Tabelle 46 werden aus den Werten der vier Erntetermine die durchschnittlichen Systemverluste der drei Reinigungssysteme errechnet.

Tabelle 46: Systemverluste rel. in Abhängigkeit vom Erntetermin

Erntetermine mit Anzahl an Wiederholungen	Ernte 1 n=5	Ernte 2 n=5	Ernte 3 n=5	Ernte 4 Einzelwerte	∅	
	%					
Siebband	0,68 ± 0,15	0,51 ± 0,11	0,87 ± 0,22	0,16	0,6	*
Rotation	1,03 ± 0,22	1,18 ± 0,36	1,89 ± 1,16	0,67	1,2	n.s.
Siebstern	1,75 ± 0,72	1,26 ± 0,38	2,50 ± 1,01	0,81	1,6	n.s.

n.s. = nicht signifikant; *p<0,05 signifikante Unterschiede zwischen den Ernteterminen

Zwischen der Ernte 2 und der Ernte 3 unterscheiden sich die Systemverluste beim Siebband signifikant. Auch zwischen dem Einzelwert zur Ernte 4 und der Ernte 3 besteht ein signifikanter Unterschied. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von p=0,06 sind die Systemverluste beim Siebband zur Ernte 1 und der Ernte 4 ebenfalls unterschiedlich. Das System „Siebband“ verursacht durchschnittlich 0,6 %, die „Rotation“ 1,2 % und das System „Siebstern“ 1,6 % Verluste. In Abbildung 59 ist die durchschnittliche Ertragsverteilung visualisiert.

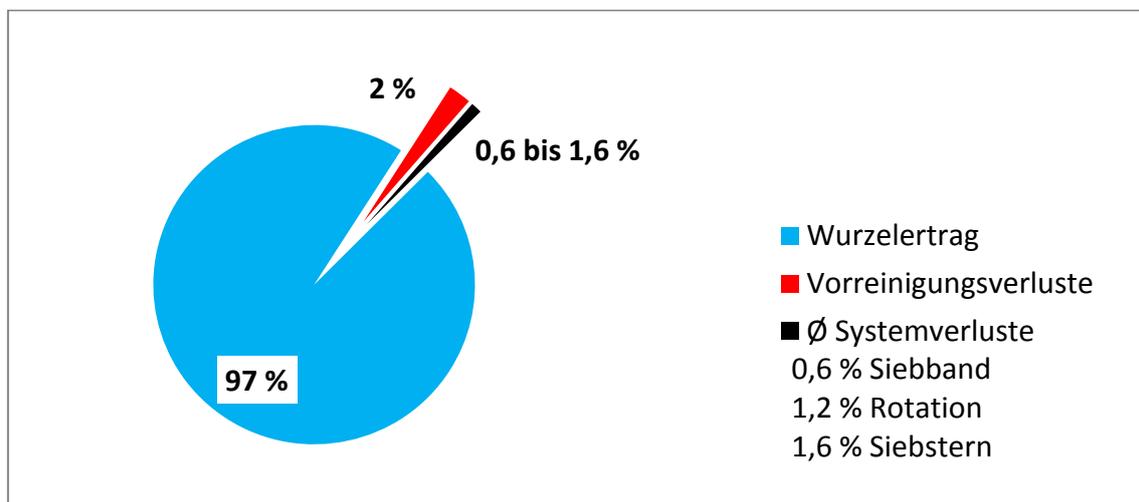


Abbildung 59: Durchschnittliche Ertragsverteilung über alle Erntetermine

Bei einem durchschnittlichen Vorreinigungsverlust von 2 % und Systemverlusten zwischen 0,6 % und 1,6 % wird nahezu 97 % des Gesamtertrags geerntet.

Inhaltsstoffgehalte:

Der Valerensäuregehalt (Abbildung 60) sinkt von der Ernte 1 bis zur Ernte 4 kontinuierlich.

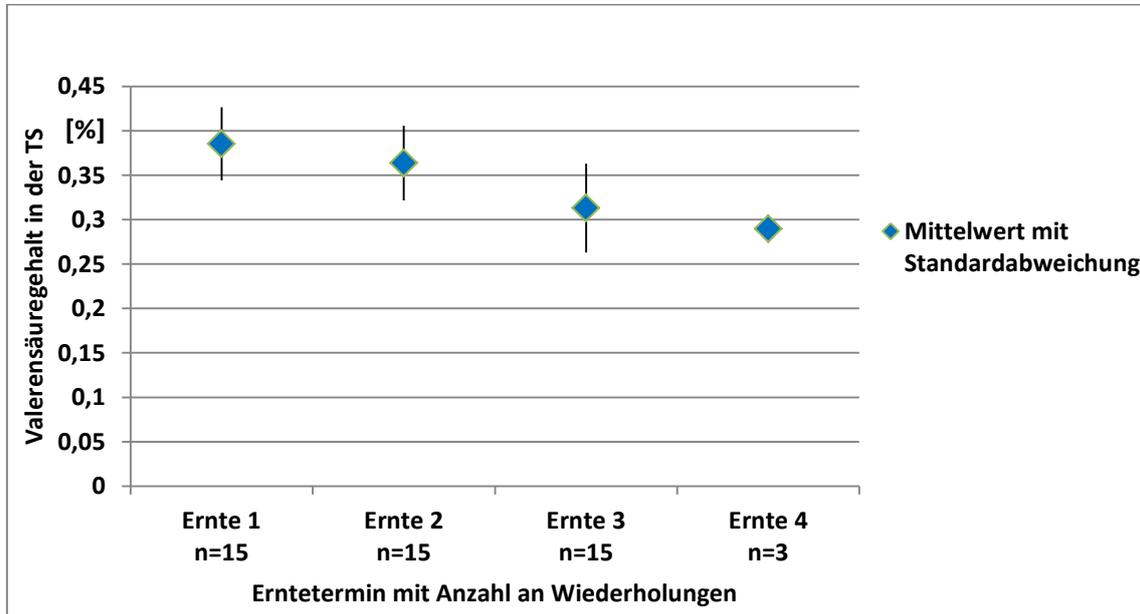


Abbildung 60: Valerensäuregehalt in Abhängigkeit vom Erntetermin

Der Valerensäuregehalt ist zur Ernte 3 um 0,07 Prozentpunkte, zur Ernte 4 um 0,1 Prozentpunkte signifikant niedriger als zur Ernte 1. Auch die Ernte 2 unterscheidet sich signifikant von der Ernte 3 um 0,05 Prozentpunkte, sowie von der Ernte 4 um 0,07 Prozentpunkte.

Der ätherische Ölgehalt (Abbildung 61) sinkt vom ersten Erntetermin zum zweiten Erntetermin im September und bleibt bis zum vierten Erntetermin im Oktober annähernd konstant.

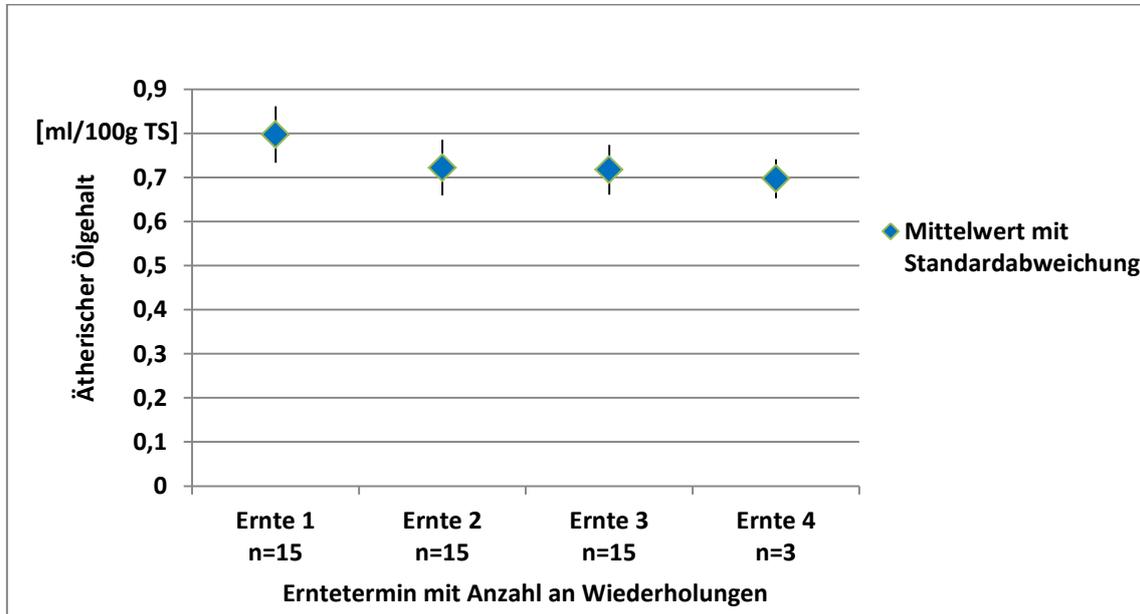


Abbildung 61: Ätherischer Ölgehalt in Abhängigkeit vom Erntetermin

Der äth. Ölgehalt ist zur Ernte 1 signifikant um 0,08 ml/100g TS höher als bei den beiden nachfolgenden Ernteterminen. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,057$ ist der Ölgehalt zum vierten Erntetermin um 0,1 ml/100g TS niedriger als zur Ernte 1.

Reinigungsintensität:

In Tabelle 47 werden aus den Werten der vier Erntetermine die Durchschnittswerte für den FM-Wurzelерtrag, den Erdanhang und der Absieberde errechnet.

Tabelle 47: FM-Wurzelерtrag, Erdanhang und Absieberde in Abhängigkeit vom Erntetermin

Erntetermine mit Anzahl an Wiederholungen	Ernte 1 n=15	Ernte 2 n=15	Ernte 3 n=15	Ernte 4 n=3	Ø	
	t/ha					
FM-Wurzelерtrag	12,1 ± 2,5	16,1 ± 3,4	20,2 ± 5,9	18,8 ± 5,5	16,8	*
Erdanhang	28,1 ± 10,8	47,4 ± 17,5	99,5 ± 44,1	115,2 ± 70,4	72,5	*
Absieberde	56,6 ± 11,5	95,7 ± 25,7	158,7 ± 49,8	111,9 ± 25,7	105,7	*

*p<0,05 signifikante Unterschiede zwischen den Ernteterminen

Die ersten drei Erntetermine unterscheiden sich in der Rangordnung signifikant im FM-Wurzelерtrag, bei der an den Wurzeln haftenden Erde als auch hinsichtlich der Absieberde. Durchschnittlich werden 16,8 t/ha frische Wurzeln geerntet. An diesen haften im Mittel 72,5 t/ha Erde. Von den drei unterschiedlichen Reinigungssystemen werden durchschnittlich 105,7 t/ha Erde abgeschieden.

In Abbildung 62 ist die Massenbewegung in Abhängigkeit von den vier Ernteterminen visualisiert.

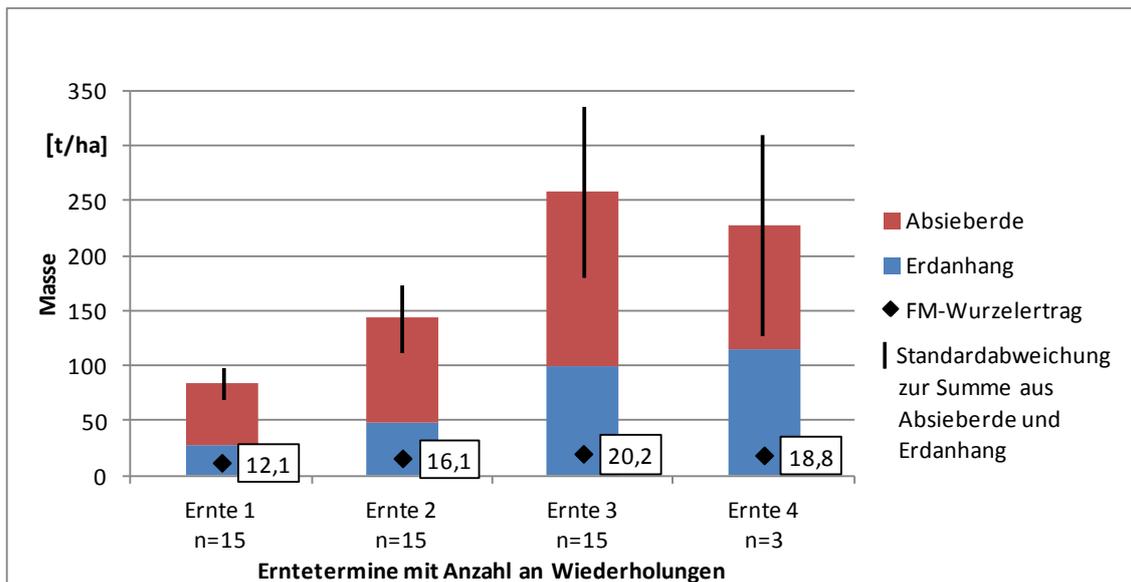


Abbildung 62: Massenbewegung in Abhängigkeit vom Erntetermin

Für den Anstieg der Summe der an den Wurzeln haftenden und der abgesiebten Erde ist sowohl der FM-Wurzelertrag als auch der gravimetrische Bodenwassergehalt verantwortlich. Während der Ertragszuwachs zwischen dem ersten, zweiten und dritten Erntetermin annähernd gleich bleibt, steigt die bewegte Erdmasse mit Zunahme der Bodenfeuchte zum dritten Erntetermin durch die Beregnung der Parzellen mit 25 l/m² überproportional an. Obwohl der Ertrag und die Summe der bewegten Erdmasse zum vierten Erntetermin im Vergleich zum Dritten tendenziell sinken, steigt der Erdanhang tendenziell nochmals an. Der Rückgang des Ertrags und der bewegten Erdmassen ist durch den lückiger werdenden Bestand bedingt. Der Anstieg der anhaftenden Erde ist hingegen auf die widrigen (extrem nassen) Bodenverhältnisse zurückzuführen.

Beim Vergleich (Abbildung 63) der drei Reinigungssysteme über die vier Erntetermine hinsichtlich Reinigungsintensität ist das Siebband den beiden anderen Systemen im Rang signifikant unterlegen.

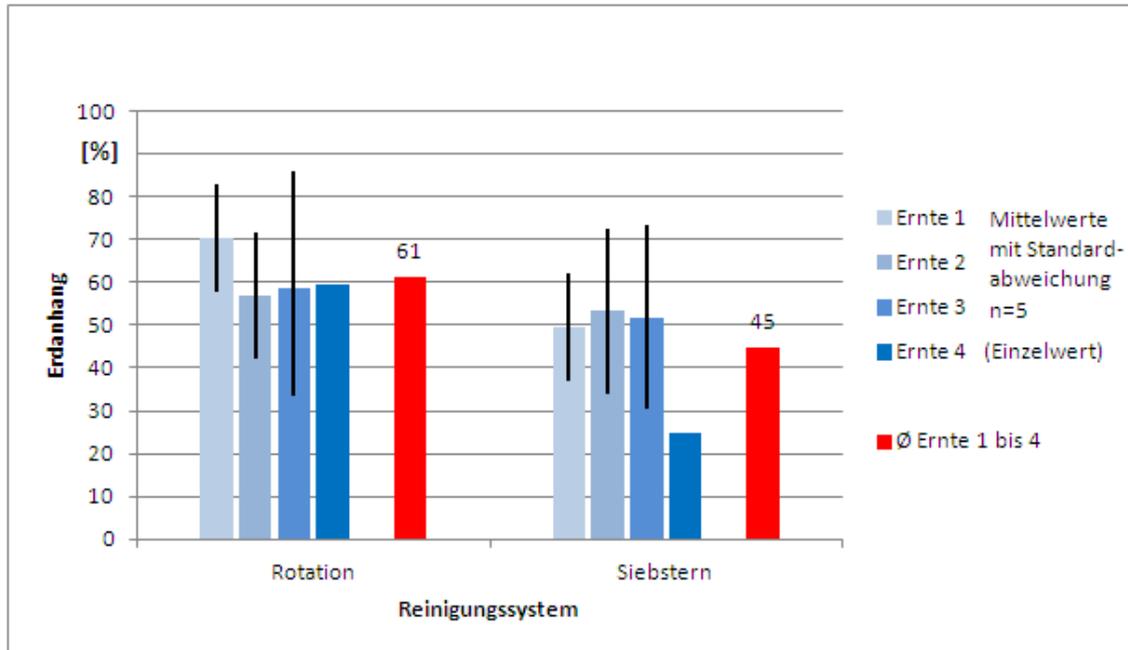


Abbildung 63: Erdanhang beim System „Rotation“ und „Siebstern“ in Relation zum System „Siebband“

Durchschnittlich verringert sich der Erdanhang bei den Wurzeln, die mit dem System „Rotation“ gereinigt wurden, um 39 Prozentpunkte gegenüber dem System „Siebband“. An den Wurzeln, die mit dem Siebstern geerntet wurden, haftet im Vergleich zum Siebband um 55 Prozentpunkte weniger Erde. Der verhältnismäßig niedrige Einzelwert von nur 25 % zur Ernte 4 im System „Siebstern“ ist durch einen lückiger werdenden Pflanzenbestand (siehe Kap.5.5.7.4) im Vergleich zur Parzelle, in dem das Siebband eingesetzt wurde, bedingt.

5.5.8 Wurzelverluste im Aufnahmeband nach Integration einer Einzugstrommel bei unterschiedlichen Scharformen

Im dem Versuch wurden zwei unterschiedliche Scharformen in die Aufnahmevorrichtung mit Reißtrommel integriert und hinsichtlich der Wurzelverluste (Abbildung 64) miteinander verglichen.

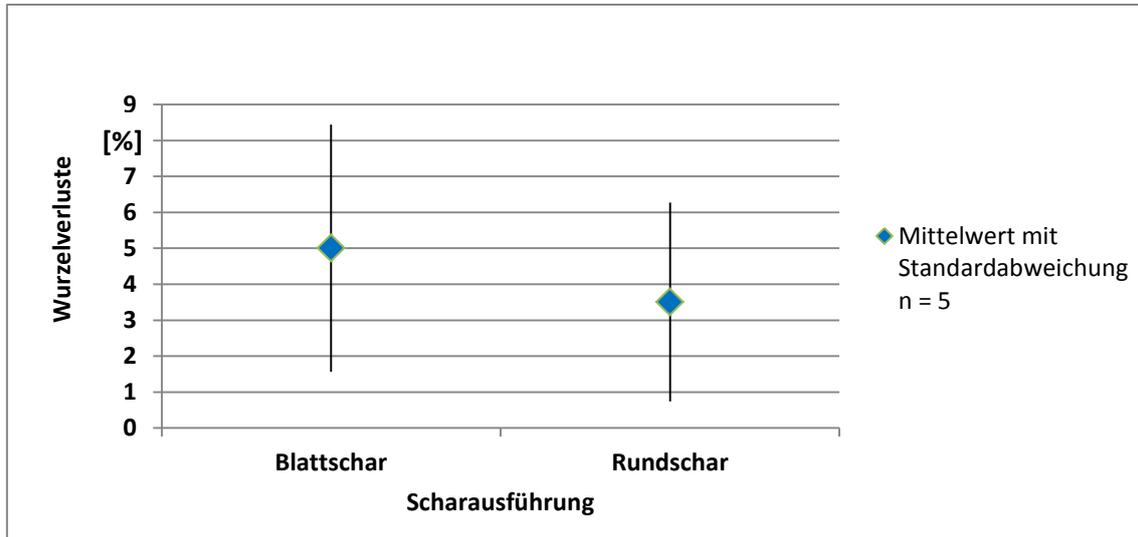


Abbildung 64: Wurzelverluste in der Aufnahmevorrichtung bei unterschiedlicher Scharausführung

Bei dem Vergleich der beiden Schartypen in der Aufnahmevorrichtung mit Einzugstrommel unterscheiden sich die beiden Scharen bezüglich der Höhe der Wurzelverluste nicht signifikant. Im Mittel entstehen bei der Entnahme der Wurzeln über das Blattschar 5,0 % Verluste, über das Rundschar 3,5 %. Die Messwerte streuen zwischen 0,7 % und 8,8 %.

