



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Agrarwirtschaft

Prof. Dr. Rose

Dipl.-Ing. agr. Hesse

Master-Thesis

**„Erdabreinigungsleistung eines Rübenreinigungsladers -
Reinigungsqualität im Verladeprozess unter Berücksichtigung der
Bruchverluste“**

Urn:nbn:de:gbv:519-thesis2020-0057-4

von

Heiko Rogge

Neubrandenburg

Mai 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	1
2	Zuckerrübenanbau	2
2.1	Anbau in der Europäischen Union	2
2.2	Anbau in Deutschland	2
3	Erde im Verarbeitungsprozess der Zuckerrübenproduktion	4
3.1	Gesetzliche Vorgaben zur Rübennerdausfuhr	4
4	Zuckerrübenreinigung	7
4.1	Reinigungseinrichtungen zur Zuckerrübenreinigung	7
4.2	Nachreinigungsaggregat Holmer „VarioCleaner“	9
4.3	Entwicklung der Reinigungsleistung von Rübenreinigungsladern	10
5	Praxisversuch zur Reinigungsleistung des Reinigungsladers Holmer „Terra Felis 3“	12
5.1	Vorarbeiten	12
5.2	Versuchsstandort	13
5.3	Material und Methoden	14
6	Ergebnisse	18
6.1	Gesamterdabreinigung des Rübenreinigungsladers	18
6.1.1	Mietenerdabreinigung anteilig nach Aggregaten	20
6.1.2	Erdabreinigungsanteil der Reinigungsaggregate an der Gesamterdabreinigung	21
6.2	Abreinigungsleistungen des „VarioCleaner“ pro verladener Menge	22
6.2.1	Abreinigung des „VarioCleaner“ nach abgereinigter Materialart	22
6.2.2	Erdabreinigung am „VarioCleaner“	23
6.2.3	Abgereinigter Rübenbruch am „VarioCleaner“	24
6.2.4	Abgereinigtes Rübenblatt am „VarioCleaner“	25
6.3	Ergebnisse der Korrelationsanalyse	26

6.3.1	Verhältnis von Erdabreinigung und Bruchverlusten am „VarioCleaner“.....	26
6.3.2	Verhältnis der Einstellung des „VarioCleaners“ zur Abreinigungsqualität.....	27
6.3.3	Verhältnis abgereinigtes Blatt zu Bruchverlusten.....	27
6.3.4	Korrelationen der Aufnahme+Bauchgurt+Nachreiniger	27
6.3.5	Verhältnis von Erdanteil auf dem LKW zu Erdabreinigung der Aufnahme mit Bauchgurt und Nachreiniger.....	28
7	Diskussion.....	28
7.1	Gesamterdabreinigung des Rübenreinigungsladers	28
7.2	Gesamterdabreinigung anteilig nach Aggregaten	30
7.3	Erdabreinigungsanteil der Reinigungsaggregate an der Gesamterdabreinigung	31
7.4	Erdabreinigungsleistungen des „VarioCleaner“ pro verladener Menge	32
7.5	Rübenbruch des „VarioCleaner“ pro verladener Rübenmenge.....	34
7.6	Rübenblattabreinigung am „VarioCleaner“	35
7.7	Vergleich der Kosten von Bruchverlusten und Erdausfuhr.....	36
7.8	Vergleich mit weiteren Versuchsdaten.....	39
8	Schlussfolgerungen	42
9	Zusammenfassung.....	44
10	Literaturverzeichnis.....	45

Abkürzungsverzeichnis

dt	Dezitonne
ha	Hektar
kg	Kilogramm
km	Kilometer
LKW	Lastkraftwagen
RRL	Rübenreinigungslader
t	Tonnen
VC	„VarioCleaner“

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zuckerrübenanbau in Deutschland. Quelle: Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V. 2020.....	3
Abbildung 2: Kombinationseignung von aufzubringendem Material und Boden am Aufbringstandort. Quelle: Geofakten 13, 2004.....	5
Abbildung 3: Holmer "Terra Felis 3", Drohnenaufnahme "Hüpermaus". Quelle: Gutsgemeinschaft Lenthe, 2019.....	7
Abbildung 4: Mechanische Reinigungswerkzeuge zur Zuckerrübenreinigung. Quelle: Schmittmann, 2019.....	8
Abbildung 5: Produktbild Holmer "VarioCleaner". Quelle: Holmer Maschinenbau	9
Abbildung 6: "VarioCleaner" im Praxisversuch. Quelle: Eigene Aufnahme, 2019	9
Abbildung 7: Reinigungsleistungen von Rübenreinigungsladern 1991-1995. Quelle: Steensen, 2002.....	10
Abbildung 8: Reinigungsleistungen von Rübenreinigungsladern 2012. Quelle: Schulze Lammers et al., 2012	11
Abbildung 9: Erdreiche Versuchsmiete in Everloh. Quelle: Eigene Aufnahme, 2019.....	12
Abbildung 10: Versuchsstandort Everloh, südwestlich von Hannover. Quelle: Google Maps, 2020	13
Abbildung 11: Reinigungsintensitäten des RRL in den Versuchsvarianten. Quelle: Eigene Darstellung, 2020	15
Abbildung 12: Einstellungen der Reinigungsaggregate in den Versuchsvarianten. Quelle: Eigene Darstellung, 2020	16
Abbildung 13: Versuchsaufbau mit Vlies unter dem „VarioCleaner“ und Versuchskübeln. Quelle: Eigene Aufnahme, 2019	17
Abbildung 14: Versuchsergebnisse zur Gesamterdabreinigungsleistung des RRL nach Parzellen. Quelle: Eigene Darstellung 2020.....	18

Abbildung 15: Darstellung der Schwankungsbereiche der Gesamterdabreinigung in kg in den Versuchsvarianten. Quelle: Eigene Darstellung, 2020	19
Abbildung 16: Darstellung der Mittelwerte der prozentualen Verteilung der Mietenerde auf den LKW, die Aufnahme+Bauchgurt+Überlader und den "VarioCleaner" während des Reinigungsvorgangs in den Versuchsvarianten. Quelle: Eigene Darstellung, 2020	20
Abbildung 17: Darstellung der Mittelwerte der prozentualen Anteile der Erdabreinigung von Aufnahme+Bauchgurt+Überlader und "VarioCleaner" an der Gesamterdabreinigung in den Versuchsvarianten. Quelle: Eigene Darstellung, 2020.....	21
Abbildung 18: Darstellung der Mittelwerte der Abreinigung von Erde, Rübenbruch und Rübenblatt in kg durch den "VarioCleaner" in den Versuchsvarianten. Quelle: Eigene Darstellung, 2020	22
Abbildung 19: Darstellung der Erdabreinigung am "VarioCleaner" anteilig an der verladenen Rübenmenge in den Versuchsvarianten in %. Quelle: Eigene Darstellung 2020	23
Abbildung 20: Darstellung des Rübenbruchs am "VarioCleaner" anteilig an der verladenen Rübenmenge in den Versuchsvarianten in %. Quelle: Eigene Darstellung, 2020	24
Abbildung 21: Darstellung des abgereinigten Rübenblattes am "VarioCleaner" anteilig an der verladenen Rübenmenge in %. Quelle: Eigene Darstellung, 2020	25
Abbildung 22: Darstellung des Verhältnisses der Abreinigung des Rübenbruchs in kg zur abgereinigten Erde in kg mit Regressionsgerade. Quelle: Eigene Darstellung, 2020	26
Abbildung 23: Beanspruchung der Rübe auf verschiedenen Reinigungsaggregaten im Rübenroder. Quelle: Schmittmann, O., 2017.....	35
Abbildung 24: Bruchverlustberechnung nach Bereichen am Rübenkörper. Quelle: Schmittman, O. 2017	36
Abbildung 25: Erdausfuhr- und Bruchverlustkalkulation eines Rübenreinigungsladers. Quelle: Eigene Darstellung, 2020	39

1 Einleitung

Der Weg vom „Rohstoff Zuckerrübe“ auf den Feldern der Landwirte bis hin zum verpackten Endprodukt im Regal des Lebensmittelhandels beinhaltet viele Produktionsstufen. An jede einzelne sind dabei Anforderungen der nachfolgenden Schritte geknüpft. Die Reinigung der Zuckerrübe von anhaftender Erde, Rübenblatt und Steinen ist für die weitere Verarbeitung in der Zuckerfabrik eine Grundvoraussetzung. Mit verschiedenen Reinigungs- und Trennverfahren wird dabei schon bei der Ernte großer Wert auf saubere Zuckerrüben gelegt. Für die Aufnahme und Verladung der Rüben von den Lagerplätzen am Feldrand auf Lkw werden unter anderem spezielle selbstfahrende Rübenreinigungslader verwendet. Ihre Aufgabe besteht in der Nachreinigung der im Ernteverfahren durch den Rübenroder vorgereinigten Zuckerrüben.

1.1 Problemstellung

Die Ansprüche an dieses Nachreinigungsgerät bestehen vor allem aus den Anforderungen der Anbauer und der weiterverarbeitenden Zuckerfabrik. Für den Anbauer entscheidend ist der Ertrag den er mit dem Anbau erwirtschaften kann. Jegliche Verlustfaktoren vor, während und nach dem Ernteverfahren sollen minimiert oder abgestellt werden. Auf der anderen Seite verursacht die „Entsorgung“ der Rüben Erde für die Zuckerfabrik Kosten, die ihrerseits minimiert werden sollen. Somit muss möglichst ein Konsens zwischen intensiver Erdbereinigung und geringen Verlusten im Reinigungsprozess erreicht werden.

1.2 Zielsetzung

In dieser Arbeit soll anhand eines Praxisversuchs die Erdbereinigungsleistung eines Rübenreinigungsladers im Hinblick auf die Ausgewogenheit von Erdbereinigung und Rübenbruchverlusten untersucht werden. Dabei liegen die Schwerpunkte der Betrachtung auf der Auswertung der Reinigungsleistung unter verschiedenen Reinigungsintensitäten, sowie der Auswirkung des Nachreinigungssystems „VarioCleaner“ der Firma Holmer. Dieses wird durch die „Nordzucker AG“ gefördert und soll auf seine Vorteile in Bezug auf den gesamten Reinigungsprozess überprüft werden.

2 Zuckerrübenanbau

2.1 Anbau in der Europäischen Union

Der Zuckerrübenanbau in Deutschland und der Europäischen Union dient vorrangig der Versorgung des inländischen Bedarfs der Bevölkerung an Zucker. Hierfür werden EU-weit auf etwa 140.000 Betrieben Zuckerrüben für 106 Zuckerfabriken angebaut. Durch den Anbau wurden im Jahr 2018/19 nach Angaben der EU-Kommission etwa 17,6 Millionen Tonnen Zucker erzeugt. Der Bedarf lag im selben Zeitraum bei etwa 18 Millionen Tonnen (Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V./ Verein der Zuckerindustrie e.V., 2020).

Die drei Mitgliedsstaaten mit der höchsten Anbaufläche im Jahr 2018/19 waren Frankreich, Deutschland und Polen. In Frankreich wurden für die Zuckerproduktion auf 440.000 ha, in Deutschland auf 392.000 ha und in Polen auf 239.000 ha Zuckerrüben angebaut. Damit bewirtschaften diese drei Länder 65 % der Zuckerrübenanbaufläche der Europäischen Union (Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V./ Verein der Zuckerindustrie e.V., 2020).

2.2 Anbau in Deutschland

In Deutschland werden seit über 200 Jahren Zuckerrüben für die Zuckergewinnung angebaut. 25.832 Betriebe belieferten im Jahr 2019/20 die 20 in Deutschland verbliebenen Zuckerfabriken. Dabei wurden auf einer Fläche von über 370.000 ha Zuckerrüben angebaut. Die erzeugten Zuckerrüben lieferten im Berichtsjahr einen durchschnittlichen Zuckerertrag von 11,4 t/ha.

Der in Deutschland produzierte Zucker wird zu großen Teilen auch im Inland weiterverarbeitet. Im Jahr 2017/18 lag der Zuckerverbrauch in Deutschland bei etwa drei Millionen Tonnen. Davon wurden 88,3 % an die verarbeitende und chemische Industrien, sowie das Handwerk abgegeben. 11,7 % wurden zu Haushaltszucker und in Form von Raffinade, Würfelzucker, Puderzucker und Kandis über den Lebensmitteleinzelhandel weiterverkauft (Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V./ Verein der Zuckerindustrie e.V., 2020).

In der nachfolgenden Abbildung 1 ist die Entwicklung des Zuckerrübenanbaus und der Zuckererzeugung in Deutschland der letzten vier Jahre dargestellt. Die Anbaufläche für Zuckerrüben ist seit 2016 um etwa 25 % gestiegen. Einen Rückgang von knapp fünf Prozent der Flächen gab es allerdings zwischen den Jahren 2018/19 und 2019/20. Im selben Zeitraum ist die Anzahl der Rübenanbauer um ca. 3300 gesunken. Entsprechend gestiegen ist somit die durchschnittliche Anbaufläche pro Anbauer von 10,5 ha auf 14,4 ha.

Rübenverarbeitung und Zuckererzeugung in Deutschland				
	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
Anbaufläche in ha	299.692	382.012	390.285	372.287
Anzahl der Rübenanbauer	28.509	27.142	26.571	25.832
Durchschnittliche Anbaufläche eines Rübenanbauers in ha	10,5	14,1	14,7	14,4
Rübenanlieferung in t	22.537.544	32.123.703	24.645.598	26.990.280
Rübenenertrag in t/ha	75,2	84,1	63,1	72,5
Zuckergehalt in %	17,9	17,9	19,0	17,6
Zuckerertrag in t/ha	11,9	13,5	10,7	11,4
Zuckererzeugung in t Ww	3.566.206	5.161.378	4.191.148	4.235.932

Ww = Weißzuckerwert

Abbildung 1: Zuckerrübenanbau in Deutschland. Quelle: Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V. 2020

Die Erträge aus der Zuckerrübenproduktion schwanken in einem Bereich zwischen 10,7 und 13,5 t/ha Zuckerertrag. Dies ist auf die witterungsbedingten Wachstumsbedingungen zurückzuführen. Im Erntejahr 2017/18 herrschten aus eigener Erfahrung sehr nasse Bedingungen im Sommer, wodurch der Rübenenertrag mit 84,1 t/ha überdurchschnittlich hoch lag. Darauf folgte ein sehr trockenes Jahr mit geringen Rübenenerträgen von 63,1 t/ha im Durchschnitt, wodurch der Zuckergehalt mit 19 % überdurchschnittlich hoch lag. Dies beeinflusste allerdings den Zuckerertrag nur geringfügig, wodurch in diesem Jahr der geringste durchschnittliche Zuckerertrag der letzten Jahre erzielt wurde.

3 Erde im Verarbeitungsprozess der Zuckerrübenproduktion

Die Separation der an den Zuckerrüben anhaftenden Erde nimmt im gesamten Verfahren der Zuckerrübenernte und –verarbeitung einen großen Anteil ein. Dieser Erdanteil wirkt sich nicht nur auf die Ernteverluste aus, sondern führt auch zu steigenden Verfahrenskosten. Denn die Erde, die nicht während der Ernte und Verladung abgereinigt werden kann, gelangt mit den verladenen Rüben in die Fabrik. Dort wird sie in der Rübenwäsche durch Wasserdüsen und eine Strömungsanlage von den Rüben entfernt. Das Gemisch aus Wasser und Erde gelangt dann in Absatzbecken. Aus diesen Becken, auch Schlammteiche genannt, wird die Erde regelmäßig ausgebaggert und auf Ackerflächen verteilt. Die Reduzierung des Erdanteils hat für die Zuckerfabriken hohe Priorität, da die Rübenerdausfuhr aufgrund von gesetzlichen Vorgaben und logistischen Herausforderungen bezogen auf die Erdmenge einen hohen finanziellen Aufwand bedeutet (Hesse, 2020).

3.1 Gesetzliche Vorgaben zur Rübenerdausfuhr

Die ackerbauliche Verwendung von Rübenerde ist in Niedersachsen durch die „Geofakten 13“ vom Juli 2004 des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung geregelt. Diese stellen einen Leitfaden für die vorschriftsmäßige Rückführung der Rübenerde auf landwirtschaftliche Flächen dar. An diesem orientieren sich die beteiligten Bodenschutzbehörden, Abfallbehörden, landwirtschaftliche Fachbehörden und Zuckerfabriken (Schneider, Severin, Göttlicher, Heinicke, & Pellegrini, 2004).

Als gesetzliche Grundlagen für die Verwertung der Rübenerde stehen das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG 1998) und die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999) im Vordergrund. Bei der Ausbringung der Erde und der Einarbeitung wird nach § 12 der BBodSchV gehandelt. Nach diesen Gesetzen und Verordnungen ist es nur zulässig Rübenerde auf dem Acker auszubringen wenn die folgenden Bedingungen erfüllt werden:

1. Es darf keine Bodenschädigung durch die Art, die Menge oder den Schadstoffgehalt des Bodens entstehen. Außerdem müssen die physikalischen Eigenschaften des Bodens und der aufgebrauchten Erde berücksichtigt werden.
2. Es muss eine der im Bundesbodenschutzgesetz genannten Bodenfunktionen gesichert oder wiederhergestellt werden
3. Die Regeln der guten fachlichen Praxis müssen eingehalten werden

Zu den Bodenfunktionen zählen laut Bundesbodenschutzgesetz die Lebensraumfunktion, Funktionen als Bestandteil von Wasser- und Nährstoffkreisläufen und Funktionen im Bereich der Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedien (Schneider, Severin, Göttlicher, Heinicke, & Pellegrini, 2004).

