



Untersuchungen zum Fremdbesatz von Zuckerrüben bei der Anlieferung in der Fabrik mit der Bahn

Abschlussbericht

Bernhard Streit, Lorenz Glauser, Simon Hauser, Martin Häberli-Wyss, Alexandra Poirier und Lorenz Tschumi

In Zusammenarbeit und mit Unterstützung von den Vertretern des Schweizerischen Verbandes der Rübenproduzenten sowie von Schweizer Zucker AG.

10.11.2024

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einflussfaktoren auf den Fremdbesatz.....	1
1.2	Stichprobennahme in der Fabrik.....	2
1.3	Interpolations-Methoden – Schätzung der Fremdbesatz-Verteilung in Bahnwagen	4
1.4	Rahmenbedingungen und Ziele des Projektes.....	7
2	Material und Methode.....	8
2.1	Einfluss von Jahr und Verladeort auf den Fremdbesatz	8
2.2	Analyse der Transportkette.....	8
2.3	Voruntersuchung der Probenahme bei Bahnwagen mit 15 zusätzlichen zufälligen Proben.....	8
2.4	Hauptuntersuchung der Probenahme bei Bahnwagen mit sechs zusätzlichen zufälligen Proben.....	13
3	Resultate und Diskussion	15
3.1	Einflussgrößen auf den Fremdbesatz aufgrund der Analysen der Daten von 2011 bis 2023.....	15
3.2	Voruntersuchung der Probenahme bei Bahnwagen mit 15 zusätzlichen zufälligen Proben.....	20
3.3	Voruntersuchung der Probenahme bei Bahnwagen mit 15 zusätzlichen zufälligen Proben.....	25
4	Folgerungen	29
4.1	Einflussgrößen auf den Fremdbesatz aufgrund der Analysen der Daten von 2011 bis 2023.....	29
4.2	Voruntersuchung der Probenahme bei Bahnwagen mit 15 zusätzlichen zufälligen Proben.....	29
4.3	Hauptuntersuchung mit sechs zusätzlichen Proben	29
5	Literaturverzeichnis.....	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Einflussgrößen auf den Fremdbesatz bei der Anlieferung von Zuckerrüben in der Fabrik.	2
Abbildung 2: Vordefinierte Bereiche (Abstand zur Seitenwand) für die Entnahme der zwei regulären Proben zur Analyse der Zuckerrüben bei Anlieferung per Bahnwagen.	2
Abbildung 3: Gewichtetes Mittel der Stützwerte (=Messwerte) je Rasterpunkt (Quelle: Benndorf 2023, S. 139)	4
Abbildung 4: Bahnwagen TYP EAOS 532 in der Beprobungsgasse (links) und zufällige Verteilung der Probenahmepunkte zur Erhebung der Heterogenität des Fremdbesatzes innerhalb des Wagens (rechts)	9
Abbildung 5: Fabrikmitarbeiter beim Einmitten des Stechers über der Wagenecke (vorne rechts) bei auf die gelbe Markierung vorgezogenen Bahnwagen	9
Abbildung 6: Anzeigebildschirm für den Probenahmeprozess (links) mit Ausschnitt der Darstellung des Probestechers mit Angabe der Koordinaten (rechts, rote Kreise). X-Koordinaten = "Katze", Y-Koordinaten = "Brücke"	10
Abbildung 7: Vorbereitete Tabelle mit angepassten Koordinaten der Probenahmepunkten.	10
Abbildung 8: Interpolierte Fremdbesatzkarte mit darüber gelegten Polygonen für die simulierte Probenahme (1/3 und 2/3 der Wagenbreite) und zufällig generierten Probepunkten	13
Abbildung 9: Zufällige Verteilung der sechs Probenahmepunkte zur Erhebung des Fremdbesatzes.	14
Abbildung 10: Durchschnittlicher Fremdbesatz mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen angelieferten Zuckerrüben jeweils in den Monaten September bis Dezember an den Standorten Aarberg und Frauenfeld zwischen 2011 und 2023. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).	15
Abbildung 11: Durchschnittlicher Fremdbesatz pro Jahr mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen angelieferten Zuckerrüben an den Standorten Aarberg und Frauenfeld zwischen 2011 und 2023. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).	16
Abbildung 12: Durchschnittlicher Fremdbesatz mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen angelieferten Zuckerrüben aufgeteilt nach Verladeort zwischen 2011 und 2023. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).	17
Abbildung 13: Durchschnittlicher Fremdbesatz pro Jahr mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen angelieferten Zuckerrüben aufgeteilt nach den Verladeorten, die im Projekt speziell beachtet wurden zwischen 2011 und 2023. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).	18
Abbildung 14: Durchschnittlicher Fremdbesatz mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen zwischen 2011 und 2023 nach Aarberg und Frauenfeld angelieferten Zuckerrüben aufgeteilt nach der Verladetechnik. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).	18
Abbildung 15: Durchschnittlicher Fremdbesatz mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen zwischen 2011 und 2023 nach Aarberg und Frauenfeld angelieferten Zuckerrüben. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).	19
Abbildung 16: Fremdbesatz im Wagen 33 aus Yvonand - Streuung des Mittelwerts in Abhängigkeit von der Anzahl gemachter Proben (von 2 bis 15); Darstellung der Differenz zwischen Mittelwert reguläre Probe (rote Linie) und zusätzlicher 15 Proben	20
Abbildung 17: Fremdbesatzverteilung im Wagen von Yvonand mit Beprobungspunkten; Nullpunkt (0/0) = vorne rechts	21
Abbildung 18: Interpolierte Fremdbesatzkarte des Bahnwagens aus Yvonand mit darüber gelegten Bereichen für die simulierte Probenahme (1/3 und 2/3 der Wagenbreite) und zufällig generierten Probepunkten	21