5.5.9 Ernte von Baldrianwurzeln aus verschiedenen Anbauverfahren

Alle Parzellen der Versuchsanlage mit den unterschiedlichen Anbauverfahren konnten mit der Aufnahmevorrichtung ohne Störungen gerodet werden. Wurzelverbände über 50 cm waren im Erntegut nicht mehr vorhanden. Bei der Ernte traten keine Blockaden beim Gutfluss durch die Erntemaschine auf.

5.5.9.1 Quantitative Unterschiede zwischen den Anbauverfahren

Bei der Betrachtung der pflanzenbaulichen Aspekte der einjährigen Versuchsergebnisse zeigt sich, dass das Anbauverfahren starken Einfluss sowohl auf qualitative als auch auf quantitative Merkmale (Abbildung 65) von Baldrianwurzeln bewirkt.

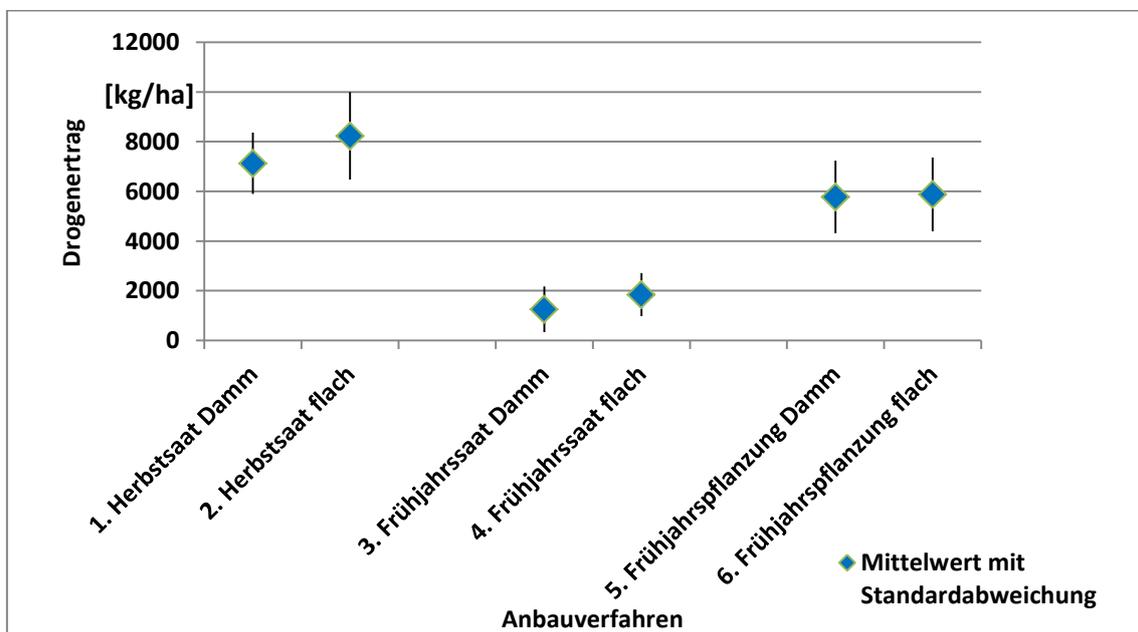


Abbildung 65: Drogenertrag in Abhängigkeit vom Anbauverfahren

Hinsichtlich des Drogenertrages ist die Frühjahrssaat sowohl im ebenerdigen als auch im Dammanbau den übrigen Verfahren signifikant unterlegen.

5.5.9.2 Qualitative Unterschiede der Baldrianwurzeln zwischen den verschiedenen Anbauverfahren

Die Valerensäuregehalte (Abbildung 66) unterscheiden sich zwischen den unterschiedlichen Anbauverfahren nicht signifikant.

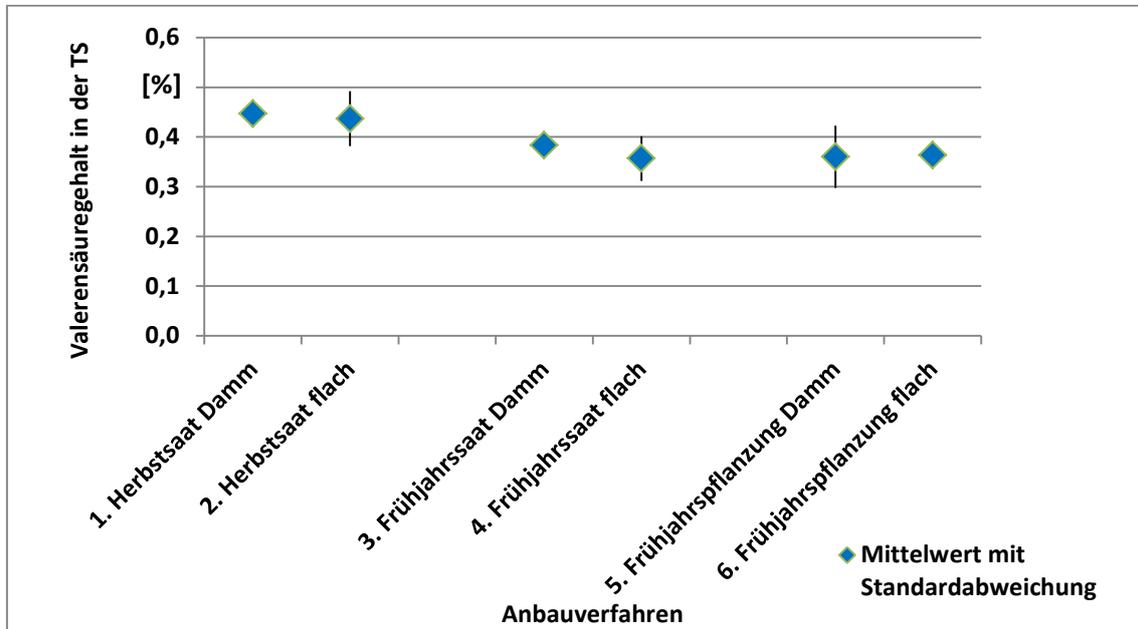


Abbildung 66: Valerensäuregehalte in Abhängigkeit vom Anbauverfahren

Die Valerensäuregehalte der Herbstsaaten liegen im Mittel über denen der Frühjahrssaat und der -pflanzung.

Der ätherische Ölgehalt (Abbildung 67) ist im Dammanbau bei der Frühjahrssaat und Frühjahrspflanzung signifikant, bei der Herbstsaat mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,135$ höher als im Flachanbau.

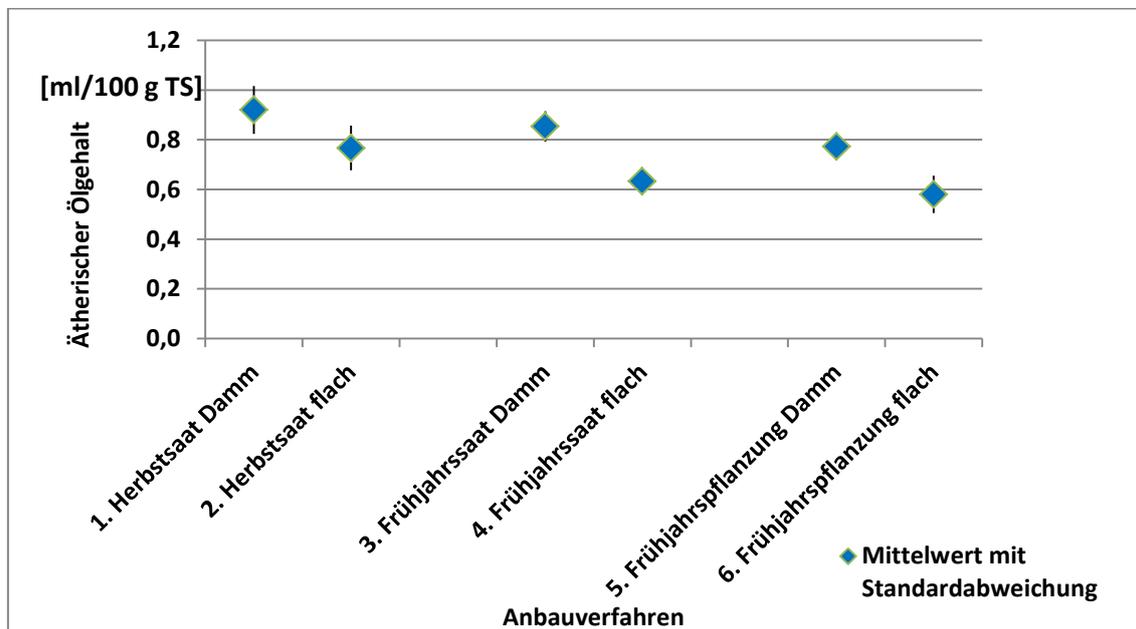


Abbildung 67: Ätherischer Ölgehalt in Abhängigkeit vom Anbauverfahren

Die qualitativen Merkmale entsprechen in allen Parzellen den Qualitätsnormen des Europäischen Arzneibuches für die arzneilich verwendeten Baldrianwurzeln und deren Zubereitungen.

5.5.9.3 Einfluss des Anbauverfahrens auf den Erdbesatz der Wurzeln

In der Abbildung 68 ist der Erdbesatz der Wurzeln aller Parzellen des Versuchs in Abhängigkeit vom Drogenertrag abgebildet.

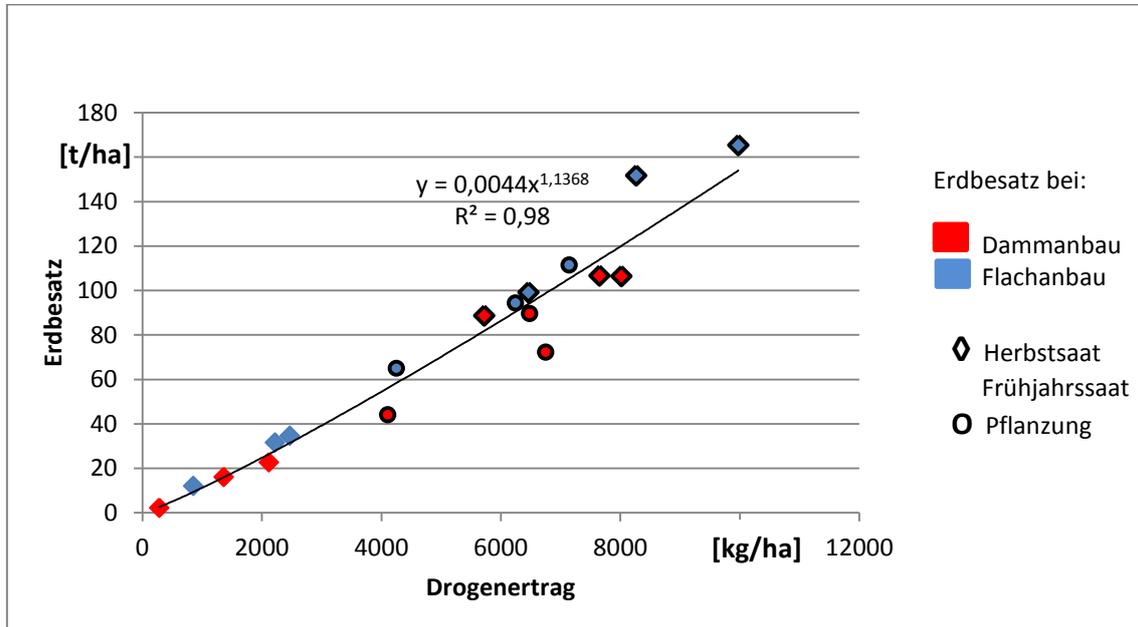


Abbildung 68: Erdbesatz in Abhängigkeit vom Drogenertrag

Das Anbauverfahren beeinflusst den Erdbesatz nicht direkt, sondern nur indirekt über den Wurzeleertrag. Der Erdanhang an den Wurzeln steigt mit dem Drogenertrag an.

Augenscheinlich wurde jeweils die Reihe, welche mit den Rundscharen entnommen wurde, im Scharbereich verstärkt gelockert und im Anschluss dadurch schneller von der an den Wurzeln haftenden Erde befreit. Das exakte Spurhalten erwies sich im Flächenbau, in dem die einzelnen Reihen nur schwer erkennbar waren, als schwierig.

5.5.10 Validierung des neuen Erntesystems in der Praxis

Aufbauend auf die vorausgegangenen Versuche werden die Wurzelverluste für das neue Erntesystem zunächst theoretisch berechnet und anschließend mit den in der Praxis gemessenen Werten verglichen. Dazu wurden in den Erntekampagnen 2013 und 2014 bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen und auf unterschiedlichen Schlägen (unterschiedliche Bodenbeschaffenheit) die Wurzelverluste mit der Bohrstockmethode bestimmt.

5.5.10.1 Theoretische Berechnung der Verlustwurzeln im 1-phasigen Erntesystem

Unter Annahme (Tabelle 48), dass sich die Wurzelverluste der einzelnen Systeme, welche in die neue Erntemaschine integriert sind, addieren, summieren sich diese auf einen Wert von 9,3 %.

Tabelle 48: Theoretische Berechnung der Wurzelverluste im neuen Erntesystem

Anzahl	Systeme	Verluste in %	Gesamtverluste in %
1	Aufnahmevorrichtung ¹⁾	3,5	3,5
3	Reinigungssystem „Rotation“ ²⁾	1,2	3,6
1	Reinigungssystem „Siebsterne“ zur Umlenkung ²⁾	1,6	1,6
1	Reinigungssystem „Siebband“ zur Höhenförderung ²⁾	0,6	0,6
Summe:			9,3

¹⁾ Kap. 5.5.8 Abbildung 64

²⁾ Kap. 5.5.7.5 Tabelle 46

Das Reinigungssystem „Rotation“ ist in das neue 1-phasige Erntesystem (siehe Abbildung 37, Kap. 5.4) nach der Aufnahmevorrichtung dreimal hintereinander integriert, bevor der Gutstrom über das System „Siebsterne“ in einen Elevator umgelenkt wird. Weil der Elevator bzw. Höhenförderer einem Siebband mit Mitnehmern entspricht, wurde der im Versuch ermittelte Verlustwert von 0,6 % für das Siebband angenommen.

5.5.10.2 Wurzelverlustermittlung bei trockenen und feuchten Bodenverhältnissen

In der nachfolgenden Abbildung (Abbildung 69) sind die in der Praxis mit der Bohrstockmethode gemessenen Wurzelverluste aus den Erntekampagnen 2013 und 2014 abgebildet. Die Wurzelverlustermittlung wurde bei dem größten deutschen Baldriananbaubetrieb mit einer Fläche von jährlich 22 ha Arzneibaldrian durchgeführt. Angesichts der in den zurückliegenden Jahren auf unter 30 ha stark geschrumpften Anbauflächen in Deutschland stellt diese Anbaufläche somit das einzig repräsentative deutsche Anbaugebiet dar.

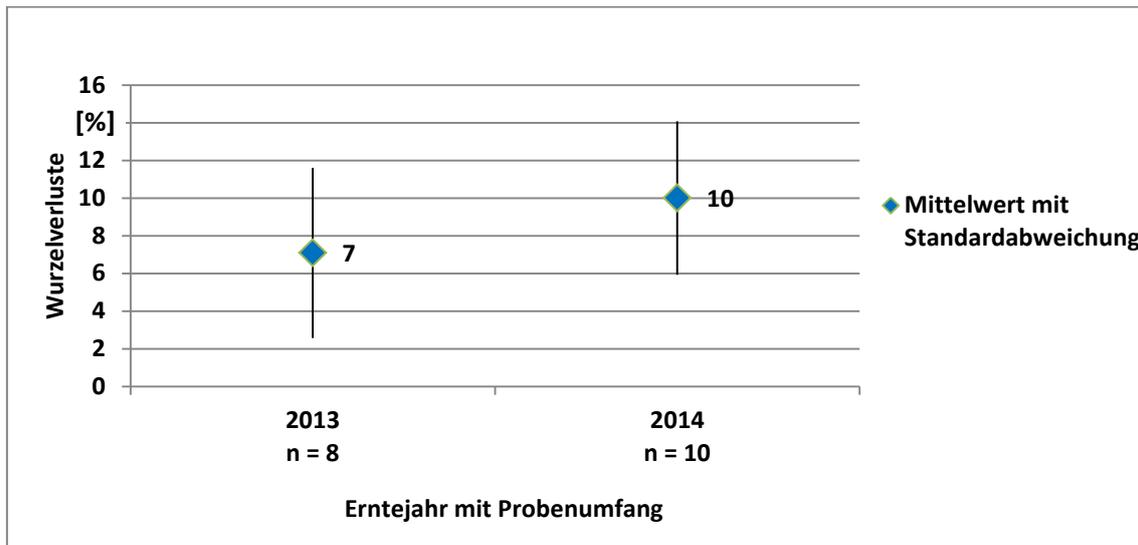


Abbildung 69: Wurzelverluste im 1-phasigen Erntesystem

Für die Berechnung der prozentualen Wurzelverluste liegt im Jahr 2013 ein Drogenertrag von 1783 kg/ha zugrunde. Dieser wurde bei trockenen Bodenverhältnissen am Standort „Rockendorf an der Werkstatt“ erzielt. Im Jahr 2014 wurden am Standort „Zella“ bei feuchten Rodebedingungen hingegen nur 1261 kg/ha geerntet.

6 Diskussion

Die Diskussion der Arbeit ist untergliedert in Systementwicklung und Feldversuche.

6.1 Systementwicklung

Im Stand der Technik wird deutlich, wie komplex ein funktionsfähiges Ernte- und Reinigungssystem für Baldrianwurzeln gestaltet sein muss. Für die Entwicklung müssen verschiedene Bereiche des Maschinenbaus mit den Anforderungen des Pflanzenbaus abgeglichen werden. Als Herangehensweise an dieses Vorhaben wurde in dieser Arbeit der Weg der Zerlegung in beschreibbare Teilsysteme über anwendbare Wirkprinzipien zur Ernte von Baldrianwurzeln gewählt. Mit der Analyse des Ernteprozesses nach den verschiedenen Wirkprinzipien der Wurzelentnahme, von Fördersystemen, nach Beanspruchungsmechanismen der Zerkleinerung und insbesondere nach den Wirkprinzipien von Trennverfahren wurde die Anzahl möglicher anwendbarer Verfahren im Stand der Technik auf ein überschaubares Maß reduziert. Stets im Hinblick auf Boden und Pflanze wurden nach dem Ausschlussverfahren Wirkprinzipien, die für die Entwicklung wenig bzw. nicht erfolgreich erschienen, ausgeschlossen. Weil diese Vorgehensweise oftmals die Gefahr des voreiligen Ausschlusses von Prinzipien aufgrund einiger weniger Kriterien birgt, muss sie kritisch betrachtet werden. In der Arbeit wurde hierauf reagiert, indem nicht eindeutige Verfahren (z.B. automatisiertes Klaubten) intensiv und oftmals zu lange weiterverfolgt wurden, damit mögliche neue Lösungswege nicht voreilig verworfen wurden.

6.1.1 Systematisierung und Schwachstellenanalyse

Bei der Systematisierung und Schwachstellenanalyse des Ernteprozesses in den Praxisbetrieben wurden ausschließlich 2-phasige Erntesysteme vorgefunden, welche den Verfahrensschritt der Zerkleinerung von Wurzelverbänden nicht speziell beinhalten. Auf Grund dieser Tatsache wurde der Notwendigkeit dieser Maßnahme im Ernteprozess vorerst zu wenig Beachtung verliehen und die Entwicklung einer Aufnahmevorrichtung mit speziellem Zerkleinerungssystem für Wurzelverbände erst mit zeitlicher Verzögerung im Projektverlauf begonnen. Diesbezüglich war die Systematisierung der in der Praxis angewendeten Systeme für den Entwicklungsfortschritt kontraproduktiv. Bei der mit der Systematisierung einhergehenden Schwachstellenanalyse hingegen zeigte sich, dass ein Übertragen von Ergebnissen, beispielsweise aus der Kartoffelerntetechnik oder

von anderen Wurzelfrüchten, auf die Baldrianwurzelernte nicht eins zu eins angewendet werden kann. Zudem gab die Schwachstellenanalyse Anlass zur äußerst kritischen Betrachtung von Anbauempfehlungen (z.B. Rodetiefe), welche die Entwicklung maßgeblich beeinflussen.