Um die Beurteilung der Bodenbeschaffenheit nach physikalischen Gesichtspunkten durchzuführen werden Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Böden miteinander verglichen. Diese sind in der nachfolgenden Abbildung 2 dargestellt.

Bodenartenhauptgruppe des Bodens am Aufbringungsort							
Bodenartenhauptgruppe der Rübenerden		Schluffe/ Lehme	Sande	Tone	< 1% Grob- boden	1-10% Grob- boden	< 30% Grob- boden
	Schluffe/ Lehme	x	x	x ¹⁾			
	Sande	-	x	x			
	Tone	-	-	x			
	< 1% Grobboden				x	x	x
	1-10% Grobboden				-	x	x
	< 30% Grobboden				-	-	x
x = zulässige Kombination - = Kombination ausgeschlossen ¹⁾ Bei gedrähten Flächen wird vor Aufbringung von Rübenerden eine Einzelfallprüfung empfohlen							

Abbildung 2: Kombinationseignung von aufzubringendem Material und Boden am Aufbringstandort.
 Quelle: Geofakten 13, 2004

Wie aus Abbildung 2 hervorgeht, ist die Aufbringung von Rübenerde ausschließlich bei annähernd gleicher Beschaffenheit der aufgetragenen Erde und der Erde des Standortes zulässig. Dabei ist zu beachten, dass eine Bodenverschlechterung durch das Aufbringen nicht zu empfehlen ist. Grundsätzlich werden vor und nach der Aufbringung der Rübenerde Untersuchungen des Standortes und der Rübenerde vorgenommen. Hierbei werden chemische und physikalische Eigenschaften des Bodens auch hinsichtlich Nähr- und Schadstoffgehalten durchgeführt.

Zusätzlich zu den Untersuchungen im Vorfeld der Ausbringung gibt es weitere Vorgaben die erfüllt werden müssen, um rechtskonform zu handeln. Zum einen sollten die Witterungsbedingungen einen trockenen oder tiefgefrorenen Ackerboden ermöglichen. Des

Weiteren ist eine Aufbringung nur bis zu einer Höhe von höchstens 20 cm zulässig. Dieses soll durch die Einebnung mit geeignetem Gerät erfolgen. Weiterführende Aufgaben bestehen in der Dokumentation des Rübenerte aufnehmenden Betrieb. Diese müssen bei der zuständigen Bodenschutzbehörde angemeldet werden (Schneider, Severin, Göttlicher, Heinicke, & Pellegrini, 2004).

Nach erfolgreicher Auferdung ist die Düngung in den Folgejahren aufgrund der Nährstoffgehalte in der Rübenerte anzupassen. Hierbei soll die Düngehöhe durch Bodenproben ermittelt werden. Für Phosphor und Kalium sind in der Regel in den folgenden fünf bis zehn Jahren keine Düngungen nötig. Auch Stickstoff ist durchschnittlich in den ersten drei Jahren nicht aufzudüngen und nur mit Nachweis des Bedarfs zulässig. Eine organische N-Düngung ist in den ersten fünf Jahren nach Ausbringung der Rübenerte ebenfalls nicht zulässig.

Weiterhin darf Rübenerte nicht auf allen Flächen ausgebracht werden. Von der Ausbringung ausgeschlossen sind Grünlandstandorte, stark wassererosionsgefährdete Standorte und Böden im Wald, Wasserschutzgebieten der Zonen I und II sowie Naturschutzgebieten (Schneider, Severin, Göttlicher, Heinicke, & Pellegrini, 2004).

All diese Auflagen und Vorschriften machen die Erdausfuhr für die Beteiligten zu einem Vorgang mit hohem bürokratischem Aufwand. Hinzu kommt der logistische Aufwand der Erdausfuhr.

4 Zuckerrübenreinigung

Die zur Zuckerrübenreinigung verwendeten selbstfahrenden Rübenreinigungslader, abgebildet in Abbildung 3, sind Spezialmaschinen. Ihre Aufgabe besteht in der Aufnahme der Zuckerrüben aus der Miete am Feldrand und der Verladung auf Transportfahrzeuge. Die technischen Merkmale und optionalen Ausstattungen wurden bereits in meiner Bachelorarbeit „Optimierung der Zuckerrübenreinigung eines Rübenreinigungsladers- Auswirkungen des Nachreinigungssystems „VarioCleaner“ auf die Reinigungsqualität“ (Rogge, 2019) umfassend erläutert.



Abbildung 3: Holmer "Terra Felis 3", Drohnenaufnahme "Hüpermaus". Quelle: Gutgemeinschaft Lenthe, 2019

4.1 Reinigungseinrichtungen zur Zuckerrübenreinigung

Zur Reinigung der Zuckerrüben wird im Ernte- und Verladeprozess eine Reihe von Werkzeugen eingesetzt. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Größe und Anordnung, das Ziel ihres Einsatzes bleibt jedoch identisch: Das Entfernen von Erdanhang, losen Blattresten und Steinen vom Rübenkörper.

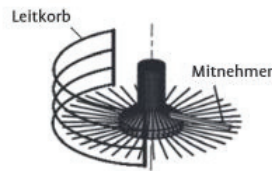
Grundvoraussetzung für ein optimales Reinigungsergebnis ist der Anbau von Zuckerrüben auf siebfähigen Böden, die sich leicht abreinigen lassen. Der Boden sollte möglichst frei von Steinen sein, da diese, sofern sie der Zuckerrübe in der Größe ähneln, nur sehr schwer von den Reinigungsaggregaten ausselektiert werden können (Schulze Lammers, Zuckerrübenernte, 2019).

SCHMITTMANN erstellte zur vergleichenden Darstellung die nachfolgende Abbildung 4 der in Rodern und Reinigungsladern verwendeten Reinigungswerkzeuge.

Aufnahme- und Reinigungseinrichtungen (Schmittmann, 2010).

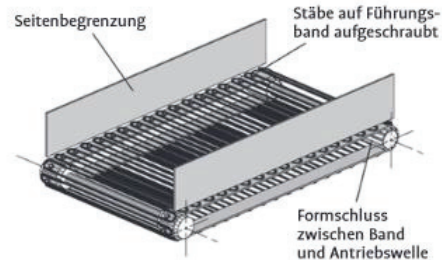
Siebstern

- Drehbewegung und Mitnehmer transportieren die Rüben
- Leitkorb verhindert das Herauswerfen der Rüben
- Abtrennen von Erde durch Reib- und Stoßkräfte



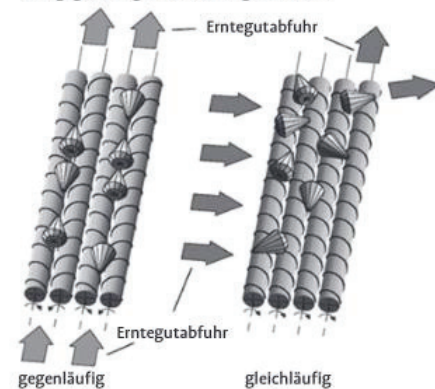
Siebband

- Stababstand ca. 4 cm
- überwiegend für Rübentransport
- Abtrennen loser Erde durch Schwerkraft



Walzen

- Aufnahme der Rüben durch Walzen
- Wendelwalzen fördern Material tangential
- Reinigen der Rüben durch axiale Förderung und gegenläufige Drehrichtung der Walzen



- unterschiedliche Aufsätze: Sterne, Scheiben, tangentiale Förderung, quer zur Walzenlängsachse



Abbildung 4: Mechanische Reinigungswerkzeuge zur Zuckerrübenreinigung. Quelle: Schmittmann, 2019

Zur Trennung von Rübenkörper und Erde wird das Erntegut in den Maschinen in Bewegung versetzt. Hierbei unterscheiden sich die Reinigungswerkzeuge in ihrem Verhältnis zwischen Reinigungswirkung und Förderwirkung.

Die zur Reinigung eingesetzten Wendelwalzen bestehen aus mehreren Walzenpaaren. Diese können je nach Drehrichtung einen „Zwickeffekt“ hervorrufen. Dabei werden die Rüben in den Walzenzwischenraum gezogen. Während bei der Walzenreinigung die Reinigungsintensität je nach Drehrichtung variabel einstellen kann und damit zwischen nahezu reiner Transportwirkung und intensiver Reinigung gewählt werden kann, verfügt das Siebband über ein hohes Maß an Transportwirkung. Ein Reinigungseffekt tritt auf dem Siebband ausschließlich durch die Wirkung der Schwerkraft ein.

Der in Rübenrodern verwendete Siebstern reinigt die Rüben durch seine Drehbewegung. Die Fliehkräfte bewirken in Kombination mit der Reibung der Rüben aneinander und den Stößen durch den Leitkorb den Reinigungseffekt. Durch Veränderungen der Drehzahl und

der Drehrichtung bei hintereinander verbauten Siebsternen kann die Reinigungsleistung erhöht werden (Schulze Lammers, Zuckerrübenernte, 2019).

4.2 Nachreinigungsaggregat Holmer „VarioCleaner“

Das optionale Nachreinigungsaggregat „VarioCleaner“ befindet sich am Reinigungslader hinter der Hinterachse und bildet den Übergang zwischen Bauchgurt und Überladeband.



Abbildung 5: Produktbild Holmer "VarioCleaner". Quelle: Holmer Maschinenbau

In Abbildung 5 ist die Schrägansicht des Aggregats abgebildet. Hier ist zu erkennen, dass der Nachreiniger aus einer Kombination von Zwickwalzen und Siebband besteht. Das Siebband ist wie abgebildet in seiner Position veränderbar, sodass die Rüben je nach gewünschter Reinigungsintensität über das Siebband oder die Walzen gereinigt werden. Bauartbedingt ist das Siebband nicht vollständig über die Walzenpaare verschiebbar, sodass die Rüben immer auf den letzten Abschnitt der Zwickwalzen fallen.



Abbildung 6: "VarioCleaner" im Praxisversuch. Quelle: Eigene Aufnahme, 2019

Abbildung 6 zeigt die intensivste Reinigungseinstellung des „VarioCleaners“. Hierbei wird die sogenannte „Rübenbremse“ aktiviert. Sie befindet sich über dem „VarioCleaner“.

Diese Gummizylinder können durch herunterklappen für einen zusätzlichen Reinigungseffekt sorgen. Dabei reduzieren sie die Geschwindigkeit des Rübenflusses auf den Zwickwalzen und sorgen somit für eine längere Verweildauer und Reinigungsintensität (Holmer Maschinenbau GmbH, 2020).

4.3 Entwicklung der Reinigungsleistung von Rübenreinigungsladern

Der technische Fortschritt und die fortlaufenden Untersuchungen zur Optimierung von Ernte- und Produktionsverfahren führten im Bereich der Rübenreinigungslader zwischen 2006 und 2012 zu höheren Verladeleistungen bis zu 28 %, bei gleichbleibenden Erdanteil und einer Bruchverlustzunahme von 0,3 % (Schulze Lammers, Schmittmann, Peveling-Oberhag, & Ziegler, 2012). *STEENSEN* untersuchte zwischen 1991 und 1995 Reinigungslader verschiedener Hersteller. Auffällig waren die Unterschiede aufgrund von Witterungseinflüssen, die größere Auswirkungen auf das Reinigungsergebnis aufwiesen, als bauartbedingte Herstellerunterschiede. (Steensen, Effect of different cleaning techniques and methods on soil tare - A danish review, 2002)

Um die technischen Entwicklungen vergleichbar darzustellen werden im Folgenden die Daten der Untersuchungen von *STEENSEN* mit denen des Reinigungsladertests in Seligenstadt im Jahr 2012 verglichen.

Table 4: Survey of cleaning efficiency of cleaner loaders, 1991-95.

Year	1991	1992	1993	1994	1995	Avg
Beet quantity, loads	36	21	11	10	8	86
Beet quantity, tonnes	1063	636	355	301	221	2576
Storage, days on average	12	18	8	7	30	14
Cleaning efficiency, %	50	49	61	62	51	53
Root loss, %	1,3	1,5	1,9	1,8	2,3	1,6
Clean beet before cleaning, %	82,9	81,5	76,8	84,7	81,0	81,8
Clean beet after cleaning, %	89,5	88,4	87,9	91,9	87,6	89,1
<i>LSD</i>						2,4

Abbildung 7: Reinigungsleistungen von Rübenreinigungsladern 1991-1995. Quelle: Steensen, 2002

Die in den Jahren 1991 bis 1995 durchgeführten Untersuchungen von 86 Verladevorgängen in Abbildung 7 führten durchschnittlich zu Bruchverlusten von 1,6 % bei einer durchschnittlichen Abreinigung von 7,3 %. Der Anteil der sauberen Rüben stieg von 81,9 % auf 89,1 %. In einzelnen Jahren lagen die Reinigungsleistungen allerdings bei bis zu 11,1 %.

Die in Seligenstadt getesteten Reinigungslader, dargestellt in A , erzielten Reduzierungen des Erdanteils von durchschnittlich 2,3 %. Die höchste Erdbereinigung erreichte dabei der Holmer „Terra Felis 2“ mit 4,1 %. Die Zunahme an Bruchverlusten durch die Reinigungslader betrug im Durchschnitt 1,6 %. Die geringsten Werte erzielten dabei die Reinigungslader von Kleine und Holmer mit 1,2 % Bruchverlusten (Schulze Lammers, Schmittmann, Peveling-Oberhag, & Ziegler, 2012).

Tabelle 3 Ergebnisse des Reinigungslader-Tests in Seligenstadt 2012 (Ausgangswerte: Erdanteil = 7,5 %; Wurzelbruch = 2,1 %)

Hersteller	Durchsatz	Erdanteil	Wurzelbruch
	t/h	%	%
Ropa euro-Maus 4	523,0	5,9	4,2
Holmer Terra Felis 2	547,8	3,4	3,3
Kleine RL 350 V	388,1	5,1	3,3
Brettmeister Minimaus	179,3	6,3	4,0
Mittelwert	409,5	5,2	3,7

Abbildung 8: Reinigungsleistungen von Rübenreinigungsladern 2012. Quelle: Schulze Lammers et al., 2012

Die Reinigungslader zeichnen sich in den Testergebnissen durch ihre hohe Verladeleistung und eine ca. 25-50 prozentige Erdbereinigungsleistung aus. Bei Verladeleistungen von bis zu 547 Tonnen pro Stunde sind die von den Zuckerfabriken geforderten gleichmäßigen Verlademengen pro Anlieferungsgemeinschaft erreichbar (Hesse, 2020). Der abgereinigte Anteil an Erde hängt im Vergleich der Versuche in hohem Maße von den Ausgangswerten in der Miete ab. In Seligenstadt lag der Erdanteil bei 7,5 % während *STEENSEN* Anteile von Erde in Bereichen von bis zu 23 % im Jahr 1993 verzeichnete. Aus diesen Ergebnissen geht hervor, dass die Abreinigungsleistung in hoher Abhängigkeit vom Erdanteil in der Miete abhängt.

5 Praxisversuch zur Reinigungsleistung des Reinigungsladers Holmer „Terra Felis 3“

5.1 Vorarbeiten

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde am 07.11.2019 im Einzugsgebiet der Zuckerfabrik Nordstemmen, in der Nähe der Ortschaft Everloh, in Zusammenarbeit mit der Nordzucker AG und der Zuckerrübenladegemeinschaft Leine/Deister-Munzel ein Versuch zur Reinigungsleistung und –qualität des Nachreinigungsaggregats „VarioCleaner“ einer Holmer „Terra Felis 3“ durchgeführt.

Für den Versuch wurde an die erdreichste Rübenmiete im Umkreis ausgewählt.



Abbildung 9: Erdreiche Versuchsmiete in Everloh. Quelle: Eigene Aufnahme, 2019

5.2 Versuchsstandort

Der Versuchsstandort befindet sich in Gehrden im Ortsteil Everloh in Niedersachsen (Abbildung 10). In der als „Calenberger Land“ bezeichneten Region südwestlich von Hannover werden seit den 1870er Jahren Zuckerrüben angebaut. Im Jahr 1885 befanden sich im Umreis von Hannover bereits fünf Zuckerfabriken (Heimatmuseum Seelze, 2010). Vor der Zuckermarktreform im Jahr 2006 lag der Flächenanteil der Zuckerrübe im Calenberger Land bei 25 %. Auch nach der Reform ist dieser nur leicht rückläufig, wobei die Flächenerträge gestiegen sind (Haase, 2013). Das Calenberger Land erstreckt sich im Dreieck zwischen Deister, Leine und Mittellandkanal. Typisch für die Region sind die weitgehend ebenen Landschaften und der fruchtbare Ackerboden aufgrund von Lösslehmschichten, die sich in der letzten Eiszeit ablagerten (Region Hannover, 2020).