Abbildung 19: Fremdbesatz im Wagen 31 aus Chavornay - Streuung des Mittelwerts in Abhängigkeit von der Anzahl gemachter Proben (von 2 bis 15 Proben); Darstellung der Differenz zwischen Mittelwert reguläre Probe (rote Linie) und zusätzlicher 15 Proben	22
Abbildung 20: Fremdbesatzverteilung im Wagen von Chavornay mit Beprobungspunkten; Nullpunkt (0/0) = vorne rechts	23
Abbildung 21: Interpolierte Fremdbesatzkarte des Bahnwagens aus Chavornay mit darüber gelegten Bereichen für die simulierte Probenahme (1/3 und 2/3 der Wagenbreite) und zufällig generierten Probepunkten	23
Abbildung 22: Vergleich des Fremdbesatzanteils abhängig der Probeart für jeden beprobten Wagen (R = reguläre Proben; S = zusätzliche Proben («effektiver» Fremdbesatz)).....	25
Abbildung 23: Erhebungsergebnisse des Fremdbesatzes abhängig von Probeart und Herkunft.	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick und Vergleich häufig verwendeter Interpolations-Methoden	6
Tabelle 2: Parametereinstellung simple Kriging in QGIS.....	12
Tabelle 3: Variablen lineares Modell	14
Tabelle 4: Varianzanalysetabelle für den Messparameter 'Fremdbesatz' in Zuckerrüben gemessen an den Standorten Aarberg und Frauenfeld (2011 – 2023).	15
Tabelle 5: Jährliche Niederschlagsmengen (mm) an den Standorten Zollikofen und Winterthur/Seen zwischen 2011 und 2023 (Quelle: Meteoschweiz)	16
Tabelle 6: Auflistung Mittelwert, Standardabweichung, min. und max. Wert der simulierten Probenahme Yvonand [%].....	22
Tabelle 7: Auflistung Mittelwert, Standardabweichung, min. und max. Wert der simulierten Probenahme Chavornay [%].....	24
Tabelle 8: Übersicht Resultate Hauptuntersuchung mit sechs zusätzlichen Proben, sortiert nach Herkunft der Lieferungen.....	26

Zusammenfassung

Im Auftrag des Schweizerischen Verbandes der Zuckerrübenpflanzer (SVZ – FSB) sowie der Schweizer Zucker AG wurde eine Studie zur Überprüfung der Analyse des Fremdbesatzes bei der Anlieferung der Zuckerrüben bei der Fabrik in Auftrag gegeben. Diese Aufgabe wurde in den Teilbereich Datenanalyse sowie in den Teilbereich Probenahme aufgeteilt.

Die Datenanalyse der Zuckerrübenlieferungen von 2011 bis 2023 zeigte, dass der Fremdbesatz signifikant von Faktoren wie dem Anlieferungsmonat, dem Jahr, dem Verladeort und dem Standort der Fabrik beeinflusst wird. Die nachgewiesene Zunahme des Fremdbesatzes im Laufe des Herbstes lässt sich auf steigende Bodenfeuchtigkeit und das Wachstum der Rüben zurückführen. Auch zeigten die Verladesysteme und -orte in der Westschweiz signifikant höhere Fremdbesatzwerte im Vergleich zu anderen Standorten. Diese Unterschiede können möglicherweise auf das Fehlen oder die Entfernung von Reinigungssystemen in den Verladesystemen zurückgeführt werden, die den Erdanteil im Gutstrom erhöhen.

Zur Prüfung der Genauigkeit der regulären Probenahme wurden ergänzende Proben an verschiedenen Punkten des Wagens genommen und mit der geostatistischen Methode Kriging analysiert. Die Ergebnisse zeigten eine hohe Heterogenität in der Verteilung des Fremdbesatzes innerhalb der Wagen. Dies führte zu deutlichen Abweichungen zwischen den regulären Proben und dem tatsächlichen Fremdbesatz, die in einigen Fällen zu Ungenauigkeiten in der Abrechnung führen könnten. Die zusätzlichen Proben ergaben genauere Mittelwerte für den Fremdbesatz und rechtfertigen Diskussionen rund um eine angepasste Probenahmetechnik.