6.1.1.1 Rodegeschwindigkeit bei der Baldrianernte

Im Rahmen der Schwachstellenanalyse wurde bei der Besichtigung von Baldriananbaubetrieben die Rodegeschwindigkeit bei der Baldrianernte erfasst. Die Vorfahrtsgeschwindigkeit betrug bei den Schwingsiebrodern um die 200 m je Stunde. Bei Arbeitsbreiten von 1,3 m bis 1,5 m lassen sich damit Flächenleistungen von maximal 300 m² je Stunde erzielen. Die von NEUHAUSER, et al. (2003) und OEBEL (1989) mit Schwingsiebrodern bei der Wurzelernte angegebenen Flächenleistungen von 0,1 bis 0,2 ha je Stunde können somit nicht bestätigt werden. Im Einsatz bei Baldrian liegen auch die Flächenleistungen der erfassten Siebkettenvorratsroder, welche mit nahezu identischen Arbeitsbreiten roden, unter den Werten von 0,3 bis 0,5 ha pro Stunde der obigen Autoren. Eine Erklärung für diese Differenzen ist möglicherweise, dass die in der Literatur wiedergegebenen Leistungsdaten nicht speziell für Baldrianwurzeln sondern allgemein für Wurzelfrüchte gelten, die gröbere Strukturen aufweisen und deshalb leichtgängiger zu roden bzw. reinigen sind. Die sehr niedrigen Vorfahrtsgeschwindigkeiten bei den Schwingsiebrodern sind aber auch teilweise dem nachgelagerten Ernteprozess geschuldet. Bei der Ernte mit den Schwingsiebrodern wurden die Wurzeln nach dem Roden manuell geborgen. Um diese schwere Handarbeit leichtgängiger zu gestalten, waren die Betriebsleiter stets bemüht das Erntegut mit nur geringstmöglichem Erdbesatz auf den Boden abzulegen. Nur bei entsprechend langsamer Vorfahrtsgeschwindigkeit und siebfähigem Boden konnte mit dem Verfahren der Siebklassierung auf den relativ kurzen Rosten ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden. Der Vergleich der Rodegeschwindigkeiten zwischen den Siebketten- und Schwingsiebrodern in Abhängigkeit von den Fallstufen ist nicht optimal, weil die Messung der Rodegeschwindigkeit an verschiedenen Standorten in Deutschland und Holland mit jeweils nur der im Betrieb verwendeten Rodemaschine durchgeführt wurden. Für eine belastbare Datengrundlage hätten die Rodemaschinen zum gleichen Zeitpunkte am selben Ort, also bei gleichen Bodenverhältnissen, miteinander verglichen werden müssen. Trotz der wenig belastbaren Daten war die Erhebung für die Entscheidungsfindung bedeutsam. Sie gab einen schnell-

len Überblick über die in der Praxis erzielbaren Rodegeschwindigkeiten bei der Ernte von Wurzelfrüchten, speziell für Baldrian. Obwohl die Rodungen nach den Angaben der Landwirte stets bei günstigen Bodenverhältnissen ausgeführt wurden, zeigte sich, dass bei der Rodung von Baldrianwurzeln vermutlich deutlich geringere Vorfahrtsgeschwindigkeiten als bei den gängigen Wurzelfrüchten erzielt werden können. Die Unterschiede in der Flächenleistung zwischen den beiden Rodemaschinentypen, welche NEUHAUSER, et al. (2003) und OEBEL (1989) allgemein für Wurzelfrüchte anführen, wird bei dieser Analyse auch für Baldrian bestätigt. Für die weiterführende Entwicklung der Rodetechnik speziell im Bereich „Fördersysteme“ bedeutet dies, dass die mechanischen Stetigförderer ohne Zugmittel nicht weiterverfolgt werden zugunsten derer mit Zugmittel.

6.1.1.2 Scharanstellwinkel

KARWOWSKI (1974) schreibt, dass das Aufstauen an einer steilgestellten Schar ein Auflockern bewirkt. Nach DELITZ (1989) ist der maximale Anstiegswinkel von 45° unter Gesichtspunkten des Energiebedarfs, Materialaufwand und Bauteilebelastung optimal. Bei Baldrian führen derart steile Anstiegswinkel unter nassen Erntebedingungen zu einem Einrollen (Abbildung 33 in Kap. 5.2) des aufgenommenen Gutes. Das Brechen bzw. Lockern mit einer steil gestellten Schar funktioniert nur bedingt bei trockenen Bodenverhältnissen. In der Abbildung 70 sind mögliche Verhaltensweisen des Wurzel-Erde-Verbundes bei trockenen und nassen Bedingungen abgebildet.

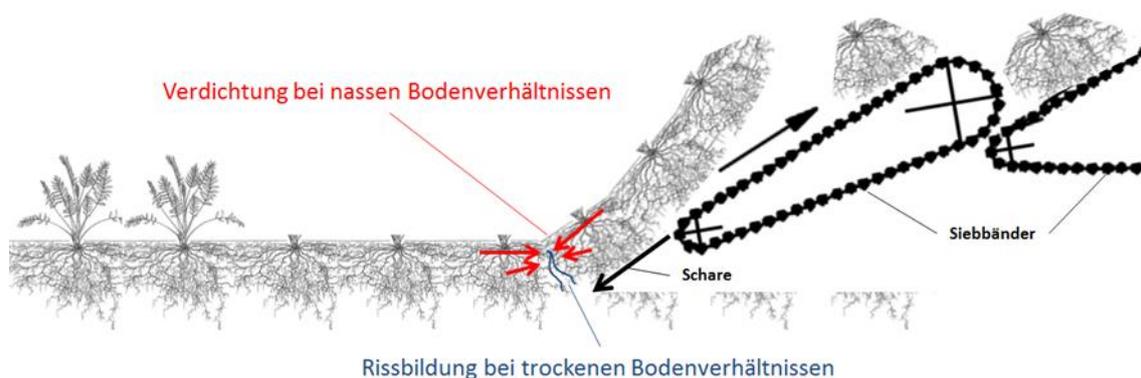


Abbildung 70: Aufnahme von Baldrianwurzeln bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen

Wird der Verbund bei nassen Bedingungen von der unterfahrenden Schar angehoben, so wird möglicherweise der obere Bereich durch das Aufstauen bzw. Anheben stark verdichtet. Die Baldrianwurzeln sorgen wie eine Gewebematte im Gut für Stabilität, was zur Folge hat, dass die Verdichtung und Form bestehen bleibt. Bei entsprechend steilem Anstiegswinkel führt diese plastische Verformung zum Einrollen und damit zu einer Blockade in der Aufnahme. In dem Praxiseinsatz, bei dem das Einrollen beobachtet wurde, begünstigten die über die Reihen rollenden Tast- bzw. Stützräder die Verdichtung der obersten Schicht zusätzlich. Gerade bei nassen Bedingungen kann eine minimale Druckbeanspruchung zum Verkleben des Bodens zwischen den Wurzeln führen. Bei der Entwicklung einer Aufnahmevorrichtung für die Baldrianernte sollte deshalb eine Lösung angestrebt werden, bei der der Wurzel-Erde-Verbund vor dem Roden nicht belastet wird. Stützräder für eine exakte Tiefenführung der Scharen sollten deshalb seitlich bzw. zwischen den Reihen laufen oder der Druck durch eine Druckentlastung auf ein Minimum reduziert werden. Unter sehr trockenen und klutigen Bodenverhältnissen ist bei der Ernte der Wurzeln mit steilem Scharanstiegswinkel die Gefahr der Rissbildung im unteren Bereich der zu rodenden Schicht erhöht. Abgerissenen Wurzeln gehen im weiteren Ernte- bzw. Verarbeitungsprozess verloren. Steile Anstiegswinkel sind deshalb bei der Baldrianernte weder unter trockenen noch nassen Erntebedingungen zu empfehlen. Nach MILNE (2005) und PETERS (1982) soll die Anordnung der Scharen gegenüber den nachfolgenden Siebeinrichtungen so erfolgen, dass die Übergabe der Erdmasse flüssig geschieht und ein Aufstauen auf der Schar vermieden wird. Mit einem flachen Scharanstiegswinkel soll diesem Grundsatz der speziell für die Kartoffelernte gestellt wurde, auch bei der Baldrianernte begegnet werden.

6.1.2 Auswahl geeigneter Systeme für eine Erntemaschine

Für die abschließende Zusammensetzung der Erntemaschine wurden für die einzelnen Phasen geeignete Systeme ausgewählt. Die beiden im morphologischen Kasten visualisierten Lösungswege unterscheiden sich grundsätzlich nur noch in der Art des Reinigungssystems. Die Wirkmechanismen sind auf beiden Lösungswegen identisch. Nachfolgend werden die angewendeten Wirkmechanismen in den einzelnen Verfahrensschnitten diskutiert.

6.1.2.1 Wurzelentnahme

Zur Entnahme der Wurzeln werden in der Aufnahmevorrichtung rostartige Meißelscharen eingesetzt. Ob bei dieser Art der Scharen ausschließlich das Wirkprinzip „Schneiden“ zur Anwendung kommt, ist nicht eindeutig. In dem Bereich zwischen den Meißelscharen, wird das Erntegut nicht vollständig vom Unterboden durch eine Schneide abgeschnitten. Das Gut wird von den dünnen Scharen gehoben bzw. gehobelt. Einzelne Adventivwurzeln, die zwischen den Meißelscharen noch im Unterboden stecken, werden beim Anheben herausgezogen. Wenn auch nur eingeschränkt, so finden bei der Wurzelentnahme über diesen Schartyp auch die Wirkprinzipien „Hebeln“ und „Ziehen“ Anwendung. Nach NEUHAUSER, et al. (2003) erfordert das Wirkprinzip „Hebeln“ eine definierte Fruchtform (Keilform) und das Wirkprinzip „Ziehen“ ein geradliniges schmales Wurzelwerk mit stabilem Kraut, das zum Herausziehen genutzt werden kann. Obwohl die Baldrianwurzeln als Ganzes diesen Anforderungen nicht gerecht werden, konnten diese mit einem Rübenvollernter, bei dem das Wirkprinzip des Hebelns angewendet wird, aus dem Boden entnommen werden. In Kap. 6.2.2 wird dies näher erläutert bzw. diskutiert.

6.1.2.2 Fördersysteme

Im Bereich „Fördersysteme“ wurde für das Erntesystem das Prinzip des mechanischen Stetigförderers mit Zugmittel gewählt. Nach GÜNTHER (2011) sind die grundlegenden Auslegungsdaten für Fördersysteme die Antriebsleistung und der Fördergutstrom. Bei der Entwicklung dieses Erntesystems für Baldrian spielt die Antriebsleistung eine untergeordnete Rolle. Während in der Vergangenheit bei Entwicklungen von mobilen landwirtschaftlichen Gerätschaften die zur Verfügung stehenden Antriebsleistungen durch die relativ schwach motorisierten Traktoren begrenzt waren, stehen für den Antrieb von Erntemaschinen mittlerweile so leistungsstarke Traktoren zur Verfügung, so dass die aufzubringenden Antriebsleistungen nach der Entwicklung dem Bedarf angepasst werden kann. Der Fördergutstrom war hingegen ein bzw. das entscheidende Kriterium bei der Dimensionierung der mobilen Erntemaschine.

Das von COLIJN (1985) erstellte Schema für die Auswahl eines geeigneten Fördermittels wurde für das Fördern von Gütern entwickelt. Obwohl in einer Erntemaschine nicht nur gefördert, sondern auch gleichzeitig siebklassiert wird, konnte über dieses Auswahlverfahren die Findung erleichtert werden.

Entscheidend für die Auswahl einer mehrreihigen Aufnahme bzw. eines breiten Fördersystems war die Empfehlung von COLIJN (1985), dass die maximale Korngröße des Grobgutes $1/3$ der Gurtbreite nicht übersteigen soll. Unter Annahme eines Wurzeldurchmessers von bis zu 50 cm wurde deshalb ein Trägerfahrzeug mit entsprechend breiten Bändern von über 1,5 m ausgewählt. Wird das Gut schon bei der Entnahme siebklassiert, verändert sich bereits vor den Fördersystemen die Beschaffenheit des Gutes und damit auch der Durchmesser. Bei gut siebfähigem Boden könnten deshalb die Fördersysteme entsprechend schmaler und somit auch für eine einreihige Aufnahme der Wurzeln ausgelegt werden.

6.1.2.3 Zerkleinerung

Die unterschiedliche Beschaffenheit des Wurzel-Erde-Verbundes macht die Anwendung der selektiven Zerkleinerung mit anschließender Trennung, wie diese PAHL (1991) für Stoffe mit heterogenem Zerkleinerungsverhalten empfiehlt, notwendig. Weil mit der neu entwickelten Erntemaschine Baldrian aus verschiedenen Anbauverfahren gerodet werden soll, bedarf es der selektiven Zerkleinerung. Würden mit dem Roder nur nicht zusammenhängende Einzelpflanzen geerntet werden, könnte hierauf verzichtet werden. Das Herauslösen einzelner Wurzeln aus einem teppichartigen Verbund unterscheidet sich grundlegend vom Lösen der um das Rhizom haftenden Erde. Mit dem Einsatz einer Reißtrommel, die dem Prinzip eines Walzenbrechers entspricht, wird der teppichartige Verbund aufgelöst. Hierbei kommen im Wesentlichen die Beanspruchungsmechanismen I (zwischen zwei Festkörperflächen) und II (an einer Festkörperfläche) nach RUMPF (1965) zur Anwendung (siehe auch Abbildung 5, Kap. 3.3.1). Erst wenn die Wurzeln durch die vorausgegangene Grobzerkleinerung in einer günstigen, stückigen, fast runden Form vorliegen, kann der Mechanismus III (nicht an einer Festkörperfläche: z.B. Fliehkräfte) in den Systemen „Rotation“ und „Siebsterne“ zusätzlich greifen. Hierbei werden die Wurzeln in Drehung versetzt, durch die Fliehkraft öffnen sich diese und das Erdmaterial kann entweichen. Die bei den beiden Reinigungssystemen und dem Siebband zur Wirkung kommenden Mechanismen der Zerkleinerung werden in Kap. 6.2.6.4 näher erläutert.

6.1.2.4 Trennverfahren

Über das Verhältnis zwischen der größten und kleinsten Kornabmessung werden Schüttgüter in klassierte und unklassierte unterschieden (VDI 2322, 2014). Bei dem Wurzel-Erde-Gemenge bei der Baldrianernte handelt es sich somit um ein unklassiertes Gut. Die Anwendung des Trennverfahrens der Siebklassierung liegt daher nahe. Über die Korngröße als charakteristisches Trennmerkmal können die groben Baldrianwurzelstöcke vom feinkörnigen Bodenmaterial unterschieden werden. Mit Ausnahme von sehr großen Steinen und Kluten liegen beide Komponenten in einem für das Trennverfahren der Siebklassierung günstigen Korngrößenbereich. Auf Grund des relativ großen Durchmessers der Baldrianpflanze von meist mehr als 10 cm, können auf Rosten unter Berücksichtigung der Vermeidung von Klemmkorn Sieböffnungsweiten von bis zu 7 cm realisiert werden. Müssen kleinere Wurzeln gerodet werden, so kann durch die Anpassung der Weite entsprechend reagiert werden. Die errechnete Weite liegt in dem von TAGGART (1964) genannten Bereich über 3,5 cm, in dem Roste wirtschaftlich eingesetzt werden können. Alle übrigen, nach TOMAS (2012) aufgeführten Trennverfahren, sind entweder für das Korngrößenspektrum nicht geeignet oder am Gut sind die notwendigen Trennmerkmale zu wenig ausgeprägt.

6.2 Feldversuche

Zu Beginn des Projektes haben keine speziellen Versuchsflächen zur Verfügung gestanden. Die Anlage eines großräumigen Versuchsfeldes am Baumannshof im Jahr 2011 scheiterte an der nicht keimenden Saat. Für das Vorankommen der Entwicklung waren aber Feldversuche unabdingbar. Versuche wurden deshalb in Flächen auf Praxisbetrieben, die mehrere hundert Kilometer entfernt waren gelegt. Aber auch Flächen eines Zuchtgartens wurden verwendet, welche für die Züchtung nicht mehr benötigt wurden. Auf den Flächen in der Praxis kann betriebsbedingt nur in einem beengten Zeitraum agiert werden, sofern der Betriebsleiter dies zulässt. Kleinräumige Versuchspartellen aus Zuchtprogrammen sind für die Testung von großen Geräten nur bedingt geeignet. Zudem besteht die Gefahr, dass das Zuchtmaterial den in der Praxis verwendeten Sorten nicht entspricht. Für zukünftige Entwicklungen wäre deshalb eine frühzeitig angelegte, ausreichend dimensionierte, homogene Versuchsfläche nahe dem Entwicklungsstandort ratsam.

6.2.1 Feldnachtrocknung

Die Feldnachtrocknung wird in der Literatur und von Praktikern oftmals als Vorteil des 2-phasigen Ernteverfahrens genannt. Mit zunehmender Abtrocknung des Bodenmaterials verringert sich die Kohäsion und Adhäsion. Die Siebfähigkeit des Bodens wird erhöht. Das Bodenmaterial lässt sich leichtgängiger aus den Wurzeln entfernen. (Mheen, 1997), (Hennings, 2010)

In dem Versuch kann dieser Vorteil nicht bestätigt werden. Tendenziell verringert sich sogar nach augenscheinlich erfolgter Abtrocknung die Gewichtsreduzierung der Wurzeln beim Ausschütteln. Eine mögliche Erklärung für die geringe, aber statistisch nicht abgesicherte Differenz ist, dass sich die Wurzeln während des Zeitraums der Nachtrocknung im Schwad absetzen und sich dabei die Erde mit den Wurzeln verklebt. Der Schwad ist nach erfolgter Nachtrocknung nur äußerlich aufgeheilt. Der hohe Erdanteil im Schwad vermindert möglicherweise den notwendigen Luftaustausch für eine Abtrocknung. Würde das Gut vorab besser gereinigt werden und somit die Oberfläche um ein Vielfaches erhöht werden, so ist eine Verringerung von Kohäsion und Adhäsion theoretisch möglich. Bei zu starker Austrocknung steigt allerdings die Gefahr von Wurzelverlusten an, weil nicht nur das Boden- sondern auch das Wurzelmaterial trocknet und vor der Bergung brüchig werden kann.

Die Witterung an den Tagen der Versuchsdurchführung Anfang November war für diese Jahreszeit für ein Abtrocknen auf dem Schwad äußerst günstig. In dem bei unseren klimatischen Bedingungen günstigen Erntezeitraum von Oktober bis November sind die Tage mit diesen Idealbedingungen selten. Selbst bei stetig optimaler Vorreinigung der Wurzeln wird die Kohäsion und Adhäsion durch das Nachtrocknen am Feld nur an wenigen Tagen verringert werden können.

Im Versuch wurden die Wurzeln von Hand zehn Sekunden ausgeschüttelt. Nach ca. fünf Sekunden war meist keine weitere Gewichtsreduzierung spürbar. Ob die Schüttelintensität an beiden Terminen dennoch gleich war, muss als äußerst kritisch betrachtet werden.

Für die Weiterentwicklung des Erntesystems ist der Verlust dieses Arbeitsschrittes, angesichts der nur an wenigen Idealtagen zu erwartenden Verbesserung der Reinigungsfähigkeit der Wurzeln, somit von geringer Bedeutung. Zu Beginn des Projektes war die Entscheidung für ein 1- oder mehrphasiges Erntesystem noch nicht endgültig getroffen.

Mit diesem Versuch konnte in kurzer Zeit eine Entscheidung zu Gunsten des 1-phasigen Systems herbeigeführt werden.