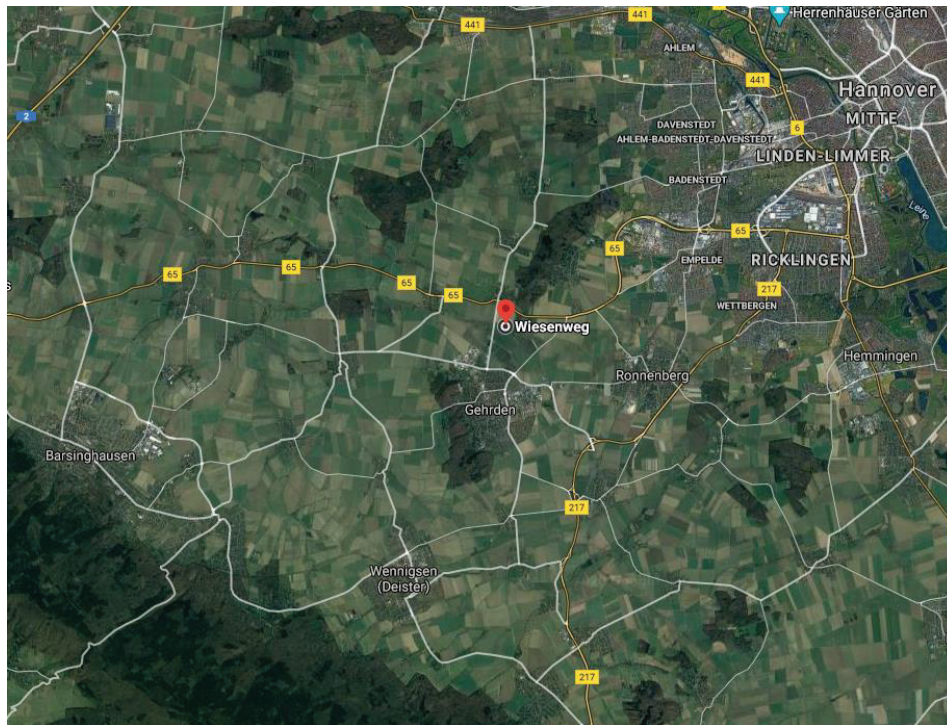


Abbildung 10: Versuchsstandort Everloh, südwestlich von Hannover. Quelle: Google Maps, 2020

5.3 Material und Methoden

Im Vorjahr konnte der zur Erdadreinigung geplante Bachelorarbeitsversuch aufgrund der trockenen Witterung nicht wie geplant stattfinden. Damals wurde das Hauptaugenmerk auf die Krautabreinigung gelegt. Die diesjährige Witterung ermöglichte im Rahmen der Masterarbeit die Durchführung des Versuchs zur Erdadreinigung.

In einem Vorgespräch mit den zuständigen Mitarbeitern der Nordzucker AG und des Zuckerrübenanbauerverbandes Niedersachsen Mitte e.V. und Südniedersachsen e.V. wurden die Ziele des diesjährigen Versuchs abgestimmt. Der Fokus sollte wie geplant auf den Erdadreinigungsleistungen und den dabei produzierten Bruchverlusten liegen. Hierzu wurden Beprobungen unter der Aufnahme und dem „VarioCleaner“ des Reinigungsladens geplant.

Der ungenügende Freiraum unter der Aufnahme und der Gefahr der Verstopfung der Reinigungswalzen durch das zur Beprobung und Selektion benötigten Vlies machen eine dortige Beprobung unmöglich. Daraufhin entschieden wir, die Abreinigungsleistung der Aufnahme nicht tatsächlich durch Auffangen und Wiegen, sondern rechnerisch als Differenz zu ermitteln. Zur Ermittlung dieser Differenz sollte der Erdanteil in der Miete vor der Verladung bestimmt werden und der Erdanteil der Rübenladung auf dem LKW, ermittelt durch die Beprobung in der Zuckerfabrik, abgezogen werden. Somit beschränkte sich die Versuchsdurchführung auf das Auffangen der abgereinigten Erde, Rübenblätter und Rübenbruchstücke auf einem Vlies unter dem „VarioCleaner“.

Zur Darstellung der unterschiedlichen Reinigungsintensitäten wurden fünf Versuchsvarianten, die in Abbildung 11 dargestellt sind, ausgewählt. Die Varianten ergeben sich aus den Einstellungsmöglichkeiten für die Reinigungsaggregate. Die Varianten 1, 3 und 5 erfolgten mit zwei Wiederholungen, während die Varianten 2 und 4 mit drei Wiederholungen durchgeführt wurden.

Parzelle	Variante	Wiederholung	Einstellung Aufnahme	Einstellung VarioCleaner
1	2	1	sanft	intensiv
2	3	1	intensiv	intensiv
3	5	1	mittel	sanft
4	4	1	intensiv	sanft
5	1	1	sanft	sanft
6	3	2	intensiv	intensiv
7	5	2	mittel	sanft
8	2	2	sanft	intensiv
9	4	2	intensiv	sanft
10	1	2	sanft	sanft
11	2	3	sanft	intensiv
12	4	3	intensiv	sanft

Abbildung 11: Reinigungsintensitäten des RRL in den Versuchsvarianten. Quelle: Eigene Darstellung, 2020

Durch die höhere Wiederholungsanzahl in den Varianten zwei und vier sollen die maximalen Abreinigungsleistungen des „VarioCleaners“ statistisch besser abgesichert werden. Aufgrund der Mietenlänge und der entsprechenden Rübenmenge, sowie der Parzellen, in denen die Maschine im laufenden Betrieb auf die neuen Einstellungen umgestellt werden musste, ergaben sich diese zwölf Versuchsparzellen. Jede Parzelle entspricht der Beladung eines LKW mit etwa 26,5t.

Vor der Verladung wurden aus der ausgewählten Rübenmiete Proben zur Bestimmung des Erdanteils genommen. Beprobte wurden vier zufällig ausgewählte Stellen der Rübenmiete. Besonderes Augenmerk lag bei der händischen Entnahme auf der Vollständigkeit der Proben. Die Zuckerrüben gelangten mitsamt der anhaftenden Erde und der Erde zwischen den Rüben in die Probekübel.

Parallel zur Beprobung der Miete wurden die Einstellungen des Reinigungsaders in den verschiedenen Intensitäten der Versuchsvarianten abgestimmt. Diese sind in Abbildung 12 veranschaulicht. Hierzu zählen neben den Walzendrehzahlen der drei Aufnahmewalzen der Anstellwinkel der Aufnahme, die Drehzahlen der Walzen am „VarioCleaner“ sowie die Stellungen des Siebbandes und der Rübenbremse.

Variante	Intensität Aufnahme/ VarioCleaner	Drehzahl der Aufnahme %	Anstellwinkel Aufnahme	Drehzahl VarioCleaner Walzen %	Stellung Siebband VarioCleaner	Stellung Rübenbremse
1	sanft/sanft	50/60/65	flach	60	aktiv	inaktiv
2	sanft/intensiv	50/60/65	flach	100	inaktiv	aktiv
3	intensiv/intensiv	50/100/100	steil	100	inaktiv	aktiv
4	intensiv/sanft	50/100/100	steil	60	aktiv	inaktiv
5	mittel/sanft	50/85/80	mittel	60	aktiv	inaktiv

Abbildung 12: Einstellungen der Reinigungsaggregate in den Versuchsvarianten. Quelle: Eigene Darstellung, 2020

Während des Versuchs wurden ebenfalls die festen Einstellungen vermerkt. Fixiert waren die Fahrgeschwindigkeit von 85 m/h, sowie die Motordrehzahl von 1150 U/min, die Geschwindigkeit des Bauchgurtes von 90% und die Geschwindigkeit des Überladers von 75%.

Nachdem der Reinigungsader ausgeklappt war, wurde der erste LKW verladen. Dieser Verladevorgang des Mietenkopfes wurde, wie auch weitere zur Umstellung der Intensitäten, nicht beprobt. Alle weiteren LKW wurden zur Rückverfolgbarkeit mit einer Nummer versehen und die zugehörigen Lieferscheinnummern notiert. Um eine höhere Genauigkeit der Messwerte zu erzielen und das Ergebnis der abgereinigten Erde berechnen zu können, wurden die nummerierten LKW bei Ankunft in der Fabrik doppelt beprobt. Eine Probe besteht dabei aus einer Menge von 40-50 kg die automatisch vom LKW entnommen wird.

Unter dem ausgeschwenkten „VarioCleaner“ wurde ein Rübenvlies platziert, welches normalerweise zur Abdeckung der Mieten verwendet wird, um das abgereinigte Material aufzufangen (siehe Abbildung 13). Dort wurde das Material nach der Verladung mithilfe von Schaufeln und Forken per Hand in beschrifteten Kübeln gesammelt und am Ende des Tages zur Beprobung in die Zuckerfabrik gefahren. Während und nach der Verladung musste das Vlies entsprechend des Vorschubs des Reinigungsaders nachgeführt werden, um Auffangverluste zu vermeiden. Für jeden Verladeabschnitt wurden die Reinigungseinstellungen entsprechend der Planung angepasst und verändert



Abbildung 13: Versuchsaufbau mit Vlies unter dem „VarioCleaner“ und Versuchskübeln. Quelle: Eigene Aufnahme, 2019

Die Beprobung des abgereinigten Materials in den Kübeln erfolgte im „Rüpro“ der Zuckerfabrik in Nordstemmen. Dort wurden die Kübel gewogen und anschließend mit Wasser gefüllt, um die Erde einweichen zu lassen. Anschließend gelangte das Material über einen kleinen Aufzug in die Waschmaschine, die normalerweise zum Abwaschen der Erde an den beprobten Rüben genutzt wird. Da sich in den Proben nur Erde, Rübenbruchstücke und Rübenblatt befanden, wurde das Material bei doppelter Waschzeit gereinigt. Separiert wurde dadurch ein Gemisch aus Rübenblatt, -bruch und einigen Erdklumpen. Die Bestandteile wurden sortiert und getrennt gewogen, sodass aus den Wiegedaten Werte für den Erdanteil, den Blatt- und Bruchanteil der einzelnen Varianten ermittelt werden können. In Kombination mit dem Erdanteil der Miete und den Daten aus der Beprobung der LKW lassen sich Gesamtabreinigungsleistungen, Leistungen der einzelnen Aggregate, sowie Leistungen anteilig an der verladenen Rübenmenge berechnen. Diese lassen sich mit den Rübenbruchanteilen vergleichen.

Zur weiterführenden Betrachtung wurden zudem Korrelationen verglichen und Signifikanztests mit dem statistischen Auswertungsprogramm SPSS beschrieben. Hierbei erfolgte eine Auswertung von 455 Daten in 34 Kategorien.

6 Ergebnisse

6.1 Gesamterdabreinigung des Rübenreinigungsladers

Aus dem Versuch gehen bezüglich der Gesamterdabreinigungsleistung des Rübenreinigungsladers (RRL) die Daten in Abbildung 14 hervor:

Parzelle	Variante	Einstellung Aufnahme	Einstellung VarioCleaner	Erdanteil Miete in %	Erdanteil LKW in %	Erdabreinigung durch RRL in %	Abreinigung Erde RRL gesamt in kg
1	2	sanft	intensiv	18,95	8,70	10,25	2761
2	3	intensiv	intensiv	18,95	9,20	9,75	2687
3	5	mittel	sanft	18,95	9,20	9,75	2658
4	4	intensiv	sanft	18,95	9,20	9,75	2588
5	1	sanft	sanft	18,95	10,70	8,25	2199
6	3	intensiv	intensiv	18,95	9,70	9,25	2494
7	5	mittel	sanft	18,95	8,20	10,75	2907
8	2	sanft	intensiv	18,95	8,70	10,25	2763
9	4	intensiv	sanft	18,95	8,20	10,75	2881
10	1	sanft	sanft	18,95	9,70	9,25	2492
11	2	sanft	intensiv	18,95	7,70	11,25	2968
12	4	intensiv	sanft	18,95	9,20	9,75	2617

Abbildung 14: Versuchsergebnisse zur Gesamterdabreinigungsleistung des RRL nach Parzellen. Quelle: Eigene Darstellung 2020

Die Differenz aus dem beprobten Erdanteil in der Miete und dem in der Fabrik ermittelten Erdanteil auf dem LKW ergibt die Erdabreinigung des Rübenreinigungsladers in Prozent bezogen auf die verladene Rübenmenge. Der Mietenerdanteil lag im Versuch bei 18,95 %. Die Erdanteile der Rübenladung auf den LKW betrugen zwischen 8,2 % und 10,7 %. Der Durchschnitt der ermittelten Erdabreinigung des Rübenreinigungsladers im Versuch lag bei 9,92 % während sich der Wertebereich von 8,25 % bis 11,25 % erstreckte.

Die höchste durchschnittliche Erdabreinigungsleistung erreichte die Einstellung sanft/intensiv aus Variante 2 mit 10,58 %. Darauf folgte Variante 5 in der Einstellung mittel/sanft mit einem Durchschnitt von 10,25 %, sowie Variante 4 mit der Einstellung intensiv/sanft mit einem Durchschnitt von 10,08%. Die geringsten Erdabreinigungsleistungen erzielten Variante 3 in der Einstellung intensiv/intensiv mit einem Durchschnitt von 9,5 % und Variante 1 in der Einstellung sanft/sanft mit einem Durchschnitt von 8,75 %.

Zur Analyse der Daten wurden zusätzlich Korrelationen berechnet. Die Berechnung ergab im vorliegenden Versuchsabschnitt keine signifikante Korrelation zwischen den Einstellungen der Aufnahme und des „VarioCleaners“ in Bezug auf die Erdadbreinigungsleistung.

Aus der nachfolgenden Abbildung 15 der Schwankungsbereiche der Gesamterdadbreinigung in den Varianten werden sowohl die Variationen innerhalb einer Variante, als auch dieselben zwischen den Varianten ersichtlich. Die höchste Abreinigungsleistung erzielte die Variante sanft/intensiv.

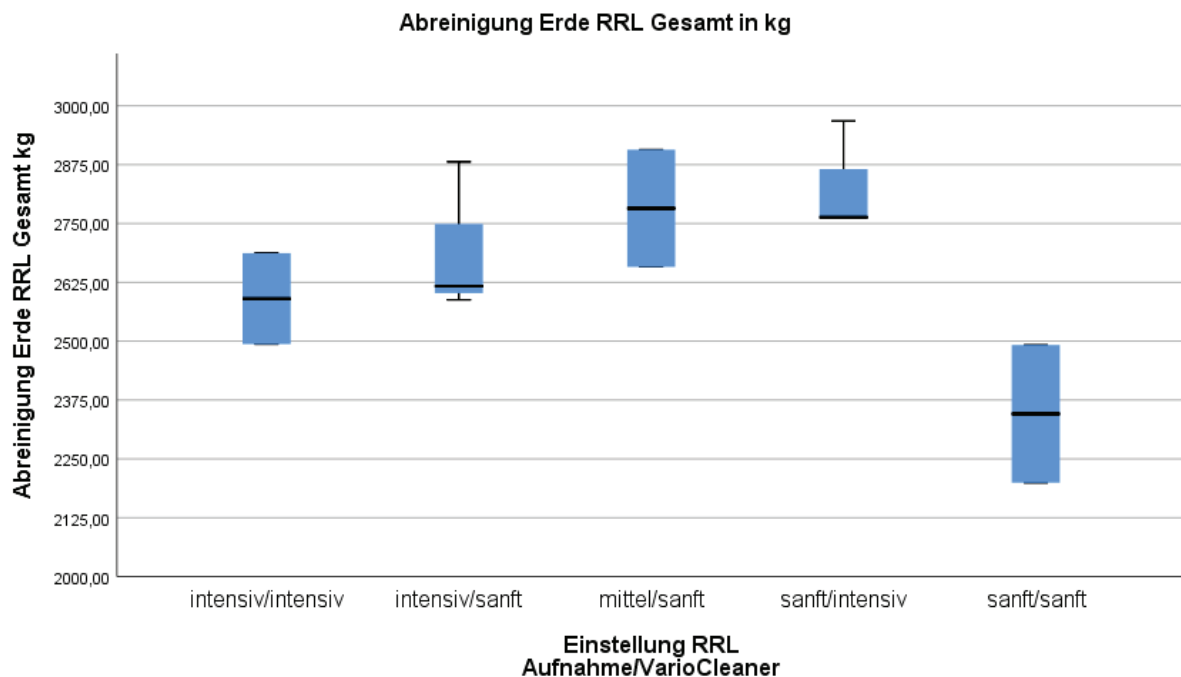


Abbildung 15: Darstellung der Schwankungsbereiche der Gesamterdadbreinigung in kg in den Versuchsvarianten.
Quelle: Eigene Darstellung, 2020

Die größten Abweichungen in der Versuchsdurchführung erzielte die Variante sanft/sanft mit etwa 300 kg. Dies entspricht einer Abweichung von etwa 6 % vom Mittelwert. Die geringste Schwankung ergab die Variante intensiv/intensiv mit ca. 200 kg, was einer Schwankung von ca. 4 % um den Mittelwert entspricht.

6.1.1 Mietenerdabreinigung anteilig nach Aggregaten

Um die erhobenen Daten qualitativ zu verwerten wurde zunächst die Gesamtabreinigungsmenge errechnet. Dazu wurde der Erdanteil der Miete erhoben. Die Gesamtmenge an abgereinigter Erde ist das Ergebnis der Differenz aus Erdanteil Miete und dem gemessenen Erdanteil der LKW-Ladung, die abgeliefert wurde. Um die Reinigungsleistung des Reinigungsladers näher zu analysieren, wurde die Differenz aus der Gesamtreinigungsleistung der Maschine und der ermittelten Reinigungsmenge des VarioCleaners gebildet woraus sich die Abreinigungsleistungen der Aufnahme, des Bauchgurts und des Überladers gesamtanteilig ableiten lassen.