Mögliche Handlungsempfehlungen aus den vorliegenden Untersuchungen sind:

- Überdenken des Entsorgungskonzeptes des Fremdmaterials an Verladestationen ohne Enterde und mit Gummibändern: Die aus phytosanitärer Sicht und arbeitswirtschaftlich sinnvolle Massnahme, den Fremdbesatz in die Fabrik zu transportieren und nicht am Verladeort abzusondern, sollte untersucht und überdenkt werden.
- Vermeidung von zusätzlicher Verschmutzung der Rüben beim Laden auf dem Feld: Bei der Aufnahme der Rübenmieten auf den Feldern sollte auf ein möglichst flaches Arbeiten der Aufnahmeorgane geachtet werden. Dazu gehören die präzise Führung der Maschine und die Ablage der Miete auf möglichst ebenem Terrain.
- Erhöhung der regulären Probenanzahl: Eine erhöhte Anzahl regulärer Proben könnte die Streuung und somit die Genauigkeit der Probenahmen verbessern. Es ist jedoch zu bedenken, dass dies die Abwicklungszeit bei der Anlieferung in der Zuckerfabrik verlängern und zusätzliche Kosten verursachen würde. Alternativ könnte eine sporadische Entnahme einer dritten Probe an zufällig ausgewählten Bahnwagen erfolgen, um die Verteilung der Daten zu überprüfen.
- Verbesserte rechnerische Analyse von Ausreißern und Auffälligkeiten: Eine verfeinerte mathematische Analyse zur Identifikation von Abweichungen in beide Richtungen, sowohl niedrige als auch hohe Werte, könnte dazu beitragen, unklare Anomalien bei der Anlieferung frühzeitig zu erkennen.
- Massnahmen zur Reduzierung der Heterogenität des Fremdbesatzes im Bahnwagen: Eine detaillierte Analyse der verschiedenen Verlademethoden und deren Einfluss auf die Fremdbesatzverteilung im Bahnwagen ist erforderlich. Ebenso sollten weitere Einflussfaktoren wie Witterungsbedingungen zur Erntezeit, Erntemethoden, Parzelleninformationen, Lagerung, Transport und Verladevorgang genauer untersucht werden, um deren Effekt auf den Fremdbesatz zu verstehen und zu reduzieren.
- Unterstützung der Abweichungsidentifikation durch Kamerasysteme: Der Einsatz von Kameras entlang der Probenahmekette – beispielsweise bei der Probenentnahme, vor dem Waschvorgang und nach der Feinsortierung – kann zur frühzeitigen Erkennung von Abweichungen beitragen.
- Verknüpfung der Transportkette für verbesserte Rückverfolgbarkeit: Eine engere Verknüpfung der Transportkette, um systematische Fehler in Bezug auf Verladeort, Verladezeitpunkt und Produzent zu vermeiden, verbessert die Rückverfolgbarkeit und ermöglicht eine präzisere Analyse potenzieller Einflussfaktoren.

Résumé

Sur mandat de la Fédération suisse des betteraviers (FSB) ainsi que de Sucre Suisse SA, une étude a été commandée pour vérifier l'analyse de tare terre lors de la livraison des betteraves à l'usine. Cette tâche a été divisée en un module d'analyse des données et un module de prélèvement d'échantillons.

L'analyse des données des livraisons de betteraves sucrières de 2011 à 2023 a montré que la tare terre était significativement influencée par des facteurs tels que le mois de livraison, l'année, le lieu de chargement et le site de l'usine. L'augmentation prouvée des impuretés au cours de l'automne peut être attribuée à l'augmentation de l'humidité du sol et à la croissance des betteraves. De même, les systèmes et lieux de chargement en Suisse romande ont montré des valeurs tare terre significativement plus élevées par rapport aux autres sites. Ces différences peuvent éventuellement être attribuées à l'absence ou à la suppression de systèmes de nettoyage dans les systèmes de chargement, qui augmentent la quantité de terre dans le flux de récolte.

Afin de vérifier la précision de l'échantillonnage régulier, des échantillons complémentaires ont été prélevés en différents points du wagon et analysés à l'aide de la méthode géostatistique du krigeage. Les résultats ont montré une grande hétérogénéité dans la répartition de la tare terre au sein des wagons. Cela a entraîné des écarts importants entre les échantillons réguliers et la tare terre réelle, ce qui pourrait dans certains cas entraîner des inexactitudes dans le décompte. Les échantillons supplémentaires ont donné des valeurs moyennes plus précises pour la tare terre et justifient des discussions autour d'une technique d'échantillonnage adaptée.