6.2.1 Rodetiefe

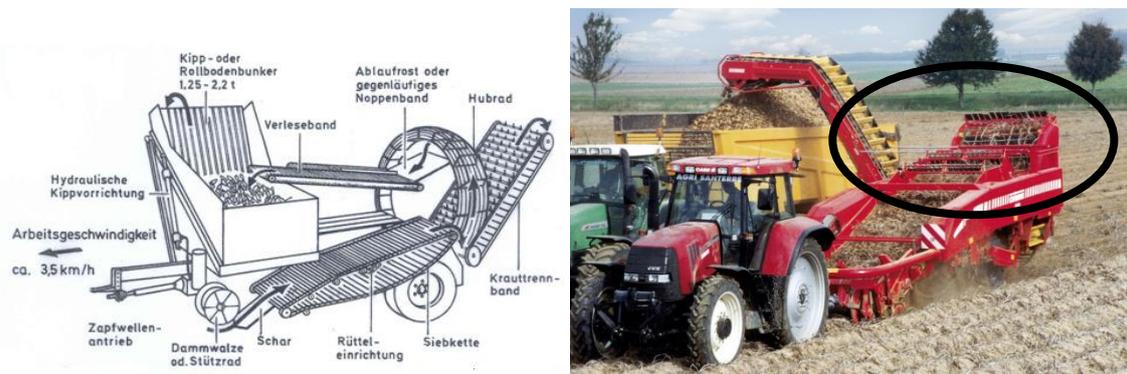
Während von BOMME (2001) allgemein für Wurzelerntemaschinen ein Tiefgang von 30 cm empfohlen wird, roden Praktiker Baldrian zwischen 10 cm und 20 cm tief. RANGAHAU (2001) empfiehlt speziell für Baldrian eine Rodetechnik mit einem Tiefgang bis zu 30 cm zu verwenden. Nach MHEEN (1997) ist eine Rodetiefe von 20 cm für Baldrian in Reihenkultur ausreichend. Die angestrebte Rodetiefe beeinflusst maßgeblich die Rodetechnikentwicklung hinsichtlich ihrer Stabilitäts- und Durchsatzauslegung. Während ein Tiefgang von 30 cm äußerst robuste Technik erfordert, können Rodetiefen zwischen 10 cm und 20 cm auch mit entsprechend leichteren Baugruppen (z.B. Kartoffelerntetechnik) erreicht werden. Unter Annahme eines Preises von 4 €/kg Droge (KTBL, 2002) und einem Ertrag von 6 t/ha entsteht je Prozentpunkt ein Warenwertverlust von 240 €/ha. Wird 10 cm tiefer gerodet, müssen zusätzlich 1000 m³ (10000 m² x 0,1 m) Erde je Hektar bewegt und die Wurzeln davon separiert werden. Nach dem derzeitigen Wissensstand ist keine Technik vorhanden, die bei solch einem extrem weiten Wurzel-Erde-Verhältnis wie in der Schicht zwischen 20 cm und 30 cm, ein effizientes Roden und Separieren der Baldrianwurzeln gewährleistet. Der allgemein für Wurzelfrüchte von BOMME (2001) und speziell für Baldrian von RANGAHAU (2001) gestellten Forderung, dass diese Erntetechnik einen Tiefgang von 30 cm haben soll, kann bei Baldrian nicht entsprochen werden. Unter der angenommenen Marktsituation ist ein Tiefgang von bis zu 20 cm, wie ihn MHEEN (1997) empfiehlt, völlig ausreichend. Eine mögliche Erklärungen für die von RANGAHAU (2001) empfohlene Rodetiefe sind die sehr viel höheren Preisannahmen von bis zu 20 US\$/kg.

Angesichts der geringen Wurzelmassen unterhalb von 10 cm wäre eine Rodetiefe von nur wenigen Zentimetern unter 10 cm für die Auslegung der Aufnahmevorrichtung am günstigsten. Weil aber mögliche Jahres- oder Standorteinflüsse, welche die Wurzelmassenverteilung im Boden beeinflussen könnten, in dem einjährigen Versuch, an nur einem Standort und mit ausschließlich Stämmen aus der Züchtung nicht ausgeschlossen werden können, wird bei der Erntetechnikentwicklung ein Tiefgang der Rodewerkzeuge bis 20 cm angestrebt.

6.2.2 Ernte von Baldrian mit modernen Vollerntemaschinen aus der Kartoffel- und Rübentechnik

BOMME (2001) schreibt in seiner Kulturanleitung, dass die Wurzelernte auch mit Kartoffel- (Abbildung 71) oder Zuckerrübenvollernter 1-phasig vorgenommen werden kann.

Die derzeit am Markt verfügbaren Vollerntemaschinen für den Kartoffel- und auch Rübenanbau unterscheiden sich im Wesentlichen von den alten Maschinen durch die zunehmende Ausstattung derer mit effektiveren Erd- und Krauttrenneinrichtungen.



Quelle: (links) Landtechnik-Weihenstephan, 1980; bearbeitet,
(rechts) Grimme, 2013; bearbeitet

Abbildung 71: Kartoffelerntemaschinen (l. früher, r. heute)

Über grobmaschige Krautketten wird in modernen Kartoffelvollerntemaschinen langstängeliges Kraut als Grobgut abgesiebt. Im Gutstrom zurückgebliebenes kurzes Kraut oder langes Kraut im Feingut wird durch spezielle Krautzupfwalzen und Igelbänder separiert. Diese Entwicklung im Bereich der Kartoffelerntetechnik macht den Einsatz dieser modernen Technik bei Baldrian ohne gravierende Umbaumaßnahmen unmöglich.

Die Rübenerntetechnik (Abbildung 72) hat in den zurückliegenden Jahren eine ähnliche Entwicklung vollzogen. Heutzutage werden nach den Scharen überwiegend Walzenrosen mit Wendelwalzen zum Absieben des Feinguts und zum Ausscheiden von Blattresten verwendet.

Die von KARWOWSKI (1974) hervorgehobene gute Abscheidung von Rübenblättern ist auch bei Baldrianwurzeln wirksam. Im Versuch gingen bei der Ernte mit dem Rübenvollernter (Abbildung 72, rechts) 77 % der Baldrianwurzeln augenscheinlich an diesem Reinigungssystem verloren.

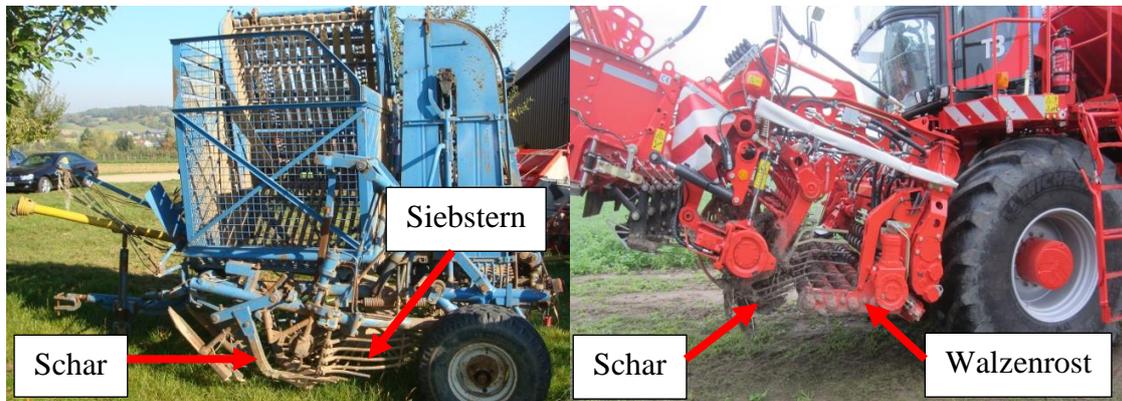


Abbildung 72: Zuckerrübenvollernter (l. früher, r. heute)

Während die Empfehlung von BOMME (2001) somit noch vor ein oder zwei Jahrzehnten bejaht werden hätte können, gilt sie heute nur noch stark eingeschränkt.

Mit dieser fortschreitenden Entwicklung der Rodetechnik sind auch die unterschiedlichen Aussagen von Seiten der Praktiker erklärbar (Spenger, 2012), (Winter, 2012).

Entgegen der Aussage von NEUHAUSER, et al. (2003), das Wirkprinzip des Hebelns ist nur bei Früchten mit einer definierten Form anwendbar, konnten bei der Ernte mit dem Rübenvollernter die Wurzeln mit den aktiv bewegten Polderscharen entnommen werden. Die Polderscharen sind für das Hebeln der Rüben konzipiert. Zum Hebeln der Rüben reicht eine Rodetiefe von wenigen Zentimetern. Für die Ernte von Baldrian mussten die Scharen in die tiefste mögliche Position gestellt werden. Die Entnahme glich somit mehr einem Herausschneiden eines keilförmigen Strangs aus Erde und Wurzeln. Mit der für das Hebeln konzipierten Entnahmeverrichtung des Rübenvollernters wurde in dem Versuch durch die tiefe Schareinstellung nicht das Wirkprinzip des Hebelns sondern des Schneidens zur Anwendung gebracht. Die Aussage von NEUHAUSER, et al. (2003) kann deshalb nicht widerlegt werden. Auch WINTER (2013) konnte die Baldrianwurzeln mit der originalen Aufnahmevorrichtung seiner Rodemaschine (Abbildung 72, links) nicht aus dem Boden hebeln. Erst durch den Einbau einer tiefstehenden Meißelschar, bei der das Wirkprinzip des Schneidens zur Anwendung kommt, war die Ernte möglich.

6.2.3 Krautstabilität

Zur Validierung der Überlegung, das Baldriankraut als ein herausragendes Merkmal für das Trennverfahren des automatisierten Klaubens zu benutzen, wurde der Versuch „Krautstabilität“ durchgeführt. Wie bei einer Handerte im Spätsommer sollte die Baldrianpflanze über das Kraut fixiert, aus dem Boden gezogen und anschließend ausgeschüttelt werden. Durch eine die Wurzel unterschneidende Schar, analog des Spatens bei der Handerte oder dem Staudenzieh-Sammelroder nach Martschenkow-Burjakow, hätte das Herausziehen unterstützt werden sollen. Das Gewicht eines mit Erde besetzten Wurzelstocks (siehe Abbildung 1 links) von ca. 20 kg bis 30 kg müsste hierzu über das Kraut gehalten werden. Ein Drittel der Pflanzen erfüllten diese Bedingung bereits zum ersten Erntetermin anfangs Oktober nicht mehr.

Nach MIELKE, et al. (2007) liegt der optimale Erntezeitpunkt in unseren Breiten im Oktober und November. MHEEN (1997) und BOS, et al. (1998) bevorzugen spätere Erntetermine bis ins zeitige Frühjahr, welche dem niederländischem Klima mit weniger und auch später eintretenden Frosttagen geschuldet sind. PERROT (1906) und BOMME (2001) raten wegen der oftmals trockeneren Bodenverhältnisse zur Wurzelernte im September. Damit das Trennverfahren des automatisierten Klaubens über das Kraut zur Anwendung kommen könnte, müsste die Ernte vor die in der Literatur genannten Erntetermine gelegt werden. Dem stehen Ertragseinbußen und Inhaltsstoffverluste entgegen (Vömel, et al., 1984), bestätigt durch die eigenen Versuche (5.5.7.5). Das verfügbare Erntefenster würde dadurch erheblich eingeschränkt werden. Eine Entwicklung nach diesem Prinzip wird deshalb nicht weiter verfolgt.

Die beiden Voraussetzungen, die NEUHAUSER, et al. (2003) für das Prinzip des Ziehens bei der Entnahme nennt, sind bei Baldrian nicht erfüllt. Weder das kleine geradlinige Wurzelwachstum noch das gesunde Blattwerk sind im üblichen Erntezeitraum vorhanden.

6.2.4 Ertragsdepressionen zwischen Herbst- und Frühjahrsernte

Weil in der Literatur nur konkrete Zahlen bezüglich der qualitativen Ertragseinbußen nicht aber der Quantität der zu erwartenden Ertragsdepressionen bei einer Frühjahrsernte gegenüber der üblichen Herbsterte entnommen werden konnte, wurde dieser Versuch angelegt. Die Höhe der Ertragsdepression soll als Richtwert für die maximal tolerierbaren Wurzelverluste bei einer Ernte im Herbst dienen. Hintergrund des Versuches

„Herbst- versus Frühjahrsernte“ ist die Überlegung, ob der Einsatz aggressiver, verlustreicher Reinigungssysteme (z.B. Wendelwalzen, Siebstern), die auch im Herbst unter widrigen Bedingungen eine Ernte ermöglichen, der alternativen Frühjahrsernte vorgezogen werden sollen.

Im Versuch werden die von BOMME (2001) in seiner Kulturanleitung für Baldrian erwähnten Ertragsdepressionen bei einer Frühjahrsernte bestätigt.

Nach VÖMEL, et al. (1984) stagniert die Wurzelmasse bzw. verringert sich nur geringfügig vom Herbst bis zum zeitigen Frühjahr. Erst ab dem Wiederaustrieb steigen die Masseverluste deutlich an. Eine Stagnation bzw. nur geringfügige Ertragsdepression kann im Versuch mit durchschnittlich 31 % Verlusten nicht bestätigt werden. Der Versuch wurde vor dem Wiederaustrieb gerodet.

Hinsichtlich der qualitativen Veränderungen werden in dem Versuch die Ergebnisse von (Bos, et al., 1998) bestätigt. Bei BOS, et al. (1998) schwankt der ätherische Ölgehalt übers Jahr hinweg nur wenig. Dennoch ist er im Herbst (September) am höchsten. Der Valerensäuregehalt findet sein Maximum deutlich im Februar bis März, bei VÖMEL, et al. (1984) im März bis April. In den Untersuchungen von VÖMEL, et al. (1984) ist auch ein Anstieg des Ölgehaltes zu den Frühjahreseernteterminen hin zu verzeichnen. Dieser kann im Versuch nur von einer Herkunft tendenziell bestätigt werden, nicht aber von den übrigen.

Mögliche Gründe für die nicht einheitlichen Ergebnisse können in den unterschiedlichen Standorten, klimatischen Bedingungen, Sorten aber auch Anbauverfahren liegen. Während bei BOS, et al. (1998) und im einjährigen Versuch „Herbst versus Frühjahrsernte“ gesäter Baldrian untersucht wird, handelt es sich bei VÖMEL, et al. (1984) um gepflanzten Baldrian.

„Das Europäische Arzneibuch definiert die Qualitätsnormen für die arzneilich verwendeten Baldrianwurzeln und deren Zubereitungen, indem die aus dem Wurzelstock, den Wurzeln und den Ausläufern bestehenden unterirdischen Bestandteile mindestens 4 ml ätherisches Öl/kg mit mindestens 0,17 % Sesquiterpensäuren (Valerensäure und Acetoxyvalerensäure), berechnet als Valerensäure, für die ganze oder geschnittene, getrocknete Droge (*Valerianae radix*) oder mindestens 3 ml/kg mit mindestens 0,10 % Sesquiterpensäuren, berechnet als Valerensäure, für die zerkleinerte, getrocknete Droge (*Valerianae radix minutata*) enthalten.“ (Heuberger, et al., 2012)

Während bei den vier beprobten Stämmen trotz der qualitativen Veränderungen die Qualitätsnormen für Baldrian (*valerianae radix*) sowohl zur Herbst- als auch zur Frühjahrsernte erfüllt werden, beeinflusst der quantitative Wurzelverlust direkt die Wirtschaftlichkeit des Anbaus.

Der Einsatz aggressiver Reinigungsinstrumente im Herbst ist deshalb unter Umständen einer Frühjahrsernte, welche zusätzlich Verluste durch Ertragsdepressionen mit sich bringt, vorzuziehen.

6.2.5 Referenzsystem „Handernte“

In einem späteren Versuch sollen unterschiedliche Reinigungssysteme hinsichtlich ihrer Wurzelverluste bewertet werden. Für die anschließende Entscheidung für oder wider die einzelnen Systeme sind nicht nur die relativen Verluste zwischen den Systemen, sondern insbesondere die Verluste vom möglichen Wurzelertrag von Interesse. Als Referenzwert gegenüber einer maschinellen Ernte soll der Ertrag einer unmittelbar an die Versuchsparzelle angrenzenden Fläche dienen, die von Hand beerntet wird. Es wurde angenommen, dass der Ernteertrag bei der maschinellen Ernte, bedingt durch höhere Verluste als bei der Handernte, niedriger ist.

Bei der Auswertung des Versuchs wird deutlich, dass die Handernte weder ein Garant für eine 100-prozentige Ernte noch für ein Erntesystem mit prozentual gleichbleibenden Verlusten gegenüber der maschinellen Ernte ist. Die starken Ertragsschwankungen in den einzelnen Parzellen können nicht ausschließlich durch Verluste der verschiedenen Erntesysteme erklärt werden. Die Handernte wurde bei allen Parzellen auf die gleiche Art und Weise ausgeführt. Stark wechselnde Bodenverhältnisse in den einzelnen Parzellen waren nicht erkennbar. Auch die Einstellungen der beiden Erntemaschinen blieben unverändert. Die Unterschiede werden deshalb auf heterogene Wurzelerträge innerhalb der Parzellen zurückgeführt. Die Problematik von stark schwankenden Massenerträgen benachbarter Wurzeln wird auch von MARTIN, et al. (1997) bestätigt. Für die Erfassung der Wurzelverluste bei den nachfolgenden Versuchen bedeutet dies, dass die Berechnung über einen Referenzwert nicht zielführend ist. Für die Beurteilung eines Ernte- bzw. Reinigungssystems muss deshalb eine andere Methode gewählt werden.

6.2.6 Reinigungssystemvergleich

Der Vergleich der drei Reinigungssysteme (Siebband, Rotation und Siebsterne) ist der umfangreichste Versuch bei der Entwicklung des Erntesystems. Die Ergebnisse werden nachfolgend diskutiert.

6.2.6.1 Wurzelverluste und Reinigungsintensität

Hinsichtlich der Wurzelverluste unterscheiden sich die drei geprüften Reinigungssysteme „Siebband“, „Rotation“ und „Siebsterne“ durchschnittlich nur bis zu einem Prozent. Rodeverluste von bis zu 10 %, welche BOMME (1984a) im Versuch mit einem Kartoffelvollernter ermittelt hat, werden in keiner Versuchsvariante und an keinem der vier Erntetermine verursacht. Ein Grund für die meist unter fünf Prozent liegenden Gesamtverluste kann der für Baldrian optimierte Kartoffelrodelader sein. In dem verwendeten Kartoffelrodelader wurden vorab alle krautzupfenden Reinigungsinstrumente (siehe Kap. 4.4.7.2) entfernt, während BOMME (1984a) bei seinen Versuchen eine Kartoffelvollerntemaschine ohne jegliche Umbaumaßnahmen verwendet hat. Die Versuchsanstellung in dieser Arbeit ist für die Testung verschiedener Reinigungsmodulen konzipiert worden. Im Gegensatz zu BOMME (1984a) wurde deshalb auf eine Überladeeinheit verzichtet und das Probenmaterial auf den Boden bzw. auf die Unterziehfolie abgelegt. Eine Überladeeinheit verursacht hingegen weitere Wurzelverluste. Der bei der Rübenernte vielfach eingesetzte Siebsterne verursachte in den Versuchsdurchführungen weitaus geringere Verluste als vermutet wurde, obwohl er durch die Bauart der Versuchsmaschine bedingt in Kombination mit dem vorgeschalteten Beschickungsband getestet wurde. Dieses bereitet geringfügig mehr Verluste, sorgt aber auch für einen zusätzlichen Reinigungseffekt. Während der Standardsiebsterne bei der Rübenerntetechnik meist mit dünnen Leitrosten und ebenfalls dünnen Stützstreben ausgestattet ist, wurde der hier verwendete Siebsterne (siehe Kap.4.4.7.1) vorab für den Einsatz in Baldrian optimiert. Dies kann ein Grund für die niedrigen Verluste sein. Das System „Siebsterne“ mit dem vorgeschalteten Beschickungsband erzielte an allen Ernteterminen die beste Reinigungsleistung verursachte aber im Vergleich der drei Systeme die höchsten Massenverluste. Gegenüber dem System „Rotation“ werden zwar keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Reinigungsintensität, als auch der Wurzelverluste festgestellt, aber tendenziell ist das System „Siebsterne“ bei der Reinigungsintensität dem System „Rotation“ überlegen, während das System „Rotation“ tendenziell weniger Verluste verursacht. Bei

einer theoretischen Betrachtung des Siebsters allein ohne Beschickungsband ist es fraglich, ob der Siebster solo die gleiche Reinigungsleistung wie das System „Rotation“ erreicht. Das System „Siebband“ ist den beiden anderen Systemen in der Reinigungsleistung unterlegen, bei den Verlusten hingegen überlegen.