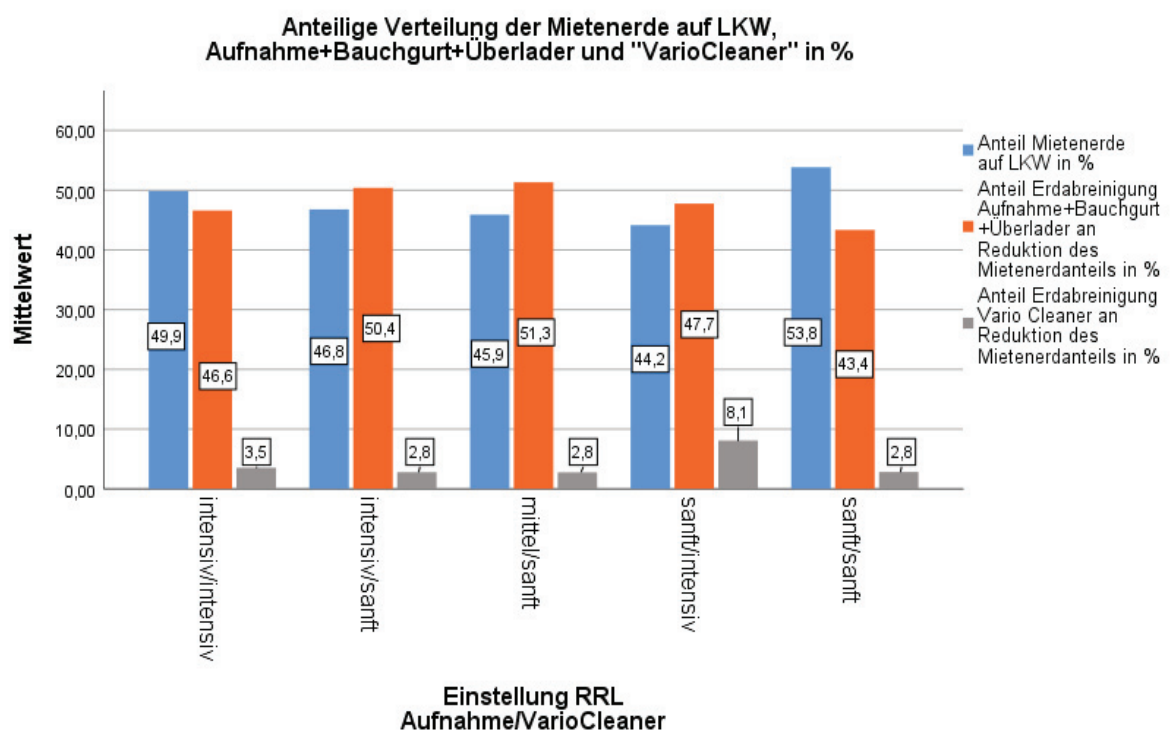


Abbildung 16: Darstellung der Mittelwerte der prozentualen Verteilung der Mietenerde auf den LKW, die Aufnahme+Bauchgurt+Überlader und den "VarioCleaner" während des Reinigungsvorgangs in den Versuchsvarianten. Quelle: Eigene Darstellung, 2020

Abbildung 16 der anteiligen Verteilung der Mietenerde zeigt an, welchen Stellen der Reinigung die höchsten Erdanteile abgereinigt wurden bzw. verblieben sind. Hierbei wird deutlich, dass mit 2,8 % bis 8,1 % der geringste Anteil der Mietenerde durch den „VarioCleaner“ abgereinigt wird. Je nach Reinigungsvariante übersteigt oder unterschreitet der Mietenerdanteil auf dem LKW den der Abreinigung durch Aufnahme, Bauchgurt und Überlader. Auffällig ist, dass der „VarioCleaner“ in allen Varianten bei sanfter Einstellung 2,8 % Abreinigungsleistung am Mietenerdanteil zeigt.

Die Summe aus der abgereinigten Erdmenge des „VarioCleaners“ und den anderen Aggregaten ergibt die Gesamterdabreinigungsleistung bezogen auf den Mietenerdanteil. Diese lag in den Versuchsvarianten zwischen 46,2 % in der Variante sanft/sanft und 55,8 % in der Variante sanft/intensiv.

Somit ist der RRL maximal in der Lage etwa die Hälfte der in der Miete befindlichen Erde abzureinigen.

6.1.2 Erdabreinigungsanteil der Reinigungsaggregate an der Gesamterdabreinigung

Aus Abbildung 17 gehen die Reinigungsleistungen der Aggregate in den Varianten hervor. Der „VarioCleaner“ zeigte in der sanften Einstellung geringe Abweichungen und reinigte zwischen 5 % und 6,1 % der Gesamterde ab. In der intensiven Einstellung stieg der Anteil auf 7,1 % bis zu 14,4 % maximalem Abreinigungsanteil. Die Anteile der Aufnahme, des Bauchgurtes und des Überladers lagen in den intensiven Varianten zwischen 92,9 % und 94,7 % und in den sanften Varianten zwischen 85,6 % und 95,0 %.

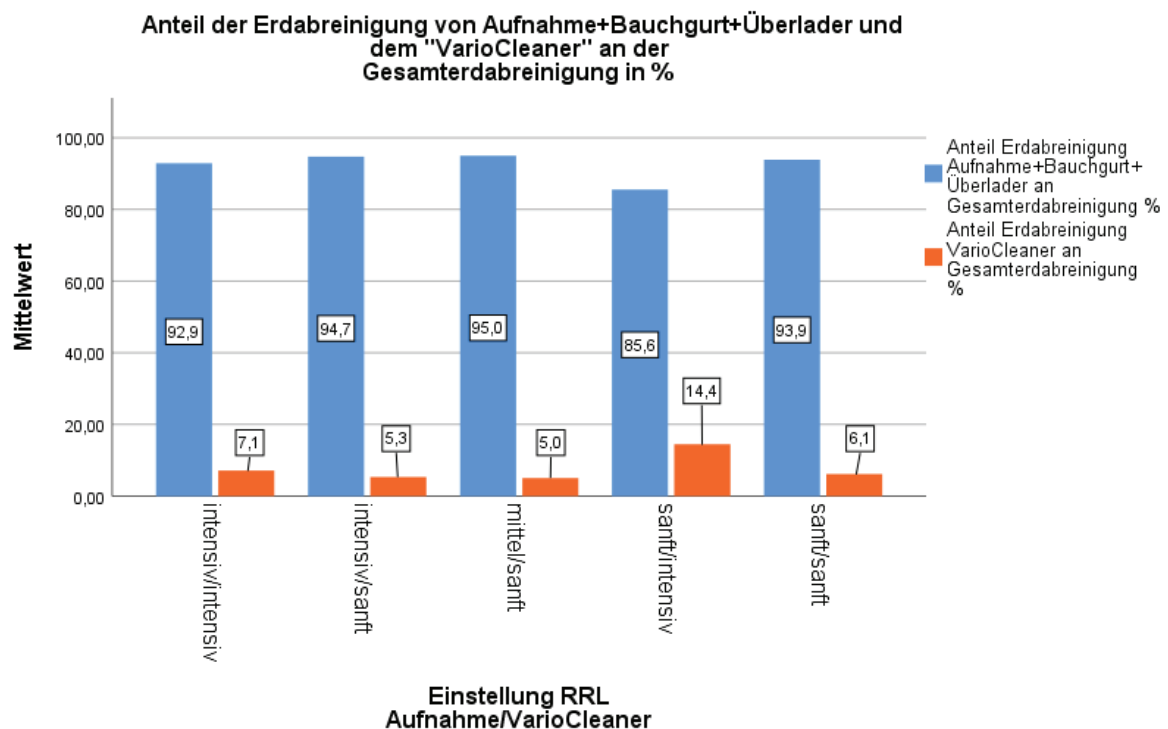


Abbildung 17: Darstellung der Mittelwerte der prozentualen Anteile der Erdabreinigung von Aufnahme+Bauchgurt+Überlader und "VarioCleaner" an der Gesamterdabreinigung in den Versuchsvarianten.
Quelle: Eigene Darstellung, 2020

6.2 Abreinigungsleistungen des „VarioCleaner“ pro verladener Menge

6.2.1 Abreinigung des „VarioCleaner“ nach abgereinigter Materialart

Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse des unter dem „VarioCleaner“ aufgefangenen Materials. Variantenübergreifend besteht das Abreinigungsgemenge hauptsächlich aus Erde und geringen Mengen Rübenbruch, sowie Rübenblatt.

Die höchste Erdbereinigungsleistung verzeichnete die Variante sanft/intensiv mit 410 kg (Balkenende außerhalb des Diagrammbereichs). Das entspricht dem doppelten durchschnittlichen Wert der Erdbereinigungsleistung von 205 kg. Auch die abgereinigte Bruchmenge war in dieser Variante mit 60 kg am höchsten. Damit lag der Wert in dieser Variante 2,2-fach über dem Durchschnitt von 25,8 kg.

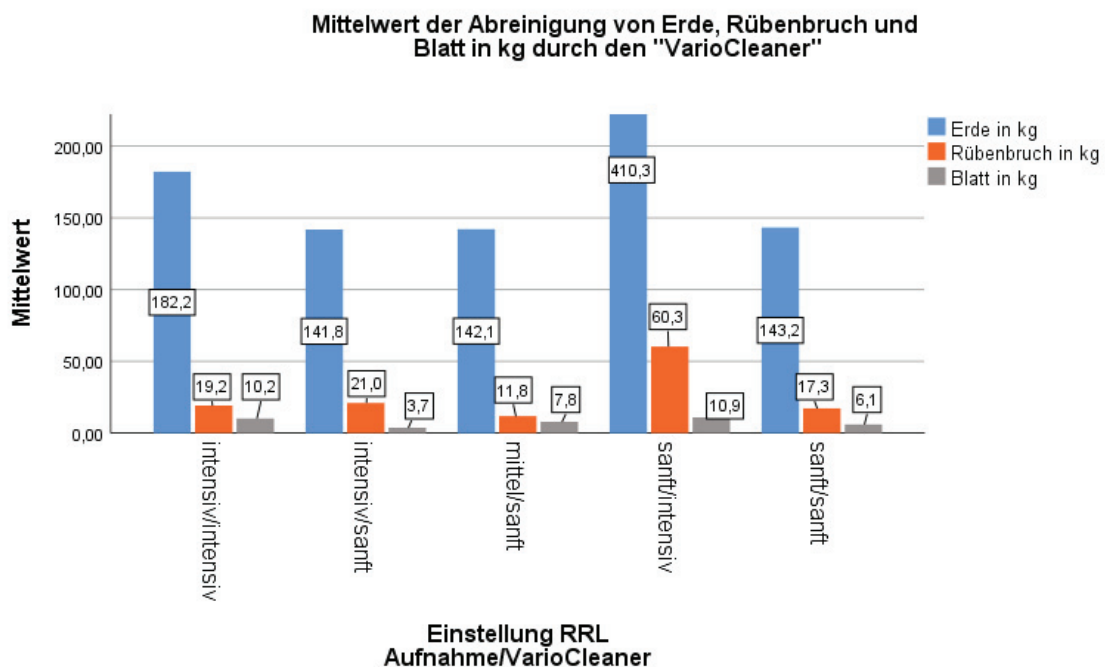


Abbildung 18: Darstellung der Mittelwerte der Abreinigung von Erde, Rübenbruch und Rübenblatt in kg durch den "VarioCleaner" in den Versuchsvarianten. Quelle: Eigene Darstellung, 2020

Auffällig sind in dieser Darstellung die im Unterschied zur Erdbereinigungsleistung schwankenden Blatt- und Bruchabreinigungen in den sanften Varianten des „VarioCleaners“. Diese schwanken im Bereich Rübenbruch zwischen 11,8 kg in der Variante mittel/sanft, die damit variantenübergreifend den geringsten Wert darstellt, und 21 kg in der Variante intensiv/sanft. Im Vergleich der drei sanften „VarioCleaner“-Einstellungen hat die Variante mittel/sanft die geringste Bruchabreinigung und die höchste Blattabreinigung.

6.2.2 Erdabreinigung am „VarioCleaner“

In der folgenden Abbildung 19 sind die Schwankungsbereiche der Erdabreinigung in den Versuchsvarianten dargestellt. Der Anteil des „VarioCleaners“ an der abgereinigten Erdmenge insgesamt liegt mit etwas über 0,5 % im Durchschnitt pro verladener Rübenmenge auf einem niedrigen Niveau. Als Ausreißer lässt sich der Wert der Variante sanft/intensiv mit 1,5 % betiteln. Die Schwankungsbereiche in den einzelnen Versuchsvarianten betrugen ca. 0,3 % in den Varianten intensiv/intensiv, mittel/sanft und sanft/intensiv. Die Schwankungsbereiche in den Varianten intensiv/sanft und sanft/sanft sind minimal, unter 0,1 %.

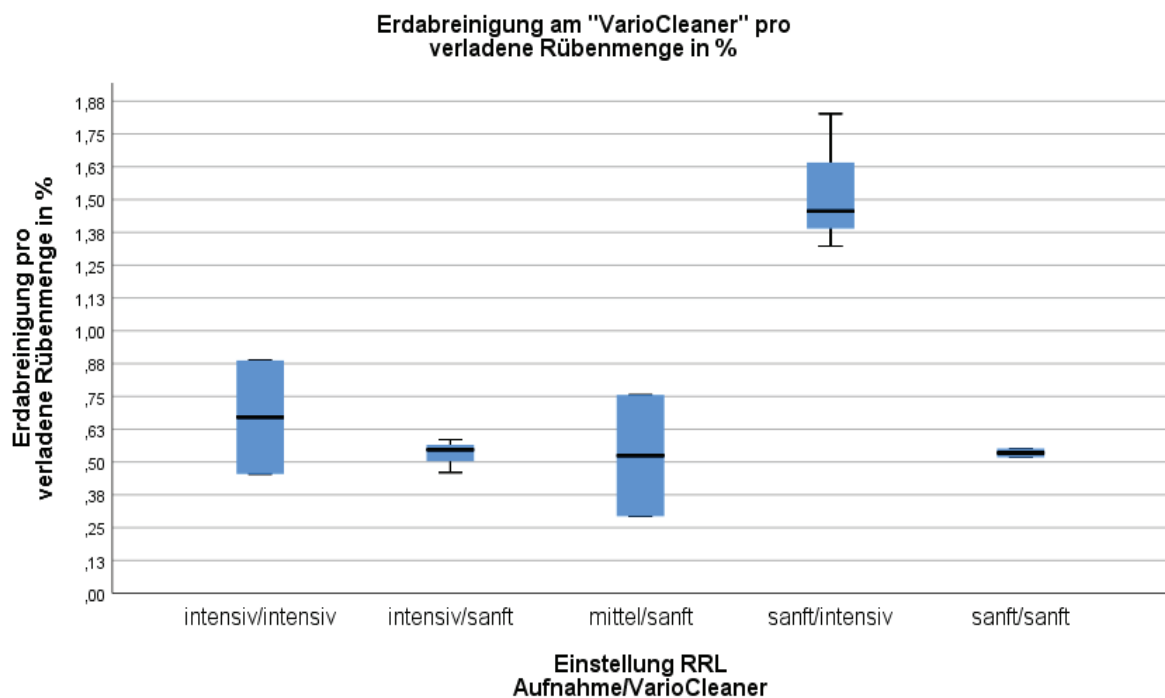


Abbildung 19: Darstellung der Erdabreinigung am "VarioCleaner" anteilig an der verladenen Rübenmenge in den Versuchsvarianten in %. Quelle: Eigene Darstellung 2020

Auffällig an dieser Darstellung ist, dass die Schwankungen innerhalb einer Varianten, ausgenommen der beiden minimal schwankenden Varianten, mit bis zu 50 % relativ hoch ausfallen.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass sich die abgereinigte Erdmenge in den Varianten bei sanfter „VarioCleaner“-Einstellung trotz wechselnder Vorreinigung nicht drastisch unterscheiden.

6.2.3 Abgereinigter Rübenbruch am „VarioCleaner“

Die Anteile des Rübenbruchs an der verladenen Rübenmenge sind in der folgenden Abbildung 20 dargestellt. Durchschnittlich liegen die Werte bei ca. 0,07 % Rübenbruch unter dem „VarioCleaner“. Die Variante sanft/intensiv stellt mit durchschnittlich 0,22 % und einem Schwankungsbereich von etwa 0,15 % einen Ausreißer dar. Die Schwankungsbereiche der anderen Varianten liegen zwischen 0,03 % und 0,05 %.