Les recommandations d'action possibles découlant des présentes analyses sont les suivantes :

- Revoir le concept d'élimination de tare terre dans les stations de chargement sans enterreur et avec des tapis en caoutchouc: La mesure raisonnable du point de vue phytosanitaire et de l'économie du travail, qui consiste à transporter la tare terre à l'usine et à ne pas la séparer sur le lieu de chargement, devrait être étudiée et repensée.
- Eviter de salir davantage les betteraves lors du chargement dans les champs : lors du ramassage des betteraves dans les champs, il faudrait veiller à ce que les organes de ramassage travaillent le plus à plat possible. Cela implique un guidage précis de la machine et la dépose de la benne sur un terrain aussi plat que possible.
- Augmentation du nombre d'échantillons réguliers: une augmentation du nombre d'échantillons réguliers pourrait améliorer la dispersion et donc la précision des prélèvements. Il faut toutefois garder à l'esprit que cela allongerait le temps de traitement lors de la livraison à la sucrerie et entraînerait des coûts supplémentaires. Une alternative consisterait à prélever sporadiquement un troisième échantillon sur des wagons choisis au hasard afin de vérifier la répartition des données.
- Amélioration de l'analyse mathématique des valeurs aberrantes et des anomalies : Une analyse mathématique affinée permettant d'identifier les écarts dans les deux sens, aussi bien les valeurs basses que les valeurs élevées, pourrait contribuer à détecter précocement les anomalies peu claires lors de la livraison.
- Mesures visant à réduire l'hétérogénéité de la tare terre dans les wagons : une analyse détaillée des différentes méthodes de chargement et de leur influence sur la répartition de la tare terre dans les wagons est nécessaire. De même, d'autres facteurs d'influence tels que les conditions météorologiques au moment de la récolte, les méthodes de récolte, les informations sur les parcelles, le stockage, le transport et le processus de chargement devraient être étudiés plus en détail afin de comprendre et de réduire leur effet sur la charge étrangère.
- Aide à l'identification des écarts par des systèmes de caméras : L'utilisation de caméras tout au long de la chaîne d'échantillonnage - par exemple lors du prélèvement des échantillons, avant le lavage et après le triage fin - peut contribuer à la détection précoce des écarts.
- Relier la chaîne de transport pour améliorer la traçabilité : relier plus étroitement la chaîne de transport pour éviter les erreurs systématiques concernant le lieu de chargement, le moment de chargement et le producteur, améliore la traçabilité et permet une analyse plus précise des facteurs d'influence potentiels.

1 Einleitung

Trotz rückläufiger Anbaufläche gehört die Zuckerrübe mit 15'628 Hektaren auch heute (Stand 2022) zu den wichtigsten Schweizer Ackerkulturen (Erdin 2022). Im Jahr 2022 lieferten insgesamt 3'788 Rübenpflanzer rund 1'355'013 Tonnen Zuckerrüben an die zwei Zuckerfabriken Aarberg und Frauenfeld (Schweizer Zucker AG (SZU) 2023, 2022). Bei der Zuckerausbeute spielt die Qualität der Rüben eine wichtige Rolle. Die individuelle Messung der qualitätsrelevanten Parameter der abgelieferten Zuckerrüben bildet darum auch die Grundlage der Übernahmebedingungen und des Bezahlungssystems in der Zuckerindustrie. Die dabei angewendete Analysemethode ist standardisiert und wird im Rahmen von Parallelanalysen in den Laboren der Fabriken in Aarberg und Frauenfeld laufend überprüft. Die Analyse des Fremdbesatzes ist dabei Teil des gesamten Analysepaketes, das daneben auch noch die Gehaltsparameter der angelieferten Ware umfasst.

1.1 Einflussfaktoren auf den Fremdbesatz

Fremdbesatz – Erde, Steine und Pflanzenreste, die an den Zuckerrüben bei der Anlieferung in die Zuckerfabrik haften – ist ein wichtiges Thema in der Rübenproduktion und -verarbeitung. Dieser Fremdbesatz hat Einfluss auf die Bezahlung der Produzenten sowie auf Qualität und Effizienz der Verarbeitung, da unerwünschte Materialien aufwendig entfernt werden müssen. Verschiedene Faktoren beeinflussen das Ausmaß des Fremdbesatzes, darunter Bodenart, Anbau- und Erntetechniken sowie Umweltbedingungen (Abbildung 1). Die Bodenart ist ein entscheidender Faktor: Lehm-, Sand- und Tonböden unterscheiden sich stark in ihrer Struktur und Adhäsion. Tonböden neigen dazu, stärker an den Rüben zu haften, besonders bei feuchtem Wetter, während Sand- und Lehmböden oft weniger haften und leichter zu reinigen sind. Die