6.2.6.2 Ontogenese

Bei den qualitativen Merkmalen (Valerensäure und äth. Ölgehalt) unterscheiden sich die Reinigungssysteme nicht. Die Ontogenese im Versuchszeitraum bezüglich des ätherischen Ölgehalts ist nur mit der von BOS, et al. (1998) identisch. Bei BOS, et al. (1998) schwankt der ätherische Ölgehalt übers Jahr hinweg nur wenig und ist im Herbst (September) am höchsten. Die Ontogenese in dem kurzen Zeitraum der Versuchsdurchführung ist der von VÖMEL, et al. (1984) bezüglich beider Qualitätsmerkmale entgegengesetzt. Mögliche Gründe für die nicht einheitlichen Verläufe der Inhaltsstoffgehalte können in den unterschiedlichen Standorten, klimatischen Bedingungen, Sorten, aber auch Anbauverfahren liegen. Der Versuch gibt nur einen zeitlich begrenzten Abschnitt aus einer Vegetationsperiode wieder, ebenso wie bei VÖMEL, et al. (1984). Die Gehalte vor und nach dem Versuchszeitraum wurden nicht erfasst, weil der Versuch ausschließlich zur Entscheidungsfindung für oder wider die drei Reinigungssysteme angelegt wurde.

6.2.6.3 Probenahme

Die direkte Probenahme anstatt einer indirekten Berechnung der Verluste über den Wurzelertrag hat sich als richtig herausgestellt. An keinem der vier Erntetermine konnte ein signifikanter Ertragsunterschied zwischen den drei Versuchsvarianten ermittelt werden. Eine statistisch abgesicherte Berechnung der Verluste über den Wurzelertrag ist somit nicht möglich.

Für die Bestimmung der Systemverluste wurde mit Handsieben, also teilmechanisiert, die Erde abgesiebt und damit statistisch verwertbares Datenmaterial gewonnen. Die Vorreinigungsverluste wurden dagegen durch vollständiges Auslesen der Wurzeln von Hand ermittelt. Trotz Rotationssystem des Verlesepersonals treten zwischen den ausgewählten Parzellen, welche theoretisch mehr oder weniger einheitlich sein sollten, erhebliche Schwankungen auf. Trotz der enormen Schwankungsbreite (siehe Abbildung 58) scheint es, dass die Vorreinigungsverluste zur dritten und vierten Ernte, welche unter nassen Bodenverhältnissen durchgeführt wurden, sinken. Grund für die nicht signifi-

kanten Unterschiede sind möglicherweise die stark mit Erde eingewickelten Wurzeln. Die Reinigungsinstrumente greifen nicht direkt in den Wurzelstock ein, was mit Wurzelabrissen einhergeht, sondern lösen erst die anhaftende Erde, welche die Wurzeln einschließt. Dies ist möglicherweise auch ein Grund, weshalb die Gesamtwurzelverluste an den vier Ernteterminen nur geringfügig variieren. Die Summe der bewegten Erde (Absieberde und Hafterde) steigt unter feuchteren Bodenverhältnissen an. Damit wird die Forderung von BOMME (1984a) bestätigt, dass ein mäßig bis gut abgetrockneter, siebfähiger Boden der leicht von den Wurzeln rieselt optimal für die Baldrianernte ist.

6.2.6.4 Wirkmechanismen der Zerkleinerung

In den drei geprüften Reinigungssystemen kommen unterschiedliche Wirkmechanismen der Zerkleinerung zum Einsatz. Die nach RUMPF (1965) definierten Beanspruchungsarten unterscheiden sich hinsichtlich der Krafteinwirkung auf das Gut (siehe auch Abbildung 5, Kap. 3.3.1). Mit Hilfe dieser Wirkmechanismen lassen sich die Unterschiede bei den Wurzelverlusten und in der Reinigungsintensität erklären. Die zur Zerkleinerung erforderliche Kraft und Energie wird bei allen drei Systemen zunächst über eine Festkörperfläche herangeführt. Bei der Übergabe der Wurzeln in das Siebband erfolgt eine Prallbeanspruchung auf dem Siebband. Diese ist bei den Systemen „Siebband“ und „Siebstern“ gleich. Im System „Rotation“ ist die Prallbeanspruchung gegenüber den anderen beiden verändert, weil das Band steiler gestellt ist. Die Wurzeln werden hier zunächst negativ beschleunigt und anschließend auf dem steil gestellten Band wieder positiv in Verbindung mit einem Richtungswechsel. Bei der Beschleunigung auf dem steil gestellten Band wird an den Wurzeln eine rotierende Bewegung (Abbildung 73) eingeleitet.



Abbildung 73: Rotierende Wurzel auf steil gestelltem Siebband

Bei den anderen beiden Systemen treten an dieser Fallstufe von 280 mm ebenfalls Richtungswechsel und Beschleunigungsveränderungen auf aber bei weitem nicht so intensiv.

Die geringen Veränderungen führen deshalb nur teilweise zu einem Umwälzen bzw. Drehen und dem damit verbundenen Öffnen der Wurzeln. Die Wurzeln liegen auf dem Rost und blockieren so den Durchgang. Durch die Prallbeanspruchung zerkleinerte Partikel werden zwar in der Wurzel gelöst, können sich aber nur teilweise aus dem Wurzelgeflecht befreien, weil die zu geringen Fliehkräfte kein vollständiges Öffnen bewirken. Die weniger starke Prallbeanspruchung bei dem System „Siebband“ gegenüber der „Rotation“ ist möglicherweise eine Ursache für die geringeren Wurzelverluste. Der größte Teil des Reinigungseffektes wird offensichtlich durch den Wirkmechanismus III herbeigeführt. Obwohl die Beanspruchungen, die sich mit diesem Mechanismus ausüben lassen, nach LÖFFLER, et al. (1992) verhältnismäßig gering sind, reichen sie hier aus, den Materialverbund zu lösen. Der Effekt des Lösens beruht hier aber weniger auf der Verringerung von Ko- und Adhäsion sondern vielmehr auf dem Strecken bzw. Öffnen des Wurzelgeflechtes. In der Wurzel vorhandene lose Erde oder durch die Prallbeanspruchung gelöste Partikel entweichen erst, nachdem die feinen Wurzeln gestreckt sind und so der Weg nach außen nicht mehr durch diese behindert wird.

Beim System „Siebstern“ erfolgen weitere Prallbeanspruchungen. Zunächst an einer Festkörperfläche bei der Aufgabe auf den Drehrost. Der Produktaufgabepunkt beeinflusst maßgeblich die Intensität. Wird das Produkt am Rand des Sterns aufgegeben, so erfolgt bei konstanter Winkelgeschwindigkeit maximale Tangentialbeschleunigung. Wird das Produkt dagegen auf das Zentrum des Sterns abgelegt, erfährt es keine Tangentialbeschleunigung. Damit kein Material im Zentrum liegen bleibt, wurde dieser Bereich durch einen zylindrischen Hohlkörper im Versuch ausgenommen. Über die Veränderung des Aufgabepunktes, der Winkelgeschwindigkeit des Drehrosts und des Abstands zwischen diesem und dem Zuführband, wird die Intensität dieser Prallbeanspruchung beeinflusst. Nach erfolgter Beschleunigung auf dem drehenden Rost zum Leitrost hin, erfährt das Gut eine erneute Prallbeanspruchung an der Festkörperfläche des Leitrostes. Durch die Fliehkraft an den Leitrost und die Erdanziehungskraft auf den Drehrost gedrückt, greift der Wirkmechanismus I mit einer Beanspruchung zwischen zwei Festkörperflächen. Über die Ausgestaltung und Drehzahl der Roste kann die Intensität beeinflusst werden. Die hohe Reinigungsintensität verbunden mit den relativ niedrigen Wurzelverlusten von durchschnittlich 1,6 % des Siebsterns kann mit der ausschließlichen Anwendung der Wirkmechanismen I und II nicht erklärt werden. Beim

Abreiben der Wurzeln zwischen zwei Festkörperflächen müssten bei entsprechender Reinigungsintensität sehr viel höhere Wurzelverluste entstehen als beim Reinigen mit der Rotation. Die Abbildung 74 zeigt eine Bilderabfolge mit einer rotierenden Wurzel im System „Siebsterne“.

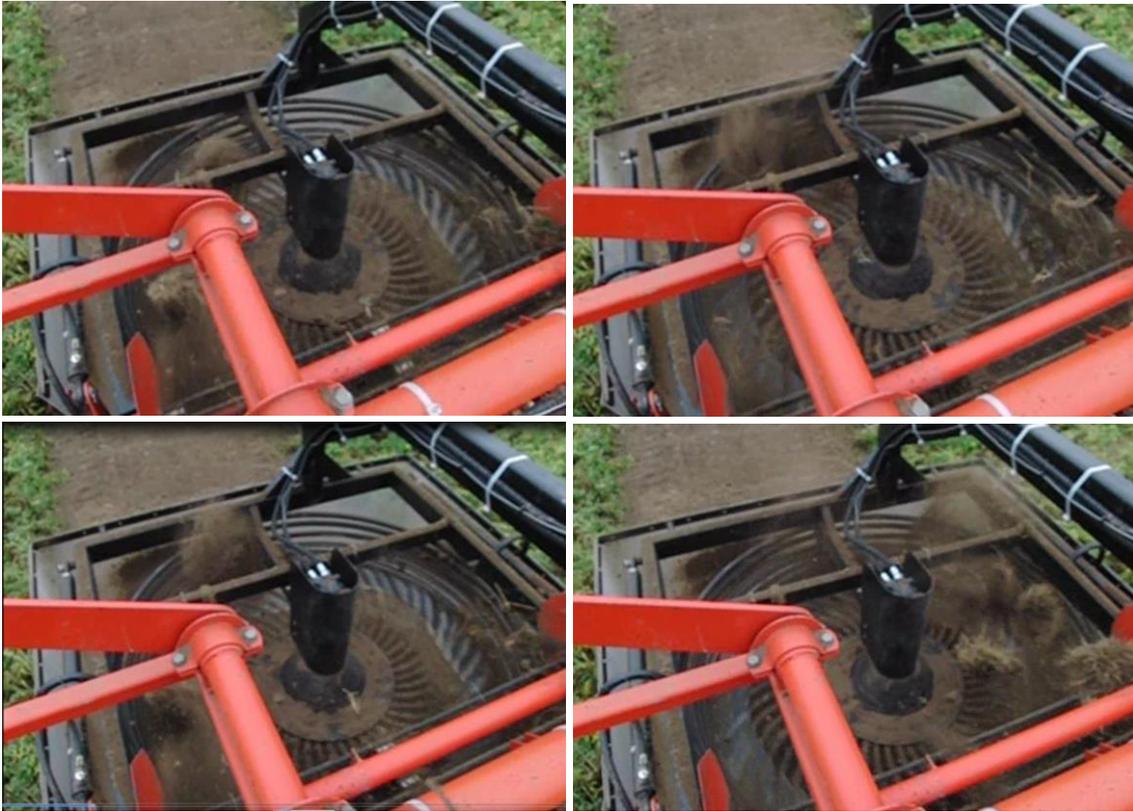


Abbildung 74: Rotierende Wurzeln im Siebsterne

Auch im Siebsterne kommt der Wirkmechanismus III zur Anwendung. Die Wurzel steht mit der Festkörperfläche des rechtsdrehenden Drehrostes und der der feststehenden Leitroste in Verbindung und wird dabei in Rotation versetzt.

6.2.6.5 Schlussfolgerung des Vergleichs

Für die weitere Entwicklung eines schonenden Erntesystems für die Baldrianernte sind somit alle drei Systeme verwendbar. Eine Kombination in der die vorteilhaften Eigenschaften der einzelnen Systeme genutzt werden, erscheint am sinnvollsten.

Das Siebband ist gegenüber dem Siebsterne der effektivere Höhenförderer. Durch Installation der Mechanik für die Rotation kann auch mit dem Siebband bzw. dann Rotation eine effektive Wurzelreinigung bei Bedarf zu- oder abgeschaltet werden.

Soll der Gutstrom umgelenkt werden, z.B. in eine Überladeeinheit, so ist der Siebstern dem Siebband durch seine richtungsweisende Abgabe des Produktes überlegen.

6.2.1 Einzugstrommel und unterschiedliche Schartypen

Das Ziel des Versuches war den Unterschied zwischen Blattschar und Rundschar bezüglich der Höhe der Wurzelverluste festzustellen. Auf Grund der schwankenden Messwerte konnte zwischen den beiden geprüften Scharausführungen kein eindeutiger Unterschied hinsichtlich der Wurzelverluste ermittelt werden.

Bei der Blattschar werden die Wurzeln in Höhe der voreingestellten Rodetiefe durch einen exakten Schnitt der Scharschneide von den tieferliegenden Wurzeln getrennt. Wurzeln die sich unterhalb der Schnittebene befinden gehen definitiv verloren. Bei der Rundschar gibt es keine durchgehende Schnittebene. Nur an der Scharspitze werden die tiefergehenden Wurzeln abgetrennt. Die zwischen den einzelnen Scharen liegenden Wurzeln werden beim Heben des Wurzel-Erde-Verbundes aus dem Unterboden herausgezogen. Wenn die Wurzeln hierbei nicht abreißen, kann bei dieser Art der Entnahme auch ein Teil der Wurzelmasse, welcher sich unterhalb des Rodehorizonts befindet, mitgeerntet werden. Im Versuch wurden bei der Rundschar keine höheren Wurzelverluste als bei der Blattschar gemessen. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Wurzeln nicht nahe am Rhizom abreißen und verloren gehen, sondern herausgezogen werden bzw. unterhalb des Rodehorizonts reißen.

Die wesentliche Erkenntnis dieses Versuches ist aber, dass die Rundscharen keine höheren Verluste verursachen als die Blattscharen. Mit dem Einsatz von rostartigen Scharen wird das Trennverfahren der Siebklassierung auch im Bereich der Aufnahme angewendet. Gelöste lockere Erde kann sofort zwischen den Scharen nach unten entweichen. Der Einsatz von rostartigen Scharen bei der Ernte von Baldrianwurzeln soll deshalb forciert werden. Die Leistungsfähigkeit der Rodemaschine soll dadurch gesteigert werden.

Die Wurzelverluste in diesem Versuch liegen auf einem höheren Niveau als beim Vergleich der drei Reinigungssysteme. Eine mögliche Erklärung für die hohen Verluste ist der Einsatz der Einzugstrommel unmittelbar nach der Schar über dem Aufnahmeband. Beim Auseinanderreißen der nebeneinanderliegenden verwachsenen Wurzeln ist die Gefahr groß, dass sich ineinander verwachsene Wurzeln verhaken und abgerissen werden.

Die Methode der Verlustwurzelbestimmung in dem Versuch war für die Entscheidungs-

findung zwischen Rund- und Blattscharen konzipiert. In dem schmalen Probenentnahmebereich ist der Randeinfluss sehr groß. Werden bei der Entnahme des Probenmaterials, welches die abgesiebte Erde und die Verlustwurzeln beinhaltet, Wurzeln von benachbarten Pflanzen abgeschnitten, so erhöhen diese unmittelbar die Verluste. Bei der Entscheidung für oder wider die beiden Schartypen spielt der Randeinfluss eine untergeordnete Rolle, weil dieser bei den beiden Varianten gleich ist. Zur Beurteilung dieser Aufnahmevorrichtung als Ganzes bezüglich der Wurzelverluste ist die Methode weniger geeignet, weil bei dieser die Wurzelverluste möglicherweise zu hoch bemessen werden. Die Durchschnittswerte dürfen deshalb nur als grobe Richtwerte betrachtet werden.

6.2.2 Ernte aus verschiedenen Anbauverfahren

Mit dem Versuch wurde die sich in der Entwicklung befindende Aufnahmevorrichtung mit der Reißtrommel und zwei unterschiedlichen Schartypen in sechs verschiedenen Anbauverfahren getestet. Weil nach RUMPF (1965) eine theoretisch umfassende Beschreibung des Zerkleinerungsverhaltens von Partikeln wegen der vielen Einflussfaktoren schwierig und nach LÖFFLER, et al. (1992) die von Partikelkollektiven noch komplizierter ist, wurde in dem Versuch die phänomenologische Betrachtung der Zerkleinerung wie sie auch von KWADE, et al. (2011) empfohlen wird, angewandt. Im Ergebnis waren keine zusammenhängenden Wurzelverbände mehr vorhanden, welche im Gutfluss, insbesondere bei der Umlenkung des Gutstroms in den quer laufenden Elevator, zu Blockaden hätten führen können. In welchem Ausmaß in den einzelnen Anbauverfahren stark zusammengewachsene Wurzelverbände vorhanden waren, ist nicht bekannt. Ein Vergleich des Aufgabegutes mit dem zerkleinerten Gut zur Beurteilung der Aufnahmevorrichtung über den Zerkleinerungsgrad ist deshalb nicht möglich. Für einen Vergleich hätte das Aufgabegut vor der Rodung beurteilt werden müssen, was wiederum ein vorzeitiges Entnehmen bzw. eine Veränderung des Wurzel-Erde-Verbundes zur Folge gehabt und somit die tatsächlichen Rodebedingungen verzerrt hätte. Die in der Literatur beschriebene Problematik der Beurteilung des Zerkleinerungsprozesses wegen nicht oder nur schwer erfassbarer Messgrößen bzw. wegen der damit verbundenen Veränderung des Aufgabegutes beim Erfassen dieser, war auch in diesem Versuch vorhanden. Bei den Parzellen mit hohen Erträgen kann davon ausgegangen werden, dass die Wurzeln zusammenhängend waren und von der Reißtrommel getrennt wurden. Gerade bei der Herbstsaatkultur mit sehr hohen Erträgen und einem theoretischen Abstand an

keimfähigen Körnern von unter einem Zentimeter, war mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein teppichartiger Wurzelverbund vorhanden. Dieser wurde in der Aufnahmevorrichtung aufgelöst und war beim anschließenden Quarteln (Abbildung 75) an den herausgerissenen Teilstücken noch sichtbar.



Abbildung 75: Zusammen gewachsene Wurzeln aus der Saatkultur beim Quarteln

Die Bandbreite der im Versuch in den einzelnen Parzellen erzielten Drogenerträge ist mit der aus der Literatur identisch (Heuberger, et al., 2012), (Bomme, 2001), (Farooqi, et al., 2001), (Bernath, 1997), (Falk, et al., 1999), (Dachler, et al., 1999), (Martin, et al., 1997), (Mheen, 1997).

BOMME (1984b) schreibt, dass bei der Dammkultur keine signifikanten Ertragsnachteile bzw. nur tendenziell leicht niedrigere Erträge zu erwarten sind. Im Versuch wird dies mit annähernd gleichen mittleren Erträgen bei der Pflanzkultur bestätigt. Bei den Saatkulturen ist der Ertrag im Dammanbau im Mittel geringfügig etwas niedriger als im Flächenbau, allerdings besteht ebenso wie bei BOMME (1984b) kein statistisch abgesicherter Unterschied.

BERBEC (1965) schreibt, dass eine übermäßige Wasserversorgung zu einer Qualitätsminderung insbesondere beim ätherischen Öl führen kann. Die Pflanzen im Dammanbau zeigten im Versuch vor denen im Flächenbau Welkeerscheinungen, woraufhin die gesamte Versuchsanlage stets bewässert wurde. Ob die Zusatzbewässerung zu einer übermäßigen Wasserversorgung im Flächenbau bzw. die Wasserunterversorgung im

Dammanbau vor der Beregnung die Ursache für die signifikanten Unterschiede im Ölgehalt zwischen dem Flach- und Dammanbau ist, bleibt eine Vermutung. Angesichts des sandigen durchlässigen Bodens am Versuchsstandort kann davon ausgegangen werden, dass keine stauende Nässe vorhanden war, welche das Wachstum der Pflanzen, insbesondere der im Flachbau stehenden, negativ beeinflusst hätte.

Nach BOMME (1979) hat sich der Anbau auf Dämmen für die maschinelle Ernte als günstig erwiesen. In dem Versuch konnten keine statistisch abgesicherten Vorteile bezüglich des Erdbesatzes bzw. der Reinigung der Wurzeln nachgewiesen werden. Die Ernte wurde bei sehr trockenen Bodenverhältnissen an einem Tag ausgeführt. Ob im Dammanbau eine schnellere Abtrocknung nach Regenperioden stattfindet, der sich eine leichtgängigere Reinigungsfähigkeit der Wurzeln anschließt, weil das Erdmaterial schneller siebfähig wird, kann mit diesem Versuch deshalb nicht beantwortet werden.