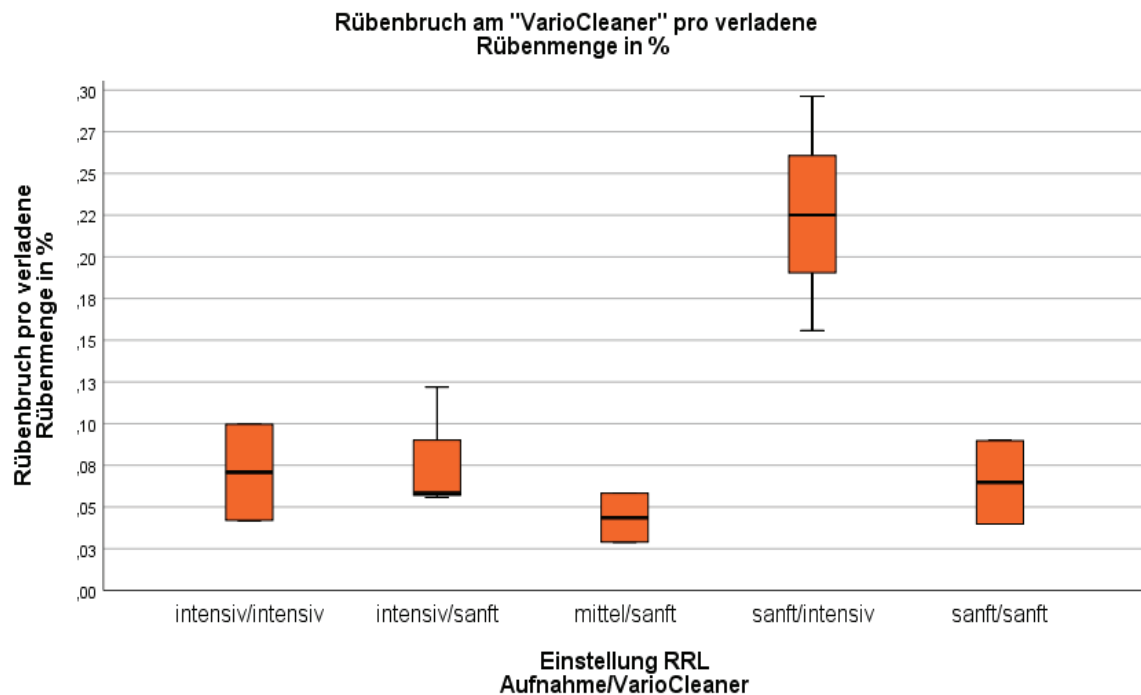


Abbildung 20: Darstellung des Rübenbruchs am "VarioCleaner" anteilig an der verladenen Rübenmenge in den Versuchsvarianten in %. Quelle: Eigene Darstellung, 2020

Den größten Unterschied in der Rübenbruchabreinigung außerhalb der Variante sanft/intensiv stellt die Variante mittel/sanft dar. Der Rübenbruch in dieser Variante lag mit etwa 0,045 % im Durchschnitt nur halb so hoch wie in den anderen Varianten.

Auffällig in dieser Darstellung ist, dass sich die ermittelten Rübenbruchmengen in der Variante sanft/sanft und intensiv/intensiv kaum voneinander unterscheiden. Auch die Werte der Variante intensiv/sanft weichen nur leicht nach oben von den erwähnten Varianten ab.

6.2.4 Abgereinigtes Rübenblatt am „VarioCleaner“

Die nachfolgende Abbildung 21 stellt die Menge des abgereinigten Rübenblattes pro verladene Rübenmenge dar. Die Schwankungsbereiche in den Varianten waren in den Varianten intensiv/intensiv und sanft/intensiv mit bis zu 0,05 % und 50 % um den Durchschnitt am höchsten. Die abgereinigte Menge war im Durchschnitt in den Varianten mit intensiver „VarioCleaner“ Einstellung am stärksten ausgeprägt. Vor allem die Einstellungen intensiv/sanft und sanft/sanft lieferten geringe Streuungen und geringe Abreinigungsleistungen von etwa 0,02 %.

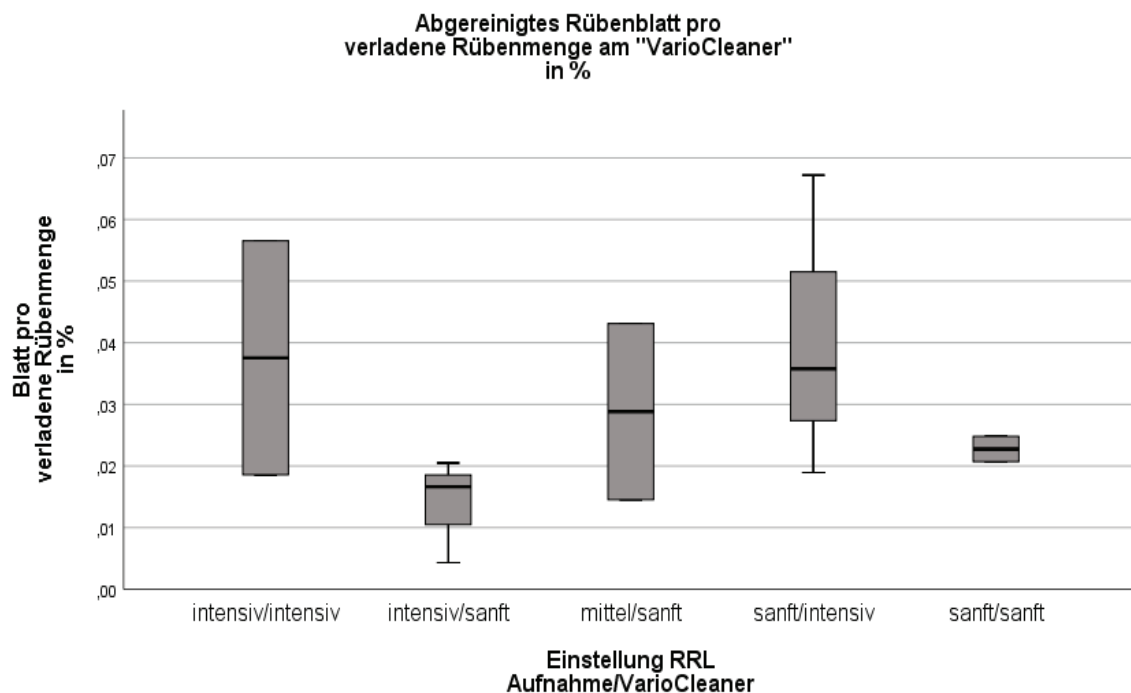


Abbildung 21: Darstellung des abgereinigten Rübenblattes am "VarioCleaner" anteilig an der verladenen Rübenmenge in %. Quelle: Eigene Darstellung, 2020

Die Varianten intensiv/intensiv und sanft/intensiv weisen einen sehr ähnlichen Streuungsbereich und Mittelwert auf. In den sanften Einstellungen des „VarioCleaners“ schwanken die Abreinigungsmengen des Rübenblattes im Durchschnitt sehr deutlich und auch der Schwankungsbereich der einzelnen Varianten weist deutliche Unterschiede auf.

6.3 Ergebnisse der Korrelationsanalyse

Mithilfe des Statistikprogramms „SPSS“ wurden Korrelationsanalysen zu den im Versuch beprobten Merkmalen erstellt. Auf Grundlage der erhaltenen Werte entstanden die nachfolgenden Analysen.

6.3.1 Verhältnis von Erdabreinigung und Bruchverlusten am „VarioCleaner“

Aus der Korrelationsanalyse ging eine Korrelation nach Pearson von 0,945 mit einer zweiseitigen Signifikanz auf dem Niveau von 0,01 zwischen dem ermittelten Rübenbruch pro kg in der Parzelle und der ermittelten Erde in kg in der Parzelle unter dem „VarioCleaner“ hervor. Dies weist auf einen starken statistischen Zusammenhang der beiden Größen hin, der einer direkten Abhängigkeit sehr nahe kommt.

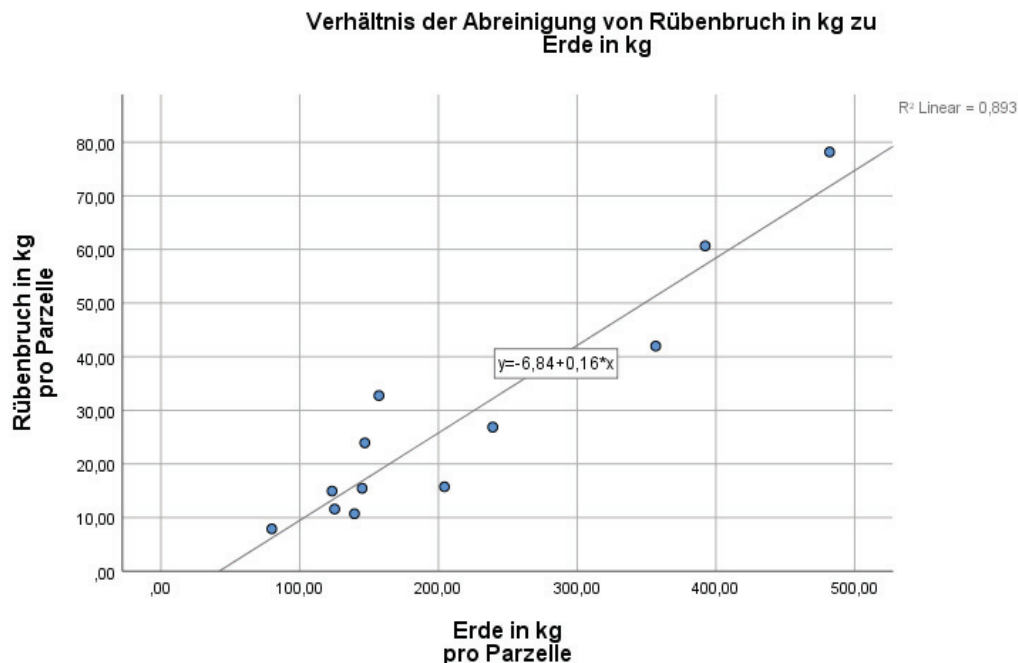


Abbildung 22: Darstellung des Verhältnisses der Abreinigung des Rübenbruchs in kg zur abgereinigten Erde in kg mit Regressionsgerade. Quelle: Eigene Darstellung, 2020

Wie in Abbildung 22 deutlich zu erkennen ist, handelt es sich bei der Korrelation um eine lineare Abhängigkeit. Die Funktion der Geraden lautet $y = -6,84 + 0,16x$. Das bedeutet, dass variantenübergreifend bei einer Steigerung der Erdabreinigungsleistung durch den „VarioCleaner“ eine Erhöhung der Bruchverluste einhergeht. Diese beläuft sich bei 200 kg Erdabreinigung auf Bruchverluste von 25,16 kg. Bei 150 kg Erdabreinigung ergeben sich 17,16 kg Bruch. Pro 50 kg Erdabreinigung am „VarioCleaner“ entstehen also Bruchverluste von 8 kg. Beachtet werden muss hierbei allerdings der Nullpunkt des Rübenbruchs bei 42,8 kg Erdabreinigung.

6.3.2 Verhältnis der Einstellung des „VarioCleaners“ zur Abreinigungsqualität

Die Korrelationsanalyse ergab in Bezug auf die Einstellung des „VarioCleaner“ mehrere signifikante Korrelationen. Zur Analyse wurden die Einstellungen ordinalskaliert nach ihrer Intensität geordnet.

Die erste Korrelation bezieht sich auf das Verhältnis der Einstellungsintensität und der abgereinigten Erde in kg pro Parzelle. Hierfür wies die Analyse eine Korrelation von 0,718 bei einem einprozentigen Signifikanzniveau auf.

Die nächste Korrelation bezieht sich auf das Verhältnis von „VarioCleaner“ Einstellung und Rübenbruch in kg pro Parzelle. Diese Korrelation von 0,624 wies eine Signifikanz im fünfprozentigen Niveau auf.

Die letzte Korrelation in diesem Bereich beschreibt die Beziehung zwischen Einstellungsintensität und Anteil der Erdbereinigung des „VarioCleaner“ an der Reduktion der Mietenerde. Diese stellte sich mit 0,711 und einer Signifikanz auf dem Niveau von 0,01 dar.

6.3.3 Verhältnis abgereinigtes Blatt zu Bruchverlusten

Aus der Korrelationsanalyse ging eine signifikante Korrelation von -0,651 des abgereinigten Rübenblatts in Prozent der Parzelle zum prozentualen Rübenbruchanteil in der Parzelle hervor. Diese negative Korrelation wies ein Signifikanzniveau von fünf Prozent auf.

6.3.4 Korrelationen der Aufnahme+Bauchgurt+Nachreiniger

Aus der Analyse der ermittelten Daten der Anteile der Aufnahme, des Bauchgurtes und des Überladers in Kombination an der Gesamtabreinigung ergaben sich Korrelationen mit der Einstellung des „VarioCleaners“.

Die Anteile der erwähnten Reinigungsaggregate an der Gesamterdbereinigung korrelieren mit dem Wert -0,730 mit der Einstellung des „VarioCleaners“. Diese Korrelation weist ein Signifikanzniveau von einem Prozent auf.

Des Weiteren korreliert der Anteil der erwähnten Aggregate mit der Gesamterdbereinigung des Rübenreinigungsladers. Diese Korrelation mit einem Wert von 0,836 und einem einprozentigen Signifikanzniveau ergab sich ebenfalls aus der Korrelationsanalyse.

6.3.5 Verhältnis von Erdanteil auf dem LKW zu Erdabreinigung der Aufnahme mit Bauchgurt und Nachreiniger

Die Aufnahme, der Bauchgurt und der Überlader des Rübenreinigungsladers korrelieren signifikant auf einem einprozentigen Niveau mit dem Erdanteil auf dem LKW. Die Korrelationsanalyse ergab einen Wert von -0,807. Zum Vergleich: Der Wert der Analyse des Erdanteils auf dem LKW zum „VarioCleaner“ lag bei -0,52 ohne Signifikanzniveau.

7 Diskussion

Die Ergebnisse aus dem Praxisversuch lieferten zum Teil die erwarteten Ergebnisse und Tendenzen, andererseits brachten sie auch neue Erkenntnisse oder warfen neue Fragen auf die im Folgenden diskutiert werden sollen.

7.1 Gesamterdabreinigung des Rübenreinigungsladers

Erwartet wurden im Allgemeinen für die Gesamterdabreinigung höhere Werte bei steigender Walzendrehzahl, bzw. bei steigender Intensität der Einstellungen von Aufnahme und „VarioCleaner“. Hinzu kommen die Erfahrungen aus dem Versuch des Vorjahres, in dem eine höhere Reinigungsleistung der Aufnahme aufgrund der größeren Abscheidefläche ermittelt werden konnte (Rogge, 2019). Dementsprechend wäre die höchste Erdabreinigung in der Variante intensiv/intensiv zu erwarten gewesen. Die Gesamtabreinigungsleistung eines Reinigungsladers liegt laut *Steensen* bei über 50 % des Mietenerdanteils. Dies konnte im Versuch bestätigt werden

Anders als erwartet lag die höchste Erdabreinigungsleistung in Variante 2. Der „VarioCleaner“ lief in dieser Variante in intensiver Einstellung, die Aufnahme jedoch in sanfter Einstellung. Die intensivste Einstellung lieferte nur die vorletzte Erdabreinigungsleistung in den Versuchsvarianten. Diese Erkenntnisse erzielte auch *BORCHARD* (1998). Die Zunahme der Erdabreinigung nimmt bei steigender Reinigungsintensität ab, bis sie letztendlich negativ wird und zu geringeren Abreinigungen führt. Wie erwartet bildet Variante 1 mit der Einstellung sanft/sanft die geringste Erdabreinigungsleistung ab.

Wechselnde Erdanteile in der Miete könnten einen Grund für die unerwarteten Ergebnisse darstellen. Die Beprobung der Mietenerde wurde an mehreren Stellen vorgenommen, allerdings sind aufgrund unterschiedlicher Bodenverhältnisse und damit Rodebedingungen auf einem Schlag auch wechselnde Erdanteile in der Miete zu erklären. *HOFFMANN*

beschreibt diesen Zusammenhang mit dem signifikant zunehmenden Einfluss des Erdanteils im Rodeprozess bei steigendem Tonanteil im Boden.

Die ermittelten Werte aus der Beprobung der Miete stellen somit einen Durchschnitt dar, mit Schwankungen ist allerdings zu rechnen. Hinzu kommt die geringe Wiederholungszahl bei der Beprobung der LKW. Diese wurden in der Zuckerfabrik zweifach durch die automatische Stechprobenanlage beprobt. Häufigere Beprobungen sind zur endgültigen, statistischen Absicherung der Ergebnisse notwendig, waren im laufenden Betrieb jedoch zum Zeitpunkt des Versuchs nicht zu realisieren.

Die Erfahrung der Zuckerfabrik bestätigt jedoch, dass der Erdanteil über die gesamte LKW-Ladefläche bei vorgereinigten Rüben nur geringfügig schwankt, selbst bei höheren Erdanteilen (Hesse, 2020).

Diesem Erfahrungswert stehen allerdings die relativ geringen Abweichungen innerhalb der einzelnen Varianten gegenüber. Die Abweichungen vom Mittelwert liegen zwischen vier und sechs Prozent. Der Median wiederum zeigt in den Varianten mit drei Wiederholungen eine Tendenz zu den jeweils niedrigeren Wertebereichen im Schwankungsbereich. Bei einer Erhöhung der Wiederholungszahl wäre somit mit Werten zu rechnen, die tendenziell niedriger als der Durchschnittswert ausfallen.