Hinsichtlich der Spurführung beim Roden hat sich der Dammanbau allerdings als äußerst günstig erwiesen. Während im Flachbau nach dem Beseitigen des Krautes die Reihen nicht mehr sichtbar waren und sich deshalb die Führung der schmalen Scharen exakt unterhalb der Wurzelreihen als schwierig erwiesen hat, war das Herausroden entlang der Dämme problemlos möglich. Diese Problematik der exakten Spurführung bei der Ernte der im Flachbau stehenden Pflanzen unterstreicht die von ZIMMER, et al. (2004) gestellte Forderung nach Rodeaggregaten mit einer entsprechenden Breite zur Vermeidung von Wurzelverlusten. Im Hinblick auf den derzeit überwiegend vorherrschenden Flachbau kann die Aufnahmevorrichtung mit den beiden schmalen Schartypen, welche sich beim Roden aus dem Dammanbau als günstig erwiesen haben, deshalb nicht belassen werden. Es bedarf einer Weiterentwicklung, bei der die Gefahr der Verfehlung der Reihen auf ein Minimum reduziert wird und der augenscheinlich erkennbare positive Effekt einer verstärkten Lockerung mit anschließender zügigerer Absiebung über den rostartigen Rundscharen beibehalten wird.

6.2.3 Wurzelverluste im neuen Erntesystem

Für die theoretische Berechnung der Gesamtwurzelverluste im neuen 1-phasigen Erntesystem wurde die Annahme getroffen, dass sich die Wurzelverluste der einzelnen Systeme, welche in vorausgegangenen Versuchen ermittelt wurden, entsprechend der Häufigkeit ihrer Anwendung addieren. In dem Feldversuch zur Validierung dieser Annahme

wurden im Jahr 2013 Verluste in Höhe von 7 % mit einer Standardabweichung von 4,5 % und im Jahr 2014 Verluste in Höhe von 10 % mit einer Standardabweichung von 4,1 % gemessen. Die Wurzelverluste befinden sich im Bereich des theoretisch errechneten Wertes von 9,3 %. Der theoretische Wert basiert auf Mittelwerten mit zum Teil sehr hohen Standardabweichungen. Für die Aufnahmevorrichtung wurde ein Mittelwert von 3,5 % angenommen, der bei der Rundschar gemessen wurde. Diesem Mittelwert liegt in dem Versuch „Wurzelverluste im Aufnahmeband nach Integration einer Einzugstrommel bei unterschiedlichen Scharformen“ in Kap. 5.5.8 eine Standardabweichung von 2,8 % zugrunde. Durch die Weiterentwicklung der Aufnahmevorrichtung werden die Baldrianwurzeln aus den Reihen nun in voller Breite über eine Vielzahl von Meißelscharen entnommen und an das nachfolgende Aufnahmeband übergeben. Im dem Versuch entsprechend Kap. 5.5.8 wurde hingegen nur ein schmaler Bereich mit zwei Rundscharen entnommen. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass durch die Veränderung die Verluste im neuen Erntesystem nicht weiter steigen sondern tendenziell eher niedriger ausfallen dürften. Die gemittelten Wurzelverluste der einzelnen in Reihe geschalteten Reinigungssysteme stehen ebenfalls in Verbindung mit zum Teil sehr hohen Standardabweichungen an den einzelnen Ernteterminen aus dem Versuch „Reinigungsintensität, Inhaltsstoff- und Wurzelverluste bei den drei getesteten Reinigungssystemen“ in Kap. 5.5.7. Bedingt durch den großen Gesamtprobenumfang der einzelnen Reinigungssysteme sind die für die Berechnung angenommenen Werte im Vergleich zu dem Wert der Aufnahmevorrichtung sehr viel stabiler.

Ebenso kritisch wie der berechnete Verlustwert müssen auch die in der Praxis gemessenen Werte betrachtet werden. Auf Grund begrenzt zur Verfügung stehender Trocknungskapazitäten wurde je Erntekampagne nur jeweils ein Durchgang zur Validierung ausgeführt. Auf die Heterogenität der Baldrianwurzeln und die sehr wechselhaften Böden wurde im Versuch mit einer hohen Anzahl an Bohrkernen reagiert. Das Ergebnis unterliegt in beiden Jahren einer ähnlich hohen Standardabweichung. Die Mittelwerte liegen nahe bei den berechneten Verlusten und bewegen sich auf derselben Höhe bis zu 10 %, welche auch BOMME (1984a) im Versuch mit einem Kartoffelvollernter ermittelt hat.

7 Ausblick

Im Rahmen der Arbeit wurde eine Erntemaschine für die 1-phasige Ernte von Baldrianwurzeln entwickelt. Ein Schwerpunkt der Arbeit war die schonende Reinigung. Hierbei wurden drei Reinigungssysteme (Siebband, Rotation und Siebsterne) einem wissenschaftlich basierten Vergleich unterzogen. Das daraus resultierende Ergebnis erlaubt nun eine objektive Einschätzung der verschiedenen Systeme im Einsatz bei der Baldrianernte.

Durch die projektbedingte Aufgabenstellung, die nachgelagerte Prozesskette zu berücksichtigen aber nicht zu verändern, konnte erfolgsversprechenderen neuen Reinigungssystemen (z.B. Zerteilen der einzelnen Wurzelstücke und anschl. Separieren) keine Aufmerksamkeit geschenkt werden.

8 Zusammenfassung

Da keine zufriedenstellende Lösung zur vollmechanisierten Ernte von Baldrianwurzeln als Arzneimittelgrundstoff existierte (Zimmer, et al., 2004), war das Ziel dieser Arbeit, die Entwicklung eines Systems für eine schonende 1-phasige Ernte von Baldrianwurzeln. Im Stand der Technik wurden verschiedene Wirkprinzipien der Wurzelentnahme, von Fördersystemen und insbesondere Wirkprinzipien von Zerkleinerungs- und Trennverfahren, mittels derer Baldrian gereinigt werden kann, analysiert. Prinzipien, die derzeit bei der Baldrianernte Verwendung finden, wurden näher erläutert.

Im Rahmen einer Schwachstellenanalyse wurden zu Beginn des Projektes in der Erntekampagne 2010 die Erntesysteme von Baldriananbaubetrieben analysiert. Die gewonnenen Daten wurden ebenso wie die Ergebnisse aus diversen Feldversuchen für eine Erleichterung der Entscheidungsfindung bei Überlegungen, als auch bei der Auswahl des optimalen Versuchsmaterials und geeigneter Methoden verwendet.

Im Versuch „Feldnachtrocknung“ wurde kein positiver Reinigungseffekt erzielt, obwohl die Wurzeln, auf einem Schwad am Feld abgelegt, unter günstigen Witterungsverhältnissen einen Tag nachtrockneten. Bei der Erstellung eines Wurzeltiefenprofils zeigte sich, dass für Baldrian eine Rodetiefe bis 20 cm ausreichend ist. In einem Versuch wurde gezeigt, dass die Ernte von Baldrianwurzeln mit modernen Rübenvollerntemaschinen ohne spezielle Anpassungen nicht bzw. nur mit sehr hohen Wurzelverlusten möglich ist. In einem weiteren Versuch wurde bestätigt, dass die Stabilität des Baldriankrautes für eine Fixierung nicht bis in den Spätherbst erhalten bleibt und somit als Trennmerkmal für das Verfahren des automatisierten Klaubens nicht verwendbar ist. Bei einem Vergleich der Herbst- mit der Frühjahrsernte war das Ergebnis, dass der Einsatz aggressiver Reinigungsinstrumente im Herbst unter Umständen einer Frühjahrsernte, welche zusätzlich Verluste durch Ertragsdepressionen mit sich bringt, vorzuziehen ist. Auf der Suche nach einer geeigneten Methode zur exakten Erfassung von Wurzelverlusten für den nachfolgenden Vergleich von drei Reinigungssystemen wurde in einem Versuch vorab die Handernte als Referenzsystem erprobt. Im Ergebnis wurde ersichtlich, dass die Berechnung über einen Referenzwert wegen der heterogenen Baldrianwurzeln nicht zielführend ist. Ebenso wenig erfolgversprechend ist die Berechnung der Wurzelverluste über den Ertrag. Die Massenverluste mussten deshalb bei dem Vergleich der drei Reinigungssysteme mittels Unterziehfolie direkt erfasst werden.

Dem Bereich „Reinigung“ der Wurzeln wurde in dieser Arbeit erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet, weil die Separierung von Wurzeln und Erde mit den derzeit verwendeten Systemen nur unbefriedigend gelöst werden kann. Während das Standardreinigungssystem „Siebband“ eine zu geringe Reinigungsintensität aufweist, galt der aus der Rüben-erntetechnik stammende Siebsterne als aggressives verlustreiches Reinigungssystem. Basierend auf den Stand der Technik wurde ein neuartiges Reinigungssystem „Rotation“ für Baldrianwurzeln entwickelt. Bei diesem Reinigungssystem rotieren die Wurzelstöcke auf einem Siebband. Durch die Zentrifugalkraft wird die Erde aus den Wurzeln herausgeschleudert. Das neue Reinigungsprinzip wurde in Feldversuchen mit den zwei bestehenden Systemen verglichen. In einem Vergleich wurde geprüft, ob sich die drei Reinigungssysteme bei der Ernte von Baldrianwurzeln hinsichtlich Massenverlusten, Inhaltsstoffgehalten und Reinigungsintensität unterscheiden. Für die Durchführung der Versuche wurde ein Kartoffelrodelader der Firma Grimme „Typ: DLS-1700, Bj. 1996“ mit den drei Reinigungssystemen ausgestattet. Sowohl unter trockenen als auch nassen Bedingungen, wurde bewiesen, dass die drei Systeme keinen Einfluss auf die Inhaltsstoffgehalte (Valerensäure und ätherischer Ölgehalt) haben. Das Reinigungssystem „Siebsterne“ wies mehrfach signifikant höhere Wurzelverluste auf als das System „Siebband“. Allerdings unterschieden sich die Reinigungssysteme nur geringfügig. Das Siebband verursachte durchschnittlich 0,6 %, die Rotation 1,2 % und der Siebsterne 1,6 % Verluste. Hinsichtlich der Reinigungsintensität war das Siebband den beiden anderen Systemen deutlich unterlegen. Das System „Siebsterne“ erzielte an allen Ernteterminen die beste Reinigungsleistung. Gegenüber dem System „Rotation“ wurden zwar keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Reinigungsintensität als auch der Wurzelverluste festgestellt, aber tendenziell war das System „Siebsterne“ bei der Reinigungsintensität dem System „Rotation“ überlegen, während das System „Rotation“ tendenziell weniger Verluste verursachte.

Für die weitere Entwicklung eines schonenden Erntesystems sind somit alle drei Systeme verwendbar. Eine Kombination, in der die vorteilhaften Eigenschaften der einzelnen Systeme genutzt werden, erscheint am sinnvollsten.

Das Siebband ist gegenüber dem Siebsterne der effektivere Höhenförderer. Durch Installation der Mechanik für die Rotation kann auch mit dem Siebband bzw. dann Rotation eine effektive Wurzelreinigung bei Bedarf zu- oder abgeschaltet werden.

Soll der Gutstrom umgelenkt werden, z.B. in eine Überladeeinheit, so ist der Siebsterm dem Siebband durch seine richtungsweisende Abgabe des Produktes überlegen.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Entwicklung einer Aufnahmevorrichtung, mit der Baldrian aus verschiedenen Anbauverfahren geerntet werden kann. Aufbauend auf dem Stand der Technik und den Ergebnissen der oben genannten Versuche wurde für den Arbeitsschritt „Entnahme“ anfänglich ein Rodesystem favorisiert, welches die Wurzeln aus dem Boden schneidet. Bei einem Vergleich von Blattscharen mit Rundscharen unterschieden sich diese hinsichtlich der Wurzelverluste nur unwesentlich. Nach Integration einer Einzugstrommel in die Aufnahmevorrichtung wurde damit im Versuch Baldrian aus verschiedenen Anbauverfahren erfolgreich geerntet. Es wurde gezeigt, dass mit der neuentwickelten Aufnahmevorrichtung auch teppichartige Wurzelverbände aufgelöst werden können. Die Aufnahmevorrichtung wurde bei der Weiterentwicklung mit rostartigen Meißelscharen ausgestattet. Das Trennverfahren der Siebklassierung kann somit schon bei der Entnahme der Wurzeln in voller Beetbreite Anwendung finden. Bei der abschließenden Synthese der Systeme, wurde die Aufnahmevorrichtung mit den geprüften Reinigungssystemen zu einem 1-phasigen Erntesystem zusammengeführt und hinsichtlich ihrer Wurzelverluste in der Erntekampagne 2013 und 2014 validiert. Bei der Validierung wurden mit der Erntemaschine bei verschiedenen Witterungsbedingungen und Bodenverhältnissen Baldrianwurzeln mit Gesamtwurzelverlusten von unter 10 % geerntet. Die Wurzelverlustermittlung wurde bei dem größten deutschen Baldriananbaubetrieb mit einer Fläche von jährlich 22 ha Arzneibaldrian durchgeführt. Angesichts der in den zurückliegenden Jahren auf unter 30 ha stark geschrumpften Anbauflächen in Deutschland, stellte diese Anbaufläche somit das einzig repräsentative deutsche Anbaugelände dar. Ein Großteil der deutschen Baldrianfläche wurde somit mit Hilfe der neuentwickelten Erntemaschine geerntet.

Literaturverzeichnis

AfrHP. 1985. African pharmacopoeia, 1st ed. Lagos: Scientific, Technical & Research Commission. 1985.

AmHP. 1999. American Herbal Pharmacopoeia. AHP. Santa Cruz. 1999.

Baganz, Klaus. 1960. Zur Frage des Sammelrodens von Kartoffeln bei hohem Beimengungsanteil. Grundlagen der Landtechnik. Heft 12. S. 25-31. 1960.

Bärtschi. 2012. Informationsmaterial FOBRO 2000 Beetroder. Abgerufen von www.fobro.com am 27. Feb. 2012.

Bauermann, Ulrike. 2013. Laborleiter Arznei- und Gewürzpflanzen der Firma IGV (Institut für Getreideverarbeitung GmbH). Mündliche Mitteilung vom 4. Feb. 2013.

Beke, Bela. 1981. The Process of Fine Grinding. Nijhoff-Verlag. Den Haag. 1981.

Benigni, R., Capra, C. und Cattorini, P.E. 1962. Piante Medicinali Chimica Farmacologia e Terapia. Vol. 1. Inverni & Della Beffa. Milano. 1962.

Berbec, S. 1965. Influence of soil humidity on the growth, yield and quality of the raw material of valerian. Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Vol. 20. P. 216-231. Lublin. 1965.

Berbec, S. 1968. Influence of spacing and hoeing on the quantity of the yield of valerian. Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Vol. 23. P. 323-338. Lublin. 1968.

Berbec, S. 1970. Some problems from the biology of seed germination of common valerian. Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Vol. 25. P. 143-152. Lublin. 1970.

Bernath, J. 1997. Cultivation of Valerian. In: Houghton P.J.: Valerian - The Genus Valeriana. Harwood academic publishers. P. 77-100. 1997.

BGA/BfArM. 1985. (Bundesgesundheitsamt/Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte). Monographie Valerianae radix (Baldrianwurzel). Bundesanzeiger Nr. 90 vom 15.5.1985 mit Berichtigung im Bundesanzeiger Nr. 50 vom 13.3.1990. 1985.

Bilitewski, Bernd, Härdtle, Georg und Marek, Klaus. 1994. Wast Management. Springer-Verlag. Berlin. 1994.

Bomme, Ulrich. 1984b. Einfluss von Anbau- und Erntetermin auf Ertrag und Inhaltsstoffgehalt von Valeriana officinalis L.. Österreichische Apotheker Zeitung 38. S. 42-43. 1984b.

- Bomme, Ulrich. 1979.** Kartoffel-Vollernter für Baldrian. In: Landwirtschaftliches Wochenblatt. Nr. 8. S. 26. 1979.
- Bomme, Ulrich. 2001.** Kulturanleitung für Baldrian. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising. 2001.
- Bomme, Ulrich. 1984a.** Praktiker gehen neue Wege mit dem Anbau und Vertrieb von Baldrian. *DLZ* 7. 1984a, S. 1096-1097.
- Bond, Fred Chester. 1952.** The Third Theory of Comminution. Transaction of the American Institute of Mining. Vol. 193. P. 484-494. 1952.
- Bos, R., et al. 1997.** Composition of the Essential Oils from Underground Parts of *Valeriana officinalis* L. s.l. and Several Closely Related Taxa. *Flavour and Fragrance Journal*. Vol. 12. P. 359-370. 1997.
- Bos, R., et al. 1986.** Isolation and identification of valerenane sesquiterpenoids from *Valeriana officinalis*. *Phytochemistry*. Vol. 25. P. 133-135. 1986.
- Bos, R., et al. 1998.** Seasonal variation of the essential oil, valerenic acid and derivatives, and valepotriates in *Valeriana officinalis* roots and rhizomes, and the selection of plants suitable for phytomedicines. *Planta Medica* Vol. 64 (2). P. 143-147. 1998.
- Bown, Deni. 2002.** New encyclopedia of herbs & their uses. Mohndruck GmbH. Gütersloh. S. 400. 2002.
- Bungert, Bernd. 2010.** Grundlagen der Zerkleinerung. Labor für Mechanische Zerkleinerung. Vorlesungsskript der Beuth Hochschule für Technik. Berlin. 2010.
- Cao, Xie. 2011.** *Valeriana officinalis*. In: *Flora of China*. Vol 19. P. 666-671. Abgerufen am 7.12.2015 von: <http://flora.huh.harvard.edu>. 2011.
- Chung, Brian. 2000.** Natural Plant Extracts. Rural Industries Research & Development Corporation. Kingston. 2000.
- Colijn, Hendrik. 1985.** Mechanical conveyors for bulk solids. *Studies in mechanical engineering*, Vol. 4. Amsterdam. Elsevier Science Publishers B.V. P. 22-25. 1985.
- Dachler, Michael und Pelzmann, Helmut. 1999.** Erntetechnik in Arznei- und Gewürzpflanzen: Anbau - Ernte - Aufbereitung. Österr. Agrarverlag. 1999.
- Delitz, M. 1989.** Bestimmung optimaler Betriebs- und Konstruktionsparameter schwingender Dammaufnahmeelemente für Kartoffelerntemaschinen. *Agrartechnik* 39. S. 415-418. Berlin. 1989.

- DIN 15201-1:1994-04.** Continuous mechanical handling equipment; Terminology. Berlin. Beuth Verlag.
- DIN 22101:2011-12.** Continuous conveyors; Belt conveyors for loose bulk materials, Basis for calculation and dimensioning. Berlin. Beuth Verlag.
- DIN 66160. 1992.** Messen disperser Systeme. 1992.
- DIN ISO 3435:1979-02.** Klassifizierung und Symbolisierung von Schüttgütern. Deutsches Institut für Normung e.V.. Beuth Verlag.
- Eisenhut, F. 1966.** Die Züchtung von *Valeriana officinalis* L. und der feldmäßige Anbau unter besonderer Berücksichtigung der Mechanisierung. In: *Herba Hungarica*. Jg. 5. S. 138-140. 1966.
- Falk, Constance, et al. 1999.** Costs and Returns of Growing Selected Medicinal Herbs in New Mexico Indicate Positive Return to Land and Risk Likely. *HortTechnology* 9 (4). S. 681-686. 1999.
- Farooqi, Azhar Ali und Sreeramu, B.S. 2001.** Cultivation of Medicinal and Aromatic Crops. Universities Press. Hyderabad. P. 259-263. 2001.
- FEM 2.582:1991-11.** Allgemeine Schüttguteigenschaften und ihre Darstellung in Kurzform. Fédération Européenne de la Manutention. Frankfurt: VDMA.
- Fernández, Sebastián, et al. 2004.** Sedative and sleep-enhancing properties of linarin, a flavonoid isolated from *Valeriana officinalis*. *Pharmacology and Biochemistry Behaviour*. P. 399-404. 2004.
- Geilsdorf, Volkmar. 2010.** Technischer Leiter der Agrarprodukte Ludwigshof e.G. in Ranis. Mündliche Mitteilung vom 21. Okt. 2010.
- Goppel, M. und Franz, G. 2004.** Stability control of valerian ground material and extracts: a new HPLC-method for the routine quantification of valerenic acids and lignans. *Pharmazie*. S. 446-452. 2004.
- Gränicher, François, Christen, Philippe und Kapetanidis, Ilias. 1995.** Essential oils from normal and hairy roots of *Valeriana officinalis* var. *sambucifolia*. *Phytochemistry*. P. 1421-1424. 1995.
- Grimme. 2013.** Firmenprospekt "Die Reihenleger GVR und RL 1700". Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG. Damme. 2013.
- Günthner, Willibald. 2011.** Skript zum Modul Schüttgutförderung. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik. Technische Universität München. 2011.

- Hager, M und Krause, F. 2004.** Stetigförderer. Taschenbuch für den Maschinenbau. 21. Auflage. Springer-Verlag. Berlin. 2004.
- Hazelhoff, B., et al. 1979.** The essential oil of *Valeriana officinalis* L.. Pharmaceutisch Weekblad Scientific Edition. 1979.
- Heindl, A. und Hoppe, B. 2010.** Aufbereitung vor der Trocknung. In: Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus. Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen SALUPLANTA e.V. Band 2. S. 235-239. Bernburg. 2010.
- Hellebrand, H.J., et al. 1998.** Bodenphysikalische Aspekte der Reinigung von Wurzelgemüse. Institut für Agrartechnik Bornim e.V. Potsdam. 1998.
- Hennings, Christian. 2010.** Heil- und Gewürzkräuteranbauer aus Schwebheim. Mündliche Mitteilung vom 20. Okt. 2010.
- Heuberger, Heidi, et al. 2012.** Baldrian. In: Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus. Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen SALUPLANTA e.V. Band 4. S. 164-183. Bernburg. 2012.
- Hobbs, Christopher. 1994.** Valerian: The Relaxing an Sleep Herb. Botanica Press. 1994.
- Hodge, Claire. 2013.** Minimising damage. Agriculture and Horticulture Development Board. Warwickshire. 2013.
- Hoffmann, Klaus, Krenn, Erhard und Stanker, Gerhard. 2004.** Fördertechnik 2. Maschinensätze, Fördermittel, Tragkonstruktionen, Logistik. 5. Auflage. Oldenbourg Verlag. München. 2004.
- Hoffmann, Klaus, Krenn, Erhard und Stanker, Gerhard. 2005.** Fördertechnik. Bauelemente, Konstruktion und Berechnung. S. 9-14. Oldenbourg Verlag. Wien. 2005.
- Hoffmann, Norbert, Flügel, Friedhelm und Schönert, Klaus. 1976.** Chemie-Ingenieur-Technik. 48. Jahrg. Nr. 4. S. 329. Verlag-Chemie-GmbH. Weinheim. 1976.
- Hölzl, J. 1998.** Baldrianwurzel - Wirksames Pharmakon bei Nervosität und Schlafstörungen. S. 47-54. Phytotherapie. 1998.
- Hoppe, Bernd. 2005.** Studie zum Stand des Anbaus von Arznei- und Gewürzpflanzen in Deutschland (2003) und Abschätzung der Entwicklungstrends in den Folgejahren. Abschlussbericht FKZ 22006604. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow. 2005.

- Karwowski, Tadeusz. 1974.** Hackfruchterntemaschinen. VEB-Verlag Technik, Berlin. 1974.
- Kellerwessel, Hans. 1991.** Aufbereitung disperser Feststoffe. Mineralische Rohstoffe, Sekundärrohstoffe, Abfälle. VDI-Verlag. Düsseldorf. 1991.
- Kick, Friedrich. 1885.** Das Gesetz der proportionalen Widerstände und seine Anwendung. Verlag von Arthur Felix. Leipzig. 1885.
- Kleitz, Kathryn, et al. 2003.** Yield Potential of Selected Medicinal Herbs Grown at Three Plant Spacings in New Mexico. HortTechnology 13 (4). S. 631-636. 2003.
- Kromer, Karl-Hans, et al. 1997.** Maßnahmen zur Verringerung des Erdanteils bei der Zuckerrübenproduktion. Anbau-, Ernte- und Nacherntetechnologie von Zuckerrüben. Tagungsband des VDI-MEG Kolloquiums Agrartechnik. Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. 1997.
- KTBL. 2002.** (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.) (2002): Heil- und Gewürzpflanzen. 1. Auflage mit CD-ROM. S. 22-25. Darmstadt. 2002.
- Kutschera, Lore und Lichtenegger, Erwin. 1992.** Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen. Band 2. Gustav Fischer Verlag Stuttgart. S. 532. 1992.
- Kwade, A. und Schwedes, J. 2011.** Mechanische Verfahrenstechnik. Taschenbuch für den Maschinenbau. 23. Auflage. Springer-Verlag. Berlin. 2011.
- Labowsky, Hans Joachim. 1983.** Maschinen und Geräte für die Ernte. Gemüse 8. S. 295-299. 1983.
- Löffler, Friedrich und Raasch, Jürgen. 1992.** Grundlagen der Mechanischen Verfahrenstechnik. Vieweg-Verlag. Karlsruhe. 1992.
- Lowrison, George Charles. 1974.** Crushing and Grinding. Butterworth-Verlag. London. 1974.
- Marder, Mariel, et al. 2003.** 6-Methylapigenin and hesperidin: new Valeriana flavonoids with activity on the CNS. Pharmacology and Biochemistry Behaviour. P. 537-545. 2003.
- Martin, R.J. und Deo, B. 1997.** Agronomic influences on the yield of Echinacea and Valerian in Canterbury. Proceedings Agronomy Society of N.Z. 27. S. 73-77. 1997.

- Mheen, Hans J. van der. 1996.** Teeltonderzoek wortelgewaskruiden Angelica, Levisticum en Valeriaan 1987 - 1993. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond. Lelystad. 1996.
- Mheen, Hans J. van der. 1997.** Teelt van kruidenwortelgewassen Angelica, Levisticum en Valeriana. Drukkerij Cabri BV. Lelystad. 1997.
- Mielke, Horst und Schöber-Butin, Bärbel. 2007.** Heil- und Gewürzpflanzen - Anbau und Verwendung. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Nr. 411. 2007.
- Milne, Fraser. 2005.** Harvester settings for reducing bruising and damage. British Potato Council. Oxford. 2005.
- Neuhauser, Horst, et al. 2003.** Sicherung des Anbaues der bayerischen Spezialkultur Meerrettich. Abschlussbericht zum Förderprojekt A2-7209-549 des Bayer. Staatsministerium f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Landtechnischer Verein in Bayern e.V., Freising. 2003.
- Newall, Carol A., Anderson, Linda A. und Phillipson, David J. 1996.** Herbal Medicines: A Guide for Health-Care Professionals. The Pharmaceutical Press. London. 1996.
- Noller, P. und Vömel, A. 1989.** Breeding experiments as indications for the variance components of some cyclopentan-sesquiterpenes of Valeriana officinalis L..Eucarpia Congress. 1989.
- Oebel, H. 1989.** Verfahrenstechnik von Heil und Gewürzpflanzen. Institut für Landtechnik. Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn. Bonn. S. 80. 1989.
- Pahl, Manfred. 1991.** Zerkleinerungstechnik. Verlag-TÜV-Rheinland. Köln. 1991.
- Penzkofer, Michael und Heuberger, Heidi. 2014.** Konsequenzen aus der Verteilung relevanter Inhaltsstoffe in Baldrianwurzeln. 24. Bernburger Winterseminar für Arznei- und Gwürzpflanzen. 2014.
- Perrot, E. 1906.** Valérianées. In: Les plantes médicinales. P. 148. Vigot Frères, Editeurs. Paris. 1906.
- Peters, Rolf. 1982.** Technik im Kartoffelbau. KTBL-Schrift 276, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt. 1982.
- Pfeifer, Heinz, Kabisch, Gerald und Lautner, Hans. 1995.** Fördertechnik. Konstruktion und Berechnung. 6. Auflage. Friedrich Vieweg & Sohn. Wiesbaden. 1995.

- Ph.Eur. 2011.** (Europäisches Arzneibuch) (Hrsg.) (2011): Monographie valerianae radix (Baldrianwurzel). 6. Ausgabe. Deutscher Apotheker Verlag, Stuttgart. 2011.
- Pickering, Charles. 1879.** Chronological History of Plants. P. 518. Little, Brown, & Company. Boston. 1879.
- Prasher, Charles Lindsay. 1987.** Crushing and Grinding. Process Handbook. John Wiley & Sons-Verlag. Chichester. 1987.
- Pullela, SV., et al. 2005.** New acylated clinasterol glycosides from *Valeriana officinalis*. *Planta Medica*. P. 960-961. 2005.
- R. 2011.** The R Foundation for Statistical Computing, Ver. 2.14.0, ISBN 3-900051-07-0. 2011.
- Rakitsch, Stefan. 2012.** Dissertation. Dimensionierung und Auslegung stark geneigter Schneckenförderer. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik. Technische Universität München. 2012.
- Rangahau, Mana Kai. 2001.** Valerian, *Crop & Food Research*, Number 34 March. 2001.
- Rittinger, Peter. 1867.** Lehrbuch der Aufbereitungskunde. Verlag von Ernst & Korn. Berlin. 1867.
- Rödel, Gerhard. 2012.** Konstruktionsleiter im Institut für Landtechnik und Tierhaltung an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Freising. Mündliche Mitteilung vom 24. Jan. 2013 und vom 17. Jan. 2012.
- Ropa. 2008.** Betriebsanleitung euro-Tiger V8-3 XL. ROPA Fahrzeug- und Maschinenbau GmbH. Herrngiersdorf. 2008.
- Rumpf, Hans. 1965.** *Chemie-Ing.-Techn.* 37. S. 187-202. 1965.
- Santos, MS., et al. 1994.** The amount of GABA present in aqueous extracts of valerian is sufficient to account for (³H)GABA release in synaptosomes. *Planta Medica*. P. 475-476. 1994.
- Scheffler, Martin. und Kurth, F. 1987.** Grundlagen der Fördertechnik. 7. Auflage. VEB-Verlag-Technik. Berlin. 1987.
- Schimmel, Ulrich. 2011.** Heil- und Gewürzkräuteranbauer aus Eschollbrücken. Mündliche Mitteilung vom 15. Nov. 2011.
- Schmidt, Paul. 1984.** Siebklassieren. *Chemie-Ingenieur-Technik* 56 Nr. 12, S. 897-907. Verlag Chemie GmbH, Weinheim. 1984.

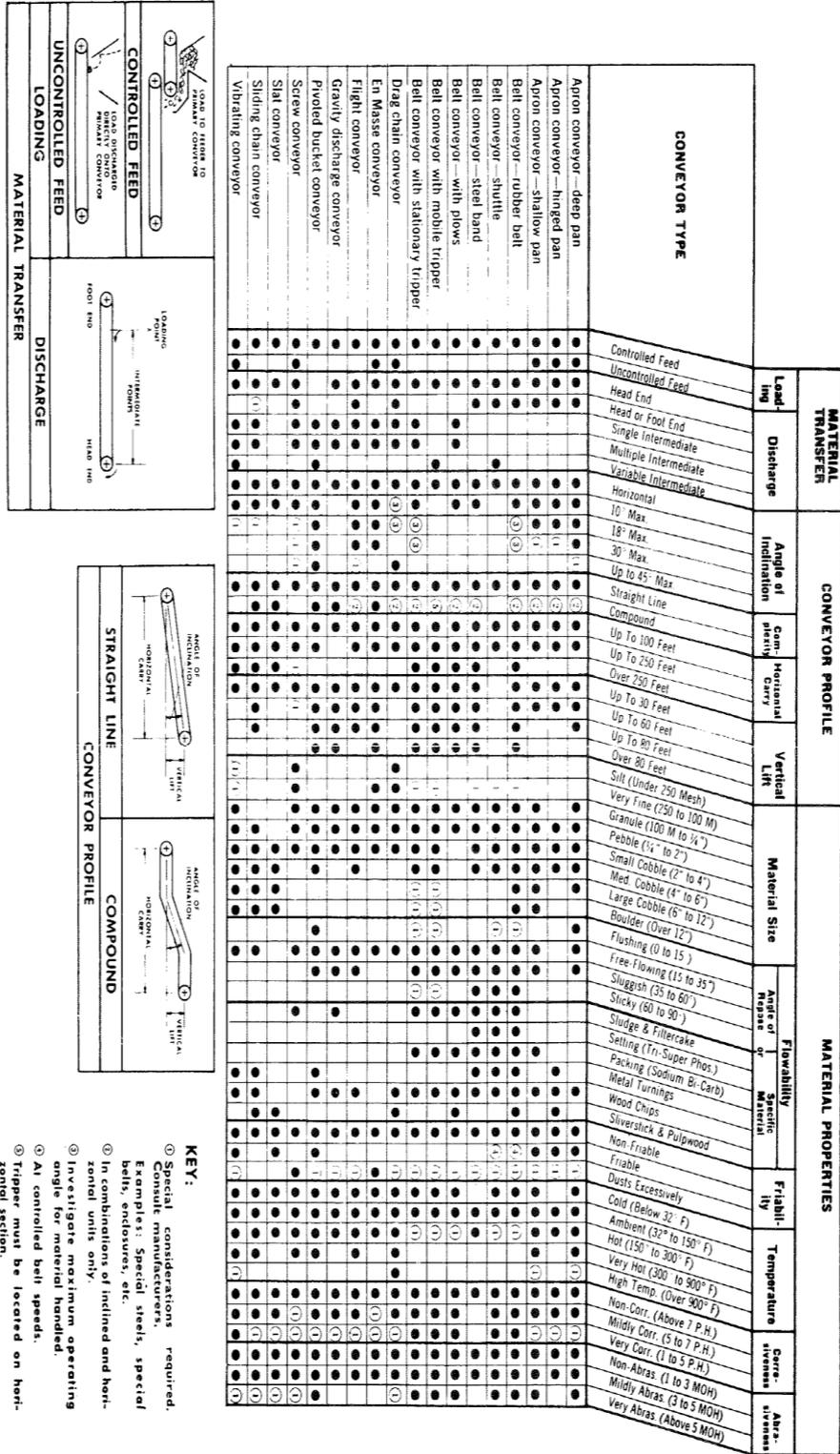
- Schmitz, N, et al. 2006.** Pharma und Kosmetik. Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. S. 353 ff. Gülzow. 2006.
- Schubert, Heinrich. 1968.** Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Band 1. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. 1968.
- Schubert, Heinrich. 1978.** Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Band 2. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig. 1978.
- Schubert, Heinrich, et al. 1990.** Mechanische Verfahrenstechnik. 3. Auflage. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig. 1990.
- Schwister, Karl. 2007.** Taschenbuch der Verfahrenstechnik. Hanser-Verlag. Leipzig. 2007.
- Spenger, Walter. 2012.** Anbauberater für Heil- und Gewürzpflanzen aus Otzing. Mündliche Mitteilung vom 19. Okt. 2012.
- Struck, D., Tegmeier, M. und Harnischfeger, G. 1996.** Methods for the quantitative assay of *Valerianae officinalis radix*. 44th Annual Congress on Medicinal Plant Research. Prague. 1996.
- Taggart, Arthur F. 1964.** Handbook of mineral dressing. Wiley-Verlag. New York. 1964.
- Tomas, Jürgen. 2012.** Particle Technology Particle Separation/Screening. Vorlesungsskript. Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik. Universität Magdeburg. 2012.
- Ulrich, Hansjürgen. 1967.** Mechanische Verfahrenstechnik. Springer-Verlag. Berlin. 1967.
- VDI 2322. 2014.** Richtlinie zur Auslegung und Errichtung von Gurtförderern für Schüttgut. Beuth. 2014.
- Vömel, A., Hölzl, J. und Fückel, I. 1984.** Ontogenese von *Valeriana officinalis* L. und *V. alliariifolia* VAHL. Österreichische Apotheker-Zeitung. 38. Jg. Folge 3. S. 43-44. 1984.
- Wagner, G., et al. 2011.** Fördertechnik in Taschenbuch für den Maschinenbau. 23. Auflage. Springer-Verlag. Berlin. 2011.
- Weiss, Rudolf Fritz. 1986.** Herbal Medicine. The Bath Press. Bath. 1986.
- WHO. 1999.** Radix Valerianae. In: WHO monographs on selected medicinal plants. Vol. 1. P. 267-276. World Health Organization. Geneva. 1999.

Winter. 2012. Heil- und Gewürzpflanzenanbauer aus Magstadt. Mündliche Mitteilung vom 5. März. 2012.

Zimmer, Stefan und Müller, Joachim. 2004. Erntetechnologie von Arznei- und Gewürzpflanzen. Gülzower Fachgespräche: Band 22. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. S. 55. Gülzow. 2004.

Anhang

Elevator Selection Guide (Colijn, 1985)



CONVEYOR SELECTION GUIDE.
FIGURE 1.3

Datenblatt zum Versuch „Ernte von Baldrian mit einem Rübenvollernter“

Parzelle	Wiederholung	Variante	geernteter Wurzeleertrag [kg/ha]	Wurzelverluste [kg/ha]
A	1	Rübenroder	973	13425
B	1	Rüttelscharroder	9169	381
C	2	Rübenroder	2518	3442
D	2	Rüttelscharroder	6137	281
E	3	Rübenroder	1188	4808
F	3	Rüttelscharroder	6192	170

Datenblätter zum Versuch „Krautstabilität“

Reißkraft [kg/Pflanze]
Erntetermin: 7. Okt. 2010
82,6
72,3
15,5
15,8
14,9
63,5
23
38,7
12,8
15,9
9,5
31,1
41,8
29,6
86,5
43
25,7
37,8
53,6
59,4
43,3
34,5
50,1
44,6
74,3
64,5
25,3
23,9
27,7
25,5
12,3
42,2
31,5
3,8
37
13,2
17,3
16
19,6
26,3

Reißkraft [kg/Pflanze]
Erntetermin: 28. Okt. 2010
53,4
10
31,5
18,6
11,3
26,9
14
6,5
9
31,2
34,9
23,4
15,9
35,2
22,6
38,2
13,2
22,3
13,2
20,8
23,1
26,9
7,1
9,4
7
12,7
10,6
5,6
25
10
12,6
2,5
7
7
7,2
5,2
8,6
12,8
25,2
13,8

Reißkraft [kg/Pflanze]
Erntetermin: 24. Nov. 2010
10,5
15,4
2,2
13,1
6,6
9,4
13,1
12
10,3
16,8
5,7
14,9
20,2
11,8
13,8
16,8
16,1
10
11,4
38,9
9,5
6,3
6
5,6
10,7
26,3
6
4,3
14,6
12,6
3,3
5,3
5,1
6,7
13,5
2,9
8,4
7,2
4,6
9,6

Datenblätter zum Versuch „Feldnachtrocknung“

Wurzelgewicht ohne Abtrocknung [g/Wurzelstock]	
vor dem Ausschütteln	nach dem Ausschütteln
3050	1500
820	610
1920	1050
2200	1420
2840	1100
2660	1470
1150	830
400	240
1830	700
1670	820
2700	1400
180	120
290	80
230	190
2770	1310
820	530
2970	1220
3000	1050
1530	1250
1000	630

Wurzelgewicht mit Abtrocknung [g/Wurzelstock]	
vor dem Ausschütteln	nach dem Ausschütteln
1060	780
1040	600
1240	670
1180	840
2070	1300
770	580
380	290
2570	1430
420	380
1400	800
2280	840
2840	1180
1000	690
1160	700
720	350
700	400
2420	1320
100	70
730	450
1740	870