Vergleicht man die Versuchsergebnisse hinsichtlich der Einstellung des „VarioCleaners“, so ist bei sanfter Aufnahmeeinstellung der deutliche Effekt des Anstiegs der Gesamterdabreinigung bei intensiver Einstellung des „VarioCleaners“ im Vergleich zur sanften Variante zu erkennen. Die Differenz der arithmetischen Mittel beträgt etwa 430 kg.

Bei intensiver Einstellung der Aufnahme sind die Unterschiede zwischen den beiden Einstellungen des Nachreinigers deutlich geringer und entsprechen 75 kg. Betrachtet man in diesem Fall die Mediane beider Varianten, so fällt auf, dass diese kaum voneinander abweichen. Der Median in der Einstellung intensiv/intensiv entspricht aufgrund der zweifachen Wiederholung dem arithmetischen Mittel von etwa 2600 kg, der Median der Variante intensiv/sanft liegt bei etwa 2625 kg. Im Vergleich der Werte zeigt sich, dass sich die Einstellungen dieser beiden Varianten in Bezug auf die Gesamterdabreinigung kaum unterscheiden. Ein Grund dafür könnte sein, dass bei intensiver Aufnahmeeinstellung die Reinigung der Rüben maschinentechnisch soweit abgeschlossen ist, dass auch eine intensive Nachreinigung keine weiteren Effekte auf die Gesamterdabreinigung erreicht.

Eine im Durchschnitt der Varianten höhere Gesamterdabreinigung als die intensivste Variante intensiv/intensiv erzielte die Variante mittel/sanft. Dies entspricht ebenfalls den Ergebnissen von *BORCHARD* (1998) Das arithmetische Mittel liegt bei etwa 2800 kg und somit 200 kg über dem der intensivsten Variante. Die Variante mittel/sanft wurde in zweifacher Wiederholung durchgeführt, deshalb bildet der Median gleichzeitig das arithmetische Mittel ab. Der Wertebereich entspricht nahezu dem der Variante intensiv/sanft. Somit führt eine Intensivierung der Walzendrehzahl von mittel auf intensiv nicht zwangsläufig zu einer erhöhten Erdabreinigungsleistung.

7.2 Gesamterdabreinigung anteilig nach Aggregaten

Betrachtet man die Abreinigung der einzelnen Aggregate im Vergleich zum abgereinigten Mietenerdanteil, so wird deutlich, dass in vier von fünf Varianten die Abreinigungsleistung bei über 50% der Mietenerde lag. Nur in der Variante sanft/sanft fiel der Anteil geringer aus. Insgesamt konnten durch veränderte Intensitäten Steigerungen der Reinigungsleistungen von bis zu 9,6% erreicht werden.

Die Aufnahme des Rübenreinigungsladers konnte im Rahmen des Versuch im Vergleich zum „VarioCleaner“ weitaus höhere Abreinigungsergebnisse erzielen. Dies ist vor allem auf die bauartbedingte Größe der Aufnahme und die damit verbundene höhere Reinigungsfläche zurückzuführen. Wendet man in diesem Fall das von *Degen* verwendete Wirkflächenmodell an, so ist festzustellen, dass die Zwick- oder Wendelwalzen einen deutlich höheren Löseflächenanteil, als Trennflächenanteil aufweisen. Dieser Effekt wird im Verhältnis von Aufnahme zu „VarioCleaner“ aufgrund der unterschiedlichen Reinigungsflächen noch verstärkt. Des Weiteren hat neben der Intensität der Reinigungseinstellung ausschließlich der Mietenerdanteil Auswirkungen auf die mögliche Erdabreinigungsmenge. Die Erdabreinigungsleistung des „VarioCleaner“ hingegen beeinflusst zusätzlich die durch die Aufnahme abgereinigte Erdmenge.

Da die Maschine in den Intensitäten mit fest eingestellten Drehzahlen der Walzen und Siebbänder gefahren wurde, ist ein Vergleich der Abreinigungsleistungen aggregatspezifisch auch über mehrere Varianten mit gleicher Intensität möglich.

Die Erdabreinigungsleistung der Aufnahme variiert bei intensiver Einstellung in den Durchschnittswerten der Varianten um 3,8 %. Bei sanfter Einstellung der Aufnahme beträgt die Varianz der Durchschnittswerte 4,3 %. Die höchste Erdabreinigungsleistung der Aggregate erzielte die Aufnahme bei mittlerer Intensität. Mit 51,3 % liegt der Wert 2,8 % über dem Durchschnitt der intensiven Einstellungen von 48,5 % und 5,8 % über dem der

sanften Einstellungen von 45,5 %. Die geringen Variationen zwischen den Intensitäten könnten ein Indiz dafür sein, dass die Variation des Erdanteils in der Miete und die nur zweifache Beprobung in der Fabrik eine größere Auswirkung auf das Reinigungsergebnis haben, als die Variation in der Intensität des Reinigungsladers.

Vergleicht man die Erdabreinigungsleistungen des „VarioCleaners“ bei gleichen Einstellungen in den Varianten miteinander, so fällt auf, dass alle drei Varianten mit sanfter Einstellung 2,8% der Mietenerde abgereinigt haben. Unabhängig von der Einstellung der Aufnahme veränderte sich das Verhältnis nicht, obwohl das in dieser Einstellung verwendete Siebband am „VarioCleaner“ mit verschiedenen Erdmengen durch die Aufnahme beschickt wurde. Diese Daten lassen darauf schließen, dass die Abreinigungsleistung des Siebbandes zwar mit dem Erdanteil der Miete sinkt oder steigt, das Verhältnis aber stets annähernd gleich bleibt und somit auf eine begrenzte Abreinigungsleistung auf niedrigem Niveau im Vergleich zur Aufnahme geschlossen werden kann. Deutlich wird dies vor allem in der Variante sanft/sanft, in der die Aufnahme den niedrigsten Abreinigungsanteil im Versuch aufweist, der Anteil des „VarioCleaners“ aber nicht ansteigt.

Bei intensiver Einstellung des „VarioCleaner“ stiegen die Anteile an der abgereinigten Mietenerde über das Niveau der sanften Einstellung. Die Zwickwalzen des „VarioCleaners“ erreichen einen Abreinigungsanteil von 3,5-8,1%. Der hohe Anteil von 8,1 % ist auf die sanfte Aufnahmeeinstellung und die intensivere Reinigungseinstellung des „VarioCleaner“ zurückzuführen. Somit ist auch die Abnahme des Abreinigungsanteils des „VarioCleaners“ zwischen den Varianten sanft/intensiv und intensiv/intensiv zu erklären. Das geringere Abreinigungspotential, aufgrund höherer Abreinigungsleistungen der Aufnahme führt zu weniger Erde auf den Reinigungsaggregaten des „VarioCleaner“.

7.3 Erdabreinigungsanteil der Reinigungsaggregate an der Gesamterdabreinigung

Aus den Versuchsergebnissen geht hervor, dass der Anteil des „VarioCleaners“ an der Gesamterdabreinigung des Rübenreinigungsladers bei sanfter Reinigungseinstellung über die Siebbänder zwischen fünf und sechs Prozent beträgt. Durch die Verwendung der Zwickwalzen kann dieser Anteil auf bis zu 14,4 % gesteigert werden. Beachtlich ist in dieser Aufstellung das Ergebnis, dass die Aufnahme auch bei sanfter Einstellung und intensiver Einstellung des "VarioCleaners" über 85 % der Abreinigungsleistung erbringt.

Dieses Ergebnis ist erneut auf die bauartbedingten Größenunterschiede der Reinigungsaggregate zurückzuführen. Wobei auch die geringere Abreinigungsleistung des Siebbandes in der sanften Einstellung am „VarioCleaner“ Auswirkungen hat. Aussagen darüber, wieviel Erde der „VarioCleaner“-Einsatz mehr abreinigt, können anhand dieser Darstellung nicht getroffen werden.

7.4 Erdbereinigungsleistungen des „VarioCleaner“ pro verladener Menge

Die verschiedenen im Versuch durchgeführten Varianten erzielten in Bezug auf den Erdbereinigungsanteil des „VarioCleaners“ an der verladenen Rübenmenge interessante Ergebnisse. Die Reinigungsleistungen des Siebbandes zeigten nur minimale Abweichungen in den Wiederholungen. Diese sanfte Einstellung variierte im Durchschnitt um 0,1 % abgereinigter Erde pro verladene Rübenmenge in den sieben Wiederholungen. Auffällig dabei ist, dass diese gleichmäßige Abreinigungsleistung unabhängig von der Intensität der Aufnahme erreicht wird. Hierfür sind vermutlich die baulichen Strukturen des Siebbandes verantwortlich. *SCHULZE LAMMERS* (2019) beschreibt, dass die Reinigungswirkung des Siebbandes auf die Effekte der Schwerkraft auf die abzureinigende Erde beschränkt ist. Die Hauptaufgabe liegt im Weitertransport der Zuckerrüben.

Nur bei mittlerer Aufnahmeintensität wurden Abweichungen von 0,25 % um den Durchschnitt erreicht. Die Werte wurden sowohl mit einer sanften Aufnahmeeinstellung, die weniger Erde vorabreinigt und zu höheren Erdmengen auf dem Siebband des „VarioCleaners“ führt, als auch mit hohen Reinigungsintensitäten, erreicht. Dadurch ist anzunehmen, dass das Siebband seine bauartbedingte, maximale Abreinigungsleistung erreicht hat. Außerdem scheint der Erdanteil der Miete mit durchschnittlich über 18%, abzüglich sanfter Aufnahmereinigung zu hoch zu sein, um einen Effekt auf die Siebbandreinigung zu ermöglichen. Andererseits wäre es auch möglich, dass das Siebband selbst nur einen minimalen Anteil an der Abreinigung hat. Die zwei Fallstufen, auf den letzten Abschnitt der Zwickwalzen des „VarioCleaners“ und dann auf den Überlader könnten den Hauptteil der Abreinigung bewirken.

Auffällig bleibt bei der sanften Einstellung die Tatsache, dass fünf von sieben Messwerten in zwei Varianten kaum voneinander abweichen, bei mittlerer Aufnahmeeinstellung allerdings zwei relativ unterschiedliche Messergebnisse auftraten. Mögliche Erklärungsansätze dafür wären zufällig variierende Erdanteile in der Miete oder Messungenauigkeiten in der Versuchsdurchführung. Auch der zu erwartende Anstieg der

Abreinigung des „VarioCleaner“ zwischen mittlerer und sanfter Aufnahmeeinstellung blieb aus, wodurch bei korrekten Messwerten nicht von einem erreichten technischen Limit bei der Abreinigungsleistung in den Varianten intensiv/sanft und sanft/sanft gesprochen werden kann.

In den Varianten mit intensiver Nachreinigung durch die Zwickwalzen des „VarioCleaners“ traten zu erwartende Ergebnisse hinsichtlich der Erdadbreinigungsleistung auf. Die Varianz beider Varianten betrug etwa 0,3 % Erde pro verladene Rübenmenge. Bei intensiver Vorreinigung durch die Aufnahme wurden im Durchschnitt ca. 0,7 % Erde durch den „VarioCleaner“ abgereinigt. In der sanften Vorreinigungsvariante reinigte der „VarioCleaner“ durchschnittlich 1,55 % Erde ab. Somit konnte die Leistung des „VarioCleaners“ verdoppelt werden. Aufgrund der geringeren Reinigungsfläche des „VarioCleaners“ im Vergleich zur Aufnahme wird diese Variante in der Praxis nicht angewendet. Aus Erfahrungen der Fahrer der Reinigungslader würde dies zu geringeren Gesamterdadbreinigungsleistungen bei steigenden Bruchverlusten führen. Dies konnte im Versuch jedoch nicht zweifelsfrei bestätigt werden. Deutlich wurde jedoch, dass das Minimum der Abreinigung der Zwickwalzen auf gleichem Niveau mit dem Durchschnitt der Siebbandreinigung liegt. Dieses Ergebnis bestätigt also wie erwartet die Annahme und auch von *Degen* (2000) bestätigte Vermutung, dass Zwickwalzen eine grundsätzlich intensivere Reinigung ermöglichen als das Siebband.

7.5 Rübenbruch des „VarioCleaner“ pro verladener Rübenmenge

Die Ergebnisse zu den ermittelten Gewichten der abgereinigten Rübenbruchstücke unter dem Nachreiniger sind in ihren Ausprägungen in den Varianten denen der abgereinigten Erde sehr ähnlich. Bei sanfter Einstellung des „VarioCleaner“ befindet sich der Durchschnitt der Werte auf einem Niveau von 0,06 % pro verladene Rübenmenge. Die Variante mittel/sanft liegt minimal darunter. Die Annahme, dass eine intensive Reinigung mehr Bruchstücke produziert kann durch den Versuch in Bezug auf den Nachreiniger nicht eindeutig bestätigt werden.

Die intensive Nachreinigereinstellung in der Variante intensiv/intensiv wies im Durchschnitt nur geringfügig höhere Bruchverluste auf als die sanften Varianten. Vielmehr wird an den Daten der Zusammenhang zwischen abgereinigter Erde und den Bruchverlusten am „VarioCleaner“ deutlich. Laut *BORCHARD* (1998) nimmt die Abreinigungsintensität bei sehr hohen Umlaufgeschwindigkeiten von Reinigungsorganen zu. Allerdings gibt es einen Punkt, an dem die Schwerkraft die Rübe durch die hohe Drehgeschwindigkeit so sehr an das Reinigungsorgan presst, dass kaum noch eine Eigenrotation der Rübe auftritt. Dies führt zu abnehmenden Erdadreinigungsergebnissen und abnehmendem Rübenbruch.

Ein weiterer Grund für die geringen Bruchverluste könnte die hohe Menge nasser Erde sein. Diese könnte durch Anhaftung die Rutschfähigkeit der Rüben erhöht haben und dadurch zu weniger Bruchverlusten beitragen. Auf trockenen Standorten würde diese Annahme zu höheren Bruchverlusten aufgrund von weniger Erdanhang und somit weniger Rutschfähigkeit der Rüben mit der Erde führen.

In diesem Zusammenhang sind noch zwei weitere Fragen zu klären: Zum einen, wo der Bruch entsteht der in den Messungen ermittelt wurde und zum anderen, zu welchem Anteil dieser abgereinigt und/oder weitertransportiert wird. Werden zum Beispiel durch den Rodevorgang entstandene Bruchstücke durch den Rübenroder in der Miete platziert, so fließt der Bruch aus dem Rodevorgang in das Ergebnis des Reinigungsladers mit ein. Andererseits wurden in der Fabrik, also in der angelieferten Ware die Bruchstücke ebenso wenig ermittelt. Des Weiteren ist zu vermuten, dass Bruchstücke über die Siebbänder des Reinigungsladers nur in geringem Maße abgereinigt werden und der Großteil der Bruchstücke am „VarioCleaner“ durch die zwei Fallstufen und den unvermeidbaren Kontakt mit den überstehenden Zwickwalzen generiert wird.

SCHMITTMANN (2017) beschreibt an welchen Stellen des Rodevorgangs der Zuckerrübe die Beanspruchungen der Rüben am höchsten sind. Diese Untersuchungen sind aufgrund der Vergleichbarkeit der Reinigungsaggregate Wendelwalzen und Siebband sehr interessant.

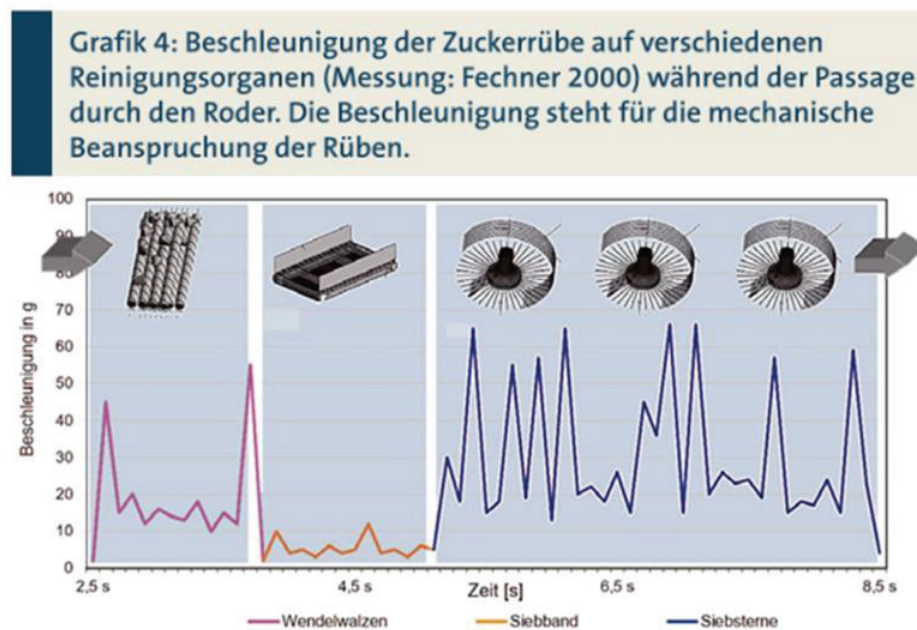


Abbildung 23: Beanspruchung der Rübe auf verschiedenen Reinigungsaggregaten im Rübenroder.
Quelle: Schmittmann, O., 2017

Aus den Messergebnissen in Abbildung 23 geht hervor, dass die Wendelwalzen die Zuckerrüben stärker beanspruchen, als das Siebband. Noch deutlicher wird allerdings der Anstieg der Beschleunigung an den Übergabestellen. An den Übergängen von den Wendelwalzen auf das Siebband ist die Beanspruchung dreimal so hoch wie auf den Walzen allein. SCHMITTMANN (2017) schreibt dazu, dass ein hoher Durchsatz an Rüben und eine große Siebfläche die Verluste erhöhen. Aus diesen Ergebnissen ist auch im Hinblick auf die Fallstufe, bzw. Übergabestelle des Siebbandes auf die Walzen des „VarioCleaner“ mit einer deutlich erhöhten Beanspruchung zu rechnen, die sich in der Produktion von zusätzlichen Bruch zeigt.

7.6 Rübenblattabreinigung am „VarioCleaner“

Die Blattabreinigung des „VarioCleaner“ in den Versuchsvarianten erzielte sehr unterschiedliche Ergebnisse. Bei intensiver Reinigung liegen die Ergebnisse zwar im selben Schwankungsbereich, dieser ist allerdings verhältnismäßig groß. Somit können daraus wenig gesicherte Aussagen getroffen werden. Etwas geringer, aber ebenso ungenau stellt sich das Ergebnis der Variante mittel/sanft dar. Abweichend von diesen ungenauen

Ergebnissen zeigten die Varianten intensiv/sanft und sanft/sanft deutlich geringere Varianzen. Vor allem die Variante sanft/sanft besticht mit einem geringen Varianzniveau.

Allgemein kann aus den Ergebnissen und den Beobachtungen während des Versuchs zum Thema Blattabreinigung festgestellt werden, dass das Rübenblatt häufig in größeren Klumpen auftrat. Die Ergebnisse zeigen, dass die Blattreste vor allem durch die Walzenreinigung entfernt werden konnten. Die geringen Abreinigungen in den intensiven Abreinigungsvarianten lassen sich mit ungleichmäßigen Verteilungen der Blattklumpen in der Miete erklären.

7.7 Vergleich der Kosten von Bruchverlusten und Erdausfuhr

Zur Beurteilung der ökonomischen Relevanz ist sowohl eine Betrachtung der Kosten, die durch den Bruchverlust für den Landwirt entstehen, sowie der Kosten für den weiteren Weg des Erdanhangs nötig.

SCHMITTMANN (2017) erstellte für die Bruchverlustberechnung bei einem kalkulatorischen Rübenpreis von drei Euro die nachfolgende Abbildung 24.

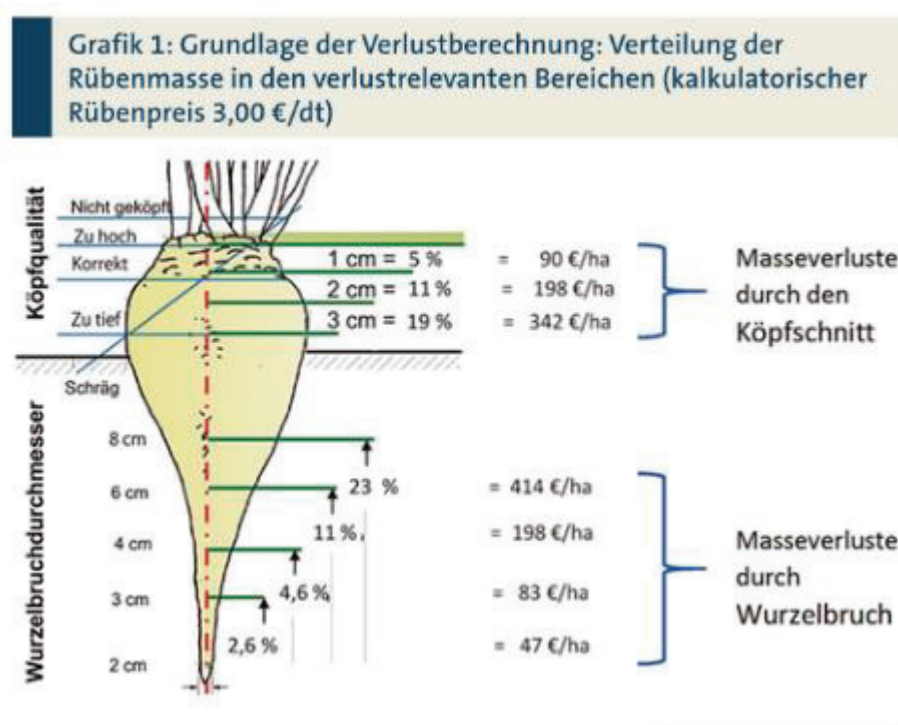


Abbildung 24: Bruchverlustberechnung nach Bereichen am Rübenkörper. Quelle: Schmittman, O. 2017

Für die Bewertung in Bezug auf einen Rübenreinigungslader ist hauptsächlich der Masseverlust durch Wurzelbruch relevant. Dieser geschieht unter Umständen durch Fallstufen und Wendelwalzen im Reinigungsprozess. Frühere Feldversuche ergaben für

Reinigungslader im Vergleich zum Roder eine Zunahme der Bruchverluste von 1-1,6 % (Büsching, Becker; Schulze-Lammers, 2014). Dies entspricht einem Verlust von 24 €/ha bei einem Prozent Verlustniveau, 3€ kalkulatorischem Gewinn und 800 dt/ha Ertragserwartung.

Im vorliegenden Versuch wurden am „VarioCleaner“ Bruchverluste zwischen 11 und 60 kg ermittelt. Diese ergeben Verluste von 0,97 €/ha bis zu 5,3 €/ha. Betrachtet man davon ausgehend die Bruchverluste des Reinigungsladers insgesamt, so können diese aus der ermittelten Korrelation der Abreinigung von Erdanteil und Bruchabreinigung am „VarioCleaner“ errechnet werden. Hierfür werden die Gesamterdabreinigungsmengen des Reinigungsladers mit der Regressionsgeraden der Korrelationsanalyse ergänzt und man erhält die theoretischen Bruchverluste.

Rübenpreis/dt * Bruchverluste „VarioCleaner“/LKW * (Rübenertag/ha / Menge/LKW) = Bruchverlustkosten am „VarioCleaner“:

$$3\text{€/dt} * 0,11 \text{ dt/LKW} * (800\text{dt/ha} / 270\text{dt/LKW}) = \underline{0,97 \text{ €/ha}}$$

Gesamtbruchverluste in kg durch Regressionsfunktion für die Variante mittel/sanft:

$$-6,84 + 0,16 * 2782\text{kg} = \underline{438,28 \text{ kg}}$$

Gesamtbruchverluste in €/ha für die Variante mittel/sanft:

$$3\text{€/dt} * 4,38\text{dt} * (800\text{dt/ha}/270\text{dt/LKW}) = \underline{38,93 \text{ €/ha}}$$

Anteil Bruchverluste am Gesamtertrag für die Variante mittel/sanft:

$$38,93\text{€/ha} / 2400\text{€/ha} = \underline{1,6\% \text{ Gesamtbruchverluste}}$$

Daraus ergeben sich Gesamtbruchverlustkosten des Reinigungsladers von 29,94 €/ha und 1,2 % in der Variante sanft/sanft und bis zu 38,93 €/ha und 1,6% in der Variante mittel/sanft. All diese Werte beruhen auf der Korrelation von Erdadreinigung und Bruchverlusten am „VarioCleaner“ in den Versuchsvarianten. Unrealistisch hoch aus praktischer Sicht erscheint hierbei der hohe Wert für die Aufnahme in der Variante sanft/intensiv. Die Beprobungen der Gesamterdabreinigung lagen allerdings entgegen der Erwartungen auch am höchsten. In dieser Variante ist davon auszugehen, dass die Bruchverluste der Aufnahme deutlich geringer und in Richtung „VarioCleaner“ verschoben sind.

Für die anhaftende Erde, die unter hohen Umweltauflagen von der Fabrik auf Ackerflächen verteilt wird, rechnet die Nordzucker AG mit Ausfuhrkosten von 7 €/m³. Ein Kubikmeter

Schlammerde mit einem Gewicht von 1,4 Tonnen entsteht aus einer Tonne trockener Erde. Im Versuch wurden pro LKW-Ladung zwischen 2 und 2,8 t reine Erde angeliefert. Da bei einem Ertrag von 80t Rüben/ha knapp drei LKW/ha beladen werden, kommen in der Fabrik 6 bis 8,4t Erde/ha an. Diese werden über die Transportvergütung der Fabrik für die gesamte Fracht noch mit einem Preis von 5 €/t bei der durchschnittlichen Anfuhrntfernung von 55km vergütet. Nach der Abscheidung in der Rübenwäsche entsteht aus der angelieferten Erde die Schlammerde in den Schlämmteichen. Der Transport und die Ausfuhr der Erde summieren sich auf Kosten von 72 € bis 100,8 € pro Hektar angebauten Rüben aus einer erdreichen Miete.

Der „VarioCleaner“ zeigt in den praxisrelevanten Varianten intensiv/intensiv und intensiv/sanft einen durchschnittlich um 40 kg/LKW erhöhte Abreinigungsleistung bei intensiver Einstellung im Vergleich zur sanften Einstellung. Laut Korrelationsanalyse ergibt die Zunahme der Erdbereinigung eine Zunahme an Bruchverlusten von 6,4 kg/LKW. 40 kg Erde/LKW entsprechen 120 kg Erde/ha aus denen 0,12 m³/ha Schlammerde entstehen. Diese kosten im Transport zur Fabrik 0,6 €/ha und in der Ausfuhr 0,84 €/ha, die die Zuckerfabrik einsparen würde. Die zusätzlich anfallenden Bruchverluste von 6,4 kg/LKW entsprechen 19,2 kg/ha. Bei einem kalkulatorischen Rübenpreis von 3 €/dt ergibt sich ein zusätzlicher Verlust für den Landwirt von 0,57 €/ha.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Reinigungslader Bruchverluste zwischen 0,7 % und 1,6 % ((Büsching & Becker, 2014) (Schulze Lammers, Schmittmann, Peveling-Oberhag, & Ziegler, 2012)) bewirken. Diese führen zu kalkulatorischen Verlusten von 16,8€/ha bis zu 38,4 €/ha. Dabei verluden die Reinigungslader im Durchschnitt der letzten drei Jahre nach Aufzeichnungen der „Nordzucker AG“ Rüben mit fünf Prozent Erdanteil. Daraus ergeben sich vier Tonnen Erde pro Hektar für die Zuckerfabrik. Die Kosten für den Transport und die Erdausfuhr belaufen sich auf 48 €/ha. Somit ist aus Sicht der Fabrik auch eine Reinigung mit mehr als 1,6 % Verlusten bei fünf Prozent Erdanteil rentabel.

In der nachfolgenden Abbildung 25 sind die Entwicklungen der Kosten für angenommene Verlustanteile kalkuliert dargestellt. Das Verhältnis zwischen Bruchverlusten und Erdanteil dient nur der Darstellung. Für die Berechnung und Interpretation ist dies nicht relevant. Angenommen wurden ein Rübenertag von 800 dt/ha und ein kalkulatorischer Rübenpreis von 3 €/dt.

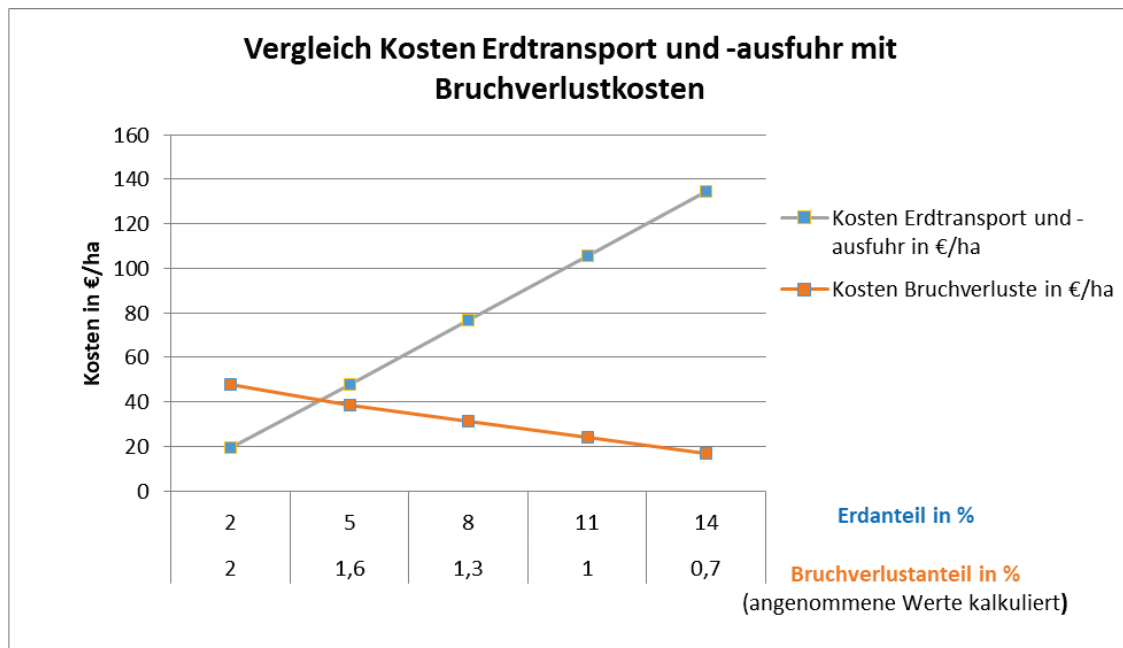


Abbildung 25: Erdausfuhr- und Bruchverlustkalkulation eines Rübenreinigungsladers. Quelle: Eigene Darstellung, 2020

Abbildung 25 verdeutlicht, dass bis zu einem Erdanteil von fünf Prozent an den Rüben in der Fabrik die Kosten für die Bruchverluste durch einen Rübenreinigungslader über denen der Erdausfuhr liegen können. Bedingt ist diese Aussage durch ein Bruchverlustniveau des Reinigungsladers von 1 bis 2 %. Übersteigt der Erdanteil fünf Prozent der verladenen Rüben liegen die Kosten für Erdtransport und –ausfuhr über denen der entstandenen Bruchverluste des angenommenen Niveaus.

7.8 Vergleich mit weiteren Versuchsdaten

Die Diskussion der ermittelten Daten des Versuchs zum „VarioCleaner“ mit wissenschaftlichen Daten ist unter dem Hintergrund der erstmaligen Untersuchung dieses Reinigungsaggregates zu betrachten. Aufgrund der Bauweise und den Reinigungselementen Siebband und Wendel- oder Zwickwalzen ist ein Vergleich mit denselben in Rübenrodern verbauten Aggregaten vertretbar. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass das Ausgangsmaterial der Reinigung für den Rübenreinigungslader maßgeblich durch die Vorreinigung des Rübenrodgers bestimmt wird. Somit ist der Nachreiniger des Reinigungsladers als ein Element, bzw. eine Stellschraube, im Verfahrensprozess der Rübenreinigung anzusehen.

Die Abreinigung der Erde stellt einen enorm wichtigen Produktionsfaktor im Ernteverfahren der Zuckerrübe dar. Dieser beeinflusst in großem Maß die Erntequalität, sowie die Lagerverluste durch Verletzungen der Rüben. Diese verletzten Rüben verlieren

einen steigenden Anteil ihres Zuckergehaltes durch Oxidationsprozesse, je länger sie lagern (Hoffmann, 2018). Die Intensität der hierfür verwendeten mechanischen Werkzeuge beeinflusst dabei aber nicht nur die Erdadreinigung, sondern führt auch zu neuen Bruchverlusten. Wie auch im Versuch festgestellt, gibt es eine Reihe von Einflussfaktoren auf die Reinigungsqualität. Betrachtet man das einzelne Reinigungsaggregat, stellte *BORCHARD* (1998) bereits mit einem Trommelreiniger fest, dass neben der Drehzahl des Aggregats, auch der Füllstand des Aggregats sowie die bauliche Ausführung Einfluss auf das Reinigungsergebnis nehmen. Ein höherer Befüllungsgrad bewirkt eine bessere Erdadreinigung, da die Rüben mehr aneinander reiben. Gleichzeitig führte der geringere Kontakt mit den mechanischen Bauteilen zu geringeren Bruchverlusten. Auch im Versuch mit dem Reinigungslader traten anhand der Ergebnisse Effekte auf, die damit begründet werden könnten. So war die vermeintlich intensivste Reinigungseinstellung, bei der mit hohen Drehzahlen gereinigt wurde, letztendlich nicht die stärkste in der Erdadreinigung. Diesen Effekt führt auch *BORCHARD* (1998) auf, da geringere Trommeldrehzahlen bessere Erdadreinigungsleistungen erzielten. Er erklärt den Effekt mit der Fliehkraft beim „Mitnehmen“ der Rüben im Vergleich zur langsamen Drehzahl, bei der die Rüben mehr „poltern“.