Datenblatt zur Bestimmung qualitativer und quantitativer Merkmale

Ernte-termin	Variante	Wiederholung	Ätherischer Ölgehalt [ml/100gTS]	Valerensäure [%]	FM_Ertrag [t/ha]	Absieberde [t/ha]	Erdanhang [t/ha]	Wurzelertrag [kg/ha]	systembedingte Verluste [kg/ha]	Vorreinigungsverluste [kg/ha]	Wurzelanzahl [Stück/Parzelle]
Ernte 1	Siebband	1	0,78	0,38	11,37	41,72	27,28	2484,0	17,7		nicht erfasst
Ernte 1	Siebband	2	0,80	0,43	9,69	46,37	33,22	1960,3	11,8		
Ernte 1	Siebband	3	0,71	0,31	11,61	50,51	41,42	2186,6	21,1	59,0	
Ernte 1	Siebband	4	0,68	0,47	14,27	48,44	46,07	3279,6	22,4		
Ernte 1	Siebband	5	0,86	0,35	11,88	49,59	48,69	2534,6	14,5		
Ernte 1	Rotation	1	0,75	0,36	14,20	60,82	28,63	3011,7	36,1		
Ernte 1	Rotation	2	0,79	0,36	15,63	54,99	24,68	3318,9	21,9	49,9	
Ernte 1	Rotation	3	0,79	0,39	10,07	45,79	18,30	2031,4	23,2		
Ernte 1	Rotation	4	0,76	0,36	17,85	80,65	37,61	4214,7	48,6		
Ernte 1	Rotation	5	0,86	0,40	10,84	57,24	22,86	2291,8	27,8	73,7	
Ernte 1	Siebsterne	1	0,90	0,38	9,51	58,23	17,60	1940,3	39,2	88,7	
Ernte 1	Siebsterne	2	0,81	0,36	12,93	71,85	20,41	2855,3	28,6		
Ernte 1	Siebsterne	3	0,80	0,45	11,04	66,53	17,89	2337,0	42,9		
Ernte 1	Siebsterne	4	0,77	0,36	10,82	70,27	18,74	1197,5	35,9	40,3	
Ernte 1	Siebsterne	5	0,90	0,42	9,18	45,27	18,17	1716,9	22,7		
Ernte 1	Siebband	1	0,63	0,33	16,65	73,69	60,80	3307,8	23,2		
Ernte 1	Siebband	2	0,72	0,29	20,45	97,08	81,22	4149,6	21,5		
Ernte 1	Siebband	3	0,62	0,34	16,70	85,89	68,04	3182,5	18,9	57,0	
Ernte 2	Siebband	4	0,74	0,34	17,49	87,97	58,78	3633,1	14,8		37
Ernte 2	Siebband	5	0,75	0,44	14,90	51,21	71,55	2910,2	12,8		42
Ernte 2	Rotation	1	0,72	0,36	10,61	83,93	27,81	1852,3	33,1		28
Ernte 2	Rotation	2	0,80	0,39	17,81	108,49	43,67	3546,2	31,4	93,0	39
Ernte 2	Rotation	3	0,60	0,34	17,37	112,14	39,29	3242,5	41,9		38
Ernte 2	Rotation	4	0,71	0,35	20,76	137,83	47,92	4388,6	38,1		47
Ernte 2	Rotation	5	0,70	0,33	13,96	70,84	32,71	2596,8	35,2	107,5	34
Ernte 2	Siebsterne	1	0,79	0,39	10,55	73,08	21,13	1993,6	33,4	130,5	31
Ernte 2	Siebsterne	2	0,77	0,41	15,78	110,67	36,67	2937,7	32,1		39
Ernte 2	Siebsterne	3	0,71	0,41	18,77	123,51	42,73	3637,8	36,1		39
Ernte 2	Siebsterne	4	0,78	0,39	18,54	139,01	48,36	3584,9	35,6	64,7	45
Ernte 2	Siebsterne	5	0,79	0,32	10,63	80,19	30,18	1959,7	35,9		32
Ernte 3	Siebband	1	0,67	0,36	19,28	129,43	124,05	4058,4	48,0		43
Ernte 3	Siebband	2	0,68	0,27	21,84	111,54	118,28	5423,9	32,7		39
Ernte 3	Siebband	3	0,68	0,30	22,57	147,03	164,82	4784,8	38,5	42,8	40
Ernte 3	Siebband	4	0,64	0,23	22,93	175,62	168,79	4965,6	53,3		53
Ernte 3	Siebband	5	0,67	0,33	17,19	105,64	126,93	3302,4	34,5		37
Ernte 3	Rotation	1	0,80	0,32	15,41	108,44	47,20	3305,0	43,4		40
Ernte 3	Rotation	2	0,70	0,26	26,73	161,58	108,38	6401,9	61,9	68,4	47
Ernte 3	Rotation	3	0,71	0,33	20,90	171,11	77,47	4149,5	74,8		44
Ernte 3	Rotation	4	0,70	0,29	28,02	214,28	139,52	6032,0	118,6		56
Ernte 3	Rotation	5	0,80	0,33	10,34	145,71	43,96	1857,7	79,7	66,7	32
Ernte 3	Siebsterne	1	0,71	0,28	13,53	112,32	38,56	2838,9	113,1	66,3	37
Ernte 3	Siebsterne	2	0,67	0,27	22,56	213,91	84,43	5027,8	93,5		44
Ernte 3	Siebsterne	3	0,74	0,34	26,79	262,44	116,59	5880,5	118,3		47
Ernte 3	Siebsterne	4	0,76	0,36	25,10	217,35	99,12	5331,2	100,0	52,6	48
Ernte 3	Siebsterne	5	0,84	0,43	9,41	103,94	34,01	1775,8	71,0		37
Ernte 4	Siebband	1	0,74	0,29	24,41	126,88	187,56	5118,9	8,7	42,6	44
Ernte 4	Rotation	1	0,65	0,29	18,45	126,06	111,20	4011,9	28,1	41,6	39
Ernte 4	Siebsterne	1	0,70	0,30	13,49	82,62	46,86	2854,8	24,4	70,1	31

Datenblatt zur Bestimmung des gravimetrischen Bodenwassergehalts zur Ernte 1

Erntetermin	Wiederholung	Parzellen-Nr.	Masse der feuchten Probe incl. Behälter [g]	Masse der getrockneten Probe incl. Behälter [g]	Masse des Behälters [g]
Ernte 1	1	11	184,4	170,88	19,47
Ernte 1	2	11	161,03	153,84	19,46
Ernte 1	3	11	150,94	145,19	19,47
Ernte 1	1	21	190,65	179,6	19,42
Ernte 1	2	21	144,95	134,97	19,4
Ernte 1	3	21	137,57	131,98	19,42
Ernte 1	1	31	163,82	156,09	19,41
Ernte 1	2	31	149,78	142,03	19,41
Ernte 1	3	31	162,85	153,68	19,42
Ernte 1	1	22	145,39	139,31	19,4
Ernte 1	2	22	174,7	165,13	19,39
Ernte 1	3	22	159,62	150,1	19,39
Ernte 1	1	32	158,78	151,09	19,42
Ernte 1	2	32	160,08	152,33	19,4
Ernte 1	3	32	171,5	161,3	19,4
Ernte 1	1	12	145,61	139,2	19,4
Ernte 1	2	12	170,11	160,43	19,42
Ernte 1	3	12	174,6	164,94	19,42
Ernte 1	1	23	207,21	193,75	19,42
Ernte 1	2	23	176,51	164,5	19,41
Ernte 1	3	23	180,67	169,88	19,39
Ernte 1	1	13	197,08	181,61	19,38
Ernte 1	2	13	168,77	157,86	19,35
Ernte 1	3	13	177,34	165,2	19,38
Ernte 1	1	33	167,3	159,3	19,38
Ernte 1	2	33	153,66	147,62	19,4
Ernte 1	3	33	165,25	156,13	19,39
Ernte 1	1	34	191,88	181,77	19,38
Ernte 1	2	34	194,1	182,78	19,39
Ernte 1	3	34	167,03	154,12	19,38
Ernte 1	1	24	152,22	142,07	19,38
Ernte 1	2	24	116,05	109,22	19,39
Ernte 1	3	24	163,03	155,56	19,41
Ernte 1	1	14	184,67	172,07	19,37
Ernte 1	2	14	146,85	140,33	19,38
Ernte 1	3	14	175,85	166,62	19,39
Ernte 1	1	35	165,61	153,94	19,47
Ernte 1	2	35	161,11	151,28	19,46
Ernte 1	3	35	182,49	168,66	19,55
Ernte 1	1	15	148,95	141,68	19,52
Ernte 1	2	15	129,35	123,34	19,35
Ernte 1	3	15	150,75	140,51	19,39
Ernte 1	1	25	148,48	139,44	19,45
Ernte 1	2	25	150,67	143,61	19,41
Ernte 1	3	25	150,01	141,19	19,45

Datenblatt zur Bestimmung des gravimetrischen Bodenwassergehalts zur Ernte 2

Erntetermin	Wiederholung	Parzellen-Nr.	Masse der feuchten Probe incl. Behälter [g]	Masse der getrockneten Probe incl. Behälter [g]	Masse des Behälters [g]
Ernte 2	1	11	165,5	157,62	19,42
Ernte 2	2	11	171,68	161,6	19,44
Ernte 2	3	11	156,53	147,46	19,44
Ernte 2	1	21	175,72	158,53	19,39
Ernte 2	2	21	181,71	171,33	19,39
Ernte 2	3	21	173,1	162,65	19,41
Ernte 2	1	31	170,13	158,56	19,42
Ernte 2	2	31	175,12	166,27	19,42
Ernte 2	3	31	178,1	167,1	19,41
Ernte 2	1	22	182,56	168,47	19,41
Ernte 2	2	22	173,73	164,39	19,43
Ernte 2	3	22	175,81	164,54	19,4
Ernte 2	1	32	193,77	181,75	19,4
Ernte 2	2	32	190,03	175,3	19,41
Ernte 2	3	32	147,32	140,09	19,4
Ernte 2	1	12	149,93	143,12	19,41
Ernte 2	2	12	153,75	146,51	19,42
Ernte 2	3	12	172,06	160,5	19,4
Ernte 2	1	23	205,4	190,2	19,48
Ernte 2	2	23	155,18	145,83	19,49
Ernte 2	3	23	182,11	169,18	19,49
Ernte 2	1	13	154,72	145,92	19,42
Ernte 2	2	13	190,7	175,49	19,42
Ernte 2	3	13	120,46	113,52	19,43
Ernte 2	1	33	155,48	147,43	19,43
Ernte 2	2	33	172,65	163,37	19,45
Ernte 2	3	33	216,21	200,64	19,42
Ernte 2	1	34	154,13	145,06	19,43
Ernte 2	2	34	148,41	138,36	19,42
Ernte 2	3	34	155,7	147,67	19,43
Ernte 2	1	24	180,84	168,45	19,4
Ernte 2	2	24	148,95	141,52	19,42
Ernte 2	3	24	183,84	169,91	19,42
Ernte 2	1	14	173,4	161,15	19,53
Ernte 2	2	14	154,66	146,42	19,4
Ernte 2	3	14	173,24	162,69	19,41
Ernte 2	1	35	161,67	147,06	19,41
Ernte 2	2	35	174,33	157,76	19,41
Ernte 2	3	35	153,84	143,44	19,41
Ernte 2	1	15	166,78	153,98	19,46
Ernte 2	2	15	173,97	160,11	19,45
Ernte 2	3	15	152,92	141,61	19,46
Ernte 2	1	25	166,14	156,45	19,3
Ernte 2	2	25	168,58	156,82	19,56
Ernte 2	3	25	149,81	140,4	19,52

Datenblatt zur Bestimmung des gravimetrischen Bodenwassergehalts zur Ernte 3

Erntetermin	Wiederholung	Parzellen-Nr.	Masse der feuchten Probe incl. Behälter [g]	Masse der getrockneten Probe incl. Behälter [g]	Masse des Behälters [g]
Ernte 3	1	11	162,07	153,33	19,45
Ernte 3	2	11	164,09	156,18	19,46
Ernte 3	3	11	152,18	143,29	19,46
Ernte 3	1	21	142,5	137,08	19,46
Ernte 3	2	21	152,77	144,33	19,46
Ernte 3	3	21	169,92	159,84	19,44
Ernte 3	1	31	155,96	148,71	19,47
Ernte 3	2	31	179,39	170,19	19,46
Ernte 3	3	31	165,73	155,26	19,44
Ernte 3	1	22	153,6	145,25	19,47
Ernte 3	2	22	163,46	154,45	19,46
Ernte 3	3	22	160,64	150,72	19,48
Ernte 3	1	32	142,58	134,51	19,46
Ernte 3	2	32	138,69	129,9	19,4
Ernte 3	3	32	140,17	132,26	19,52
Ernte 3	1	12	148,96	140,89	19,47
Ernte 3	2	12	136,01	128,48	19,47
Ernte 3	3	12	139,14	131,11	19,51
Ernte 3	1	23	161,37	152,8	19,39
Ernte 3	2	23	132,02	123,39	19,36
Ernte 3	3	23	146,53	139,53	19,41
Ernte 3	1	13	137,05	129,53	19,43
Ernte 3	2	13	135,85	126,93	19,38
Ernte 3	3	13	131,34	124,34	19,45
Ernte 3	1	33	116,87	110	19,48
Ernte 3	2	33	118	110,57	19,45
Ernte 3	3	33	130,09	122,67	19,46
Ernte 3	1	34	166,04	151,99	19,46
Ernte 3	2	34	135,54	129,32	19,49
Ernte 3	3	34	146,61	135,18	19,45
Ernte 3	1	24	133,97	124,99	19,45
Ernte 3	2	24	140,86	133,04	19,46
Ernte 3	3	24	153,39	142,78	19,43
Ernte 3	1	14	123,15	116,41	19,46
Ernte 3	2	14	142,06	133,32	19,46
Ernte 3	3	14	128,32	121,68	19,43
Ernte 3	1	35	131,05	124,46	19,37
Ernte 3	2	35	140,74	132,11	19,39
Ernte 3	3	35	137,98	129,9	19,4
Ernte 3	1	15	151,55	142,57	19,39
Ernte 3	2	15	144,98	133,92	19,36
Ernte 3	3	15	150,24	141,23	19,38
Ernte 3	1	25	133,85	126,59	19,43
Ernte 3	2	25	125,39	116,51	19,41
Ernte 3	3	25	130,64	122,34	19,38

Datenblatt zur Bestimmung des gravimetrischen Bodenwassergehalts zur Ernte 4

Erntetermin	Wiederholung	Parzellen-Nr.	Masse der feuchten Probe incl. Behälter [g]	Masse der getrockneten Probe incl. Behälter [g]	Masse des Behälters [g]
Ernte 4	1	11	184,46	173,32	19,47
Ernte 4	2	11	200,82	187,25	19,46
Ernte 4	3	11	174,48	158,65	19,43
Ernte 4	1	21	193,2	178,86	19,44
Ernte 4	2	21	159,09	148,51	19,45
Ernte 4	3	21	184,75	166,06	19,45
Ernte 4	1	31	158,37	150,13	19,45
Ernte 4	2	31	173,81	159,46	19,44
Ernte 4	3	31	183,9	166,75	19,45

Datenblatt zur Bestimmung des Wassergehalts der abgesiebten Erde unmittelbar nach dem Roden zur Ernte 4

Wiederholung	Parzellen-Nr.	Masse der feuchten Probe incl. Behälter [g]	Masse der getrockneten Probe incl. Behälter [g]	Masse des Behälters [g]
1	11	169,14	159,23	19,46
2	11	159,2	148,48	19,42
3	11	176,04	165,33	19,43
1	21	184,17	169,98	19,41
2	21	156,73	145,58	19,38
3	21	177,6	163,64	19,43
1	31	147,2	135,88	19,38
2	31	161,91	150,29	19,35
3	31	183,24	170,86	19,4

Datenblatt zur Bestimmung des Wassergehalts nach dem Vortrocknen der abgesiebten Erde zur Ernte 4

Wiederholung	Parzellen-Nr.	Masse der feuchten Probe incl. Behälter [g]	Masse der getrockneten Probe incl. Behälter [g]	Masse des Behälters [g]
1	11	170,31	167,43	19,48
2	11	168,06	165,67	19,49
3	11	191,58	188,8	19,45
1	21	193,95	191,39	19,45
2	21	162,94	160,89	19,45
3	21	201,29	198,73	19,45
1	31	196,75	194,02	19,45
2	31	170,15	167,91	19,46
3	31	206,15	203,47	19,48

Datenblatt zur Bestimmung der Wurzelverluste bei unterschiedlichen Schartypen

Wiederholung	Wurzertrag je Parzelle [g]	Verluste der Blattschar [g]	Verluste der Rundschar [g]
1	132,45	6,54	1,47
2	115,52	0,87	2,01
3	235,81	5,36	0,91
4	134,96	1,58	6,04
5	90,73	4,3	1,78

Datenblatt zur Testung der Aufnahmevorrichtung in verschiedenen Anbauverfahren

Parzellen-Nr.	Versuchsvariante (Frühjahr oder Herbst, Pflanzung oder Saat, Damm oder Ebenerdig)	Wieder- holung	Ätherischer Ölgehalt [ml/100gTS]	Valerensäure [%]	Hafterde [t/ha]	Wurzeletrag [kg/ha]
1	FPD	3	0,80	0,41	89,65	6480
2	FPD	2	0,75	0,29	72,35	6750
3	FPD	1	0,77	0,38	44,14	4103
4	HSD	1	0,85	0,44	88,74	5721
5	HSD	2	1,03	0,44	106,71	7651
6	HSD	3	0,88	0,46	106,48	8018
7	FSD	3	0,84	0,37	22,75	2115
8	FSD	2	0,80	0,38	16,15	1360
9	FSD	1	0,92	0,40	2,28	280
10	HSE	1	0,76	0,40	99,20	6461
11	HSE	2	0,68	0,41	151,76	8266
12	HSE	3	0,86	0,50	165,42	9975
13	FPE	3	0,50	0,35	111,49	7141
14	FPE	2	0,59	0,38	94,43	6243
15	FPE	1	0,65	0,36	65,07	4250
16	FSE	1	0,61	0,31	12,06	856
17	FSE	2	0,65	0,36	31,63	2223
18	FSE	3	0,64	0,40	34,58	2467

Datenblatt zur Validierung der Gesamtwurzelverluste

Wiederholung	Jahr	Wurzelverluste je Bohrstock [g]
1	2013	0,88
2	2013	2,03
3	2013	2,33
4	2013	2,8
5	2013	0,4
6	2013	0,61
7	2013	0,52
8	2013	1,22
1	2014	1,92
2	2014	1,84
3	2014	1,93
4	2014	0,66
5	2014	1,35
6	2014	2,3
7	2014	0,68
8	2014	1,48
9	2014	0,73
10	2014	0,85

Lebenslauf

Persönliche Daten

Georg Neumaier Eittinger Straße 10 b 85462 Gaden	Geburtsdatum: 24.10.1974 in Altenerding Familienstand: verheiratet, zwei Kinder Nationalität: Deutsch
--	---

Schulischer und beruflicher Werdegang

09/1986 – 07/1995	Chiemgau Gymnasium, Traunstein, Deutschland Abitur
08/1995 – 09/1996	Zivildienstleistender beim Bayerischen Roten Kreuz, Erding, Deutschland Tätigkeit: Rettungsdiensthelfer
10/1996 – 07/2000	Fachhochschule Weihenstephan, Freising, Deutschland Abschluss als Dipl.-Ing. agr. (FH) Schwerpunkt: Agrarökonomie
08/2000 – 12/2005	Kartoffel-Service-GmbH, Kirchheim, Deutschland Position: Angestellter <ul style="list-style-type: none"> • Ein- und Verkauf von Kartoffeln • Disponierung • Anbauberatung • Vertragsgestaltung
01/2006 – 10/2008	Kartoffel-Service-GmbH, Kirchheim, Deutschland Position: Geschäftsführung
10/2008 – 08/2010	Technische Universität München (TUM) am Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Freising, Deutschland Masterstudium: Agrarwissenschaften Schwerpunkt: Agrarökonomie und Agribusiness
09/2010 - heute	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, Deutschland Position: Angestellter als wissenschaftlicher Mitarbeiter Projekt: Entwicklung eines Systems für die schonende Ernte von Baldrianwurzeln. Projektbegleitende Promotion am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik.

Zusätzliche Tätigkeiten

06/2009 – 09/2009	Danler Ludwig und Gottfried, Achenkirch, Österreich Bewirtschaftung einer Alm mit Viehwirtschaft und Gästebewirtung.
06/2010 – 09/2010	Bewirtschaftung derselben Alm (siehe oben) mit einem Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Projekt: Einsatz von GPS-Sendern zur Ortung der Tiere.

Persönliche Interessen

08/1995 – heute	Chorleiter und Organist, St. Peter und Paul Berglern
-----------------	---

Gaden, 15. April 2016

Georg Neumaier