In einem groß angelegten Versuch zu Erntequalität und Lagerungsverlusten von *HOFFMANN* (2018) und des Institutes für Zuckerrübenforschung wurden 92 Praxismieten in Deutschland beprobt. Diese wurden von Rodern der drei Hersteller Grimme, Ropa und Holmer gerodet. Hierbei wurden Informationen über die Erntebedingungen gesammelt und die Rüben auf Erdanhang, Köpfdurchmesser, Blattreste, oberflächliche Beschädigungen und Wurzelspitzenbruch getestet. Die Versuche wurden zwar mit Rübenrodern durchgeführt, allerdings lassen sich trotzdem Rückschlüssen aus dem Reinigungsprozess bei unterschiedlichen Bodenarten auf Ansprüche an einen Reinigungslader ziehen. Das Ziel der Reinigung der Rüben ist bei beiden Maschinen identisch.

Der Erdanhang der Rüben in der Miete steigt signifikant von leichtem, sandigem Boden, zu schwerem Lehm oder Ton. Des Weiteren ist der Erdanhang bei nassen Erntebedingungen deutlich höher, als bei trockenen, unabhängig vom Erntegerät (Hoffmann, 2018). Beim Versuch in Everloh wurde zur deutlicheren Darstellung eine extrem verunreinigte Miete herangezogen. Die Rodebedingungen sind als sehr nass zu bezeichnen und unter normalen Umständen wäre das Roden eingestellt worden. Der Mietenerdanteil ist allerdings nicht mit dem Erdanhang der Messungen von *HOFFMANN* (2018) zu vergleichen, da in Everloh Proben des Mietenraums vorgenommen wurden und

nicht nur einzelne Rüben abgesammelt wurden. Somit können nur die Zusammenhänge bewertet werden, aber nicht die relativen Mengen.

Die Bewertung des Rübenbruchanteils des Reinigungsladers spielt im Ergebnis eine entscheidende Rolle für den Landwirt. Dieser trägt letztendlich den Verlust, der durch zu intensives Reinigen mit zunehmenden Bruchanteilen entsteht.

Versuche zu Bruchverlusten und Abreinigungsqualität von Reinigungsladern fanden letztmalig öffentlich 2012 in Seligenstadt statt. Hier wurden drei selbstfahrende Reinigungslader und ein Anbaugerät getestet. Der Mietenerdanteil im Versuch betrug 7,5 % bei einem Wurzelbruchanteil von 2,1 %. An diesem Versuch nahm das Vorgängermodell Holmer „Terra Felis 2“ des im Masterarbeitsversuch beteiligten Reinigungsladers „Terra Felis 3“ teil. Auch dieses Modell besaß das Reinigungssystem „VarioCleaner“. Mit einer Erdadbreinigungsleistung von 3,3 % pro verladene Rübenmenge liegt das Messergebnis ebenso bei etwa 50 % Mietenerdadbreinigung wie der aktuelle Versuch (Schulze Lammers, Schmittmann, Peveling-Oberhag, & Ziegler, 2012). Abweichend dazu schreibt *SCHULZE LAMMERS* in „Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion“, dass Reinigungslader ein mögliches Erdadbreinigungspotential von zwei bis fünf Prozent erreichen. Anhand der Ergebnisse aus dem Masterarbeitsversuch wird deutlich, dass Leistungen bis zu 10 % pro verladene Rübenmenge möglich sind. Vergleicht man die Erdanhangsergebnisse des Rodertests in Seligenstadt, der parallel zum Reinigungsladertest durchgeführt wurde, mit Kampagnedaten aus Zuckerfabriken, so wird die Mehrleistung von Reinigungsladern deutlich. *SCHULZE LAMMERS* selbst beschreibt den verbleibenden Erdanhang von Rodern zwischen 5 % und 28 %. Er fügt an, dass der Erdanhang in hohem Maße von der Bodenfeuchtigkeit abhängt. Kampagnedaten des Nordzuckerwerkes in Nordstemmen über drei Jahre zeigen maximale Gesamtabzüge von 13 % (Nordzucker AG, 2020). In diesen drei Jahren inbegriffen sind auch Daten des ausgesprochen nassen Jahres 2017, welches auch von *HOFFMANN* in ihrer Ergebnisinterpretation als solches beschrieben wird. Von den Gesamtabzügen müssen noch 3,3 % Rübenblatt- und Kopfanteil abgezogen werden. Der Erdanteil betrug somit im Durchschnitt eines Kampagnetages maximal 9,7 %. Fügt man die laut *SCHULZE LAMMERS* maximalen 5 % Reinigungsleistung des Reinigungsladers hinzu, dürften die Roder maximal 15 % Erdanteil in der Miete abgelegt haben. Der Durchschnitt der Roder erreichte bei Bedingungen von 25 % Bodenfeuchte in Seligenstadt 11,5 % Erdanteil. Unter Bedingungen mit höherer Bodenfeuchte erzielt *HOFFMANN* alleine an Erdanhängen direkt an den Rüben bis zu 10 %, im Mittel bis zu 6 % auf tonigen Böden. Der Erdanteil in der

Miete wird entsprechend deutlich höher und damit über 15 % gelegen haben. Somit ist auf höhere Abreinigungsleistungen der Reinigungslader als 5 % zu schließen, wenn trotz schlechterer Rodebedingungen als beim Test in Seligenstadt die besagten Ergebnisse in der Zuckerfabrik erzielt werden konnten.

Aus den Untersuchungen von *STEENSEN* in „Balance between reduction of soil tare and root injuries“ (2002) geht hervor, dass in Bezug auf den Reinigungsprozess während des Ernteverfahrens keine Korrelation zwischen Wurzelbeschädigungen und Erdanhang festgestellt werden konnte. Allerdings lag das Hauptaugenmerk damals nicht auf Bruchverlusten, weshalb die These dieser Masterarbeit zur Korrelation trotzdem weiter verfolgt werden sollte.

Des Weiteren fand *STEENSEN* heraus, dass eine zu hohe potentielle Reinigungsintensität aufgrund von Übermechanisierung im Bereich der Reinigungswerkzeuge zu höheren Beschädigungen der Rüben führt, als notwendig für die Reinigung wäre. In dieser Hinsicht ist das Nachreinigungssystem „VarioCleaner“ aufgrund seiner hohen Variabilität eine begründete Weiterentwicklung. *STEENSEN* führte seine Versuche hauptsächlich an Rübenrotern durch, allerdings sind die Reinigungseffekte und Wirkmechanismen vergleichbar.

8 Schlussfolgerungen

Aus dem durchgeführten Versuch geht hervor, dass ein selbstfahrender Rübenreinigungslader aufgrund seiner Reinigungsleistung in der Lage ist den Erdanteil einer erdreichen Rübenmiete von 18,95 % trotz unterschiedlicher Reinigungseinstellungen um die Hälfte zu reduzieren. Die durchgeführten Variationen in den Reinigungseinstellungen wichen dabei zum Teil deutlich von praxisüblichen Werten für erdreiche Miete ab. Dabei variierte die ermittelte Erdabreinigung zwischen 8,25 % und 11,25 % bezogen auf die verladene Rübenmenge. Hierbei wurde deutlich, dass der Abreinigungsgrad der Erde bei hohen Walzendrehzahlen nicht höher ist als bei mittlerer Einstellung. Somit ist von einem begrenzten Reinigungsgrad auszugehen.

Die Auswertungen der Reinigungsqualität des Nachreinigungssystems „VarioCleaner“ haben gezeigt, dass trotz unterschiedlicher Kombinationen in der Reinigungsintensität von Aufnahme und Nachreiniger eine signifikante Korrelation von abgereinigtem Bruch und abgereinigter Erde vorliegt. Je 50 kg Erdabreinigung am „VarioCleaner“ wurden 8 kg Rübenbruch abgereinigt, beginnend bei 42 kg Erdabreinigung. Durchschnittlich reinigte

der „VarioCleaner“ etwa 0,75 % Erde pro verladene Rübenmenge ab. Die durchschnittliche Steigerung der Abreinigungsleistung durch die Reinigung über die Zwickwalzen anstatt des Siebbandes liegt bei 25%. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass der Nachreiniger anteilig an der Gesamterdabreinigung des Reinigungsladers nur einen durchschnittlichen Anteil von 7,5 % ausmacht. Aus ökonomischer Sicht führt eine solche Steigerung der Erdabreinigung zu deutlichen Einsparungen im Transportwesen und der Erdausfuhr der Zuckerfabrik. Die Einsparungen durch den geringeren Erdanteil bei der optionalen Nutzung der Zwickwalzen am „VarioCleaner“ für die Zuckerfabrik übersteigen die Verlustkosten des Landwirts für den Anstieg der Bruchverluste. Somit ist die Förderung dieses Nachreinigungssystems für Gebiete mit schweren Böden und wechselhaften Bedingungen bezogen auf den Mietenerdanteil sinnvoll.

Insgesamt reinigte der Rübenreinigungslader in der durch den Fahrer bestimmten, zu den Verhältnissen in der Miete angepassten Reinigungseinstellung mittel/sanft am meisten Erde ab, während der „VarioCleaner“ die geringsten Bruchabreinigungen aufwies. Die Anpassungen der Reinigungseinstellungen zeigten sich im Versuch durch die variierenden Erdanteile auf den LKW. Für die Optimierung dieser drei Prozent Erdanteil ist der Fahrer verantwortlich. Hierfür bietet der Reinigungslader viele Anpassungsmöglichkeiten, wobei das Hauptaugenmerk auf der Einstellung der Aufnahme liegen sollte. Dort ist die potentielle Reinigungsfläche am größten und somit auch der Grad der Auswirkungen auf das Reinigungsergebnis am höchsten.

Die Anforderungen an das Reinigungsverfahren werden sich in der Zukunft vermutlich kaum verändern. Der technische Fortschritt wird auch in diesem Bereich weiter die Entwicklungen vorantreiben. Wie genau die Reinigungsgeräte aussehen könnten lässt sich schwer beurteilen. Die Möglichkeiten reichen von größeren Maschinen, deren Begrenzung meist die Zulassung für den Straßenverkehr darstellt, bis hin zu schwarmintelligenten, kleinen Einzelmaschinen. Möglicherweise bieten neue Reinigungsmethoden aus dem Bereich der Ultraschallreinigung oder vibrierende Reinigungsgeräte neue Ansätze für alternative Reinigungsverfahren.

Bis es soweit ist und neue Reinigungsverfahren entwickelt und erprobt sind, sollten Reinigungslader weiterhin eingesetzt werden. Beachtet werden sollte bei jedem Einsatz die an die Verladebedingungen angepasste Hauptaufgabe. Liegt diese eher im bruchverlustarmen Verladen, da die Miete einen geringen Erdanhang aufweist, oder im intensiven Reinigen, da sonst der Erdanteil aus ökonomischer Sicht zu hoch liegt.

9 Zusammenfassung

Der Zuckerrübenanbau hat sich in den vergangenen Jahren aufgrund verschiedener Einflüsse verändert. Die Anbauumfänge in Deutschland sind gestiegen und die Anforderungen an das Produktionsverfahren weiterhin auf einem hohen Niveau. Der technische Fortschritt ermöglicht es immer höhere Leistungen der eingesetzten Maschinen zu erwarten, bei denen die Arbeitsqualität mindestens gleichwertig bleiben soll, oder gesteigert werden kann.

Im Bereich der Zuckerrübenverladung mit einem selbstfahrenden Rübenreinigungslader liegt das Hauptaugenmerk auf einem möglichst hohen Reinigungsgrad bei höchstmöglicher Schonung des Ernteguts. Dabei bieten sich viele Einstellungsmöglichkeiten für jedes Reinigungsaggregat. In einem Praxisversuch an einer erdreichen Miete wurden durch einen Rübenreinigungslader mit verschiedenen Reinigungseinstellungen Zuckerrüben verladen. Das Erdbereinigungsergebnis wurde durch Beprobungen des Mietenerdanteils und der Lkw-Ladungen in der Zuckerfabrik ermittelt. Der Rübenbruchanteil in den verschiedenen Varianten wurde unter dem Nachreinigungssystem „VarioCleaner“ ermittelt. Dieses Nachreinigungssystem der Firma Holmer Maschinenbau GmbH wird durch die Nordzucker AG subventioniert. Damit soll die Anpassung an wechselnde Verladebedingungen optimiert, der Erdanteil der Rübenladung wenn nötig weiter gesenkt und der Anteil an Bruchverlusten minimiert werden.

Der Versuch ergab, dass die Aufnahme des Reinigungsladers in Kombination mit dem Bauchgurt und dem Überlader mit 85-95 % der Erdbereinigung für den Großteil der Reinigungsleistung verantwortlich ist. Das Nachreinigungssystem „VarioCleaner“ ist mit seinen Intensitätsvarianten in der Lage die Erdbereinigungsleistung des Reinigungsladers zu erhöhen. Aufschlussreich ist dabei das Ergebnis aus dem Versuch dass die Verwendung unter erdreichen Bedingungen auch aus ökonomischer Sicht vorteilhaft ist. Die Zunahme an Bruchverlustkosten lag dabei deutlich unter den Kosten des Erdtransports, der die Anlieferungskosten und die Ausfuhrkosten für die Schlammerde aus der Zuckerfabrik einschließt.

Des Weiteren konnte der Versuch mithilfe der Korrelationsanalyse einen starken statistischen Zusammenhang zwischen Erdbereinigung und Bruchabreinigung am „VarioCleaner aufzeigen. Dieser sollte in weiteren Versuchen untersucht werden.

10 Literaturverzeichnis

- Borchard, K. (1998). Hackfruchternte: Reinigung von Zuckerrüben. *Landtechnik*, 246-247.
- Büsching, S., & Becker, C. (1 (Sonderdruck) 2014). Ladeverluste-geht es auch mit weniger? *Zuckerrübe-Die Fachzeitschrift für Spezialisten*, S. 1-3.
- Degen, P. (2000). Untersuchungen zur Wirkungsweise mechanischer Löse- und Trennwerkzeuge bei Mehrstoffhaufwerken aus Wurzelfrüchten am Beispiel der Zuckerrüben-Erdabtrennung. In *Fortschritt-Berichte VDI Reihe 14 Nr.97*.
- Haase, B. (2013). Alles auf Zucker. *Hannoversche Allgemeine*.
- Heimatismuseum Seelze. (2010). Zuckerrübenanbau im Calenberger Land und Zuckerwürfelsammlung von Christiane Mohn. *My Heimat*.
- Hesse, F. (04 2020). Informationen und Erfahrungen der Zuckerfabrik Nordstemmen in Bezug auf Erdbereinigung und Bruchverluste im Reinigungsprozess. (H. Rogge, Interviewer)
- Hoffmann, C. (11 2018). Sugar beet from field clamps-harvest quality and storage loss. *Sugar Industry 143*, S. 639-647.
- Holmer Maschinenbau GmbH. (2020). *Produkte/Reinigungslader/Terra-Felis-3-evo*. Abgerufen am 05 2020 von Holmer Maschinenbau: <https://www.holmer-maschinenbau.com/produkte/reinigungslader/terra-felis-3-evo/terra-felis-3-evo.html>
- Nordzucker AG. (2020). *Gesamtabzug Kampagne 2017-2019*.
- Region Hannover. (2020). Abgerufen am 05 2020 von Hannover.de: <https://www.hannover.de/Kultur-Freizeit/Naherholung/Natur-erleben/Radfahren/Gr%C3%BCner-Ring/Devese-Benthe-Velber/Das-Calenberger-Land>
- Rogge, H. (Februar 2019). *Optimierung der Zuckerrübenreinigung eines Rübenreinigungsladers- Auswirkungen des Nahreinigungssystems "VarioCleaner" auf die Reinigungsqualität*. Abgerufen am 10. März 2020 von Digitale Bibliothek Hochschule Neubrandenburg: https://digibib.hs-nb.de/file/dbhsnb_thesis_0000001997/dbhsnb_derivate_0000002755/Bachelorarbeit-Rogge.2019.pdf

- Schmittmann, D. O. (2017). Bruchverluste nicht außer Acht lassen. *Zuckerrübenjournal*, S. 16-18.
- Schneider, J., Severin, K., Göttlicher, U., Heinicke, D., & Pellegrini, A. (2004). *Geofakten 13 - Leitfaden für die landbauliche Verwertung von Rübenerden - Bodenauftrag in der Landwirtschaft*. Hannover: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung.
- Schulze Lammers, P. (2019). Zuckerrübenernte. In K. Köller, & O. Hensel, *Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion* (S. 268-286). Stuttgart: Eugen Ulmer.
- Schulze Lammers, P., Schmittmann, O., Peveling-Oberhag, C., & Ziegler, K. (7 2012). Wie gut arbeiten Roder und Mäuse. *Zuckerrübenjournal*, S. 8-11.
- Steensen, J. K. (2002). Balance between reduction of soil tare and root injuries. In *Proceedings of the 65th IIRB Congress* (S. 149-157). Brüssel.
- Steensen, J. K. (2002). Effect of different cleaning techniques and methods on soil tare - A danish review. In *Proceedings of the 65th IIRB Congress* (S. 349-358). Brüssel.
- Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V./ Verein der Zuckerindustrie e.V. (2020). *Zuckermarkt: Zahlen und Fakten*. Abgerufen am 05 2020 von Zuckerverbände: <http://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/eu-zuckermarkt/ruebenanbau.html>

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Heiko Rogge, erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Master-Thesis mit dem Thema „Erdabreinigungsleistung eines Rübenreinigungsladers - Reinigungsqualität im Verladeprozess unter Berücksichtigung der Bruchverluste“ selbstständig und ohne Benutzung anderer als angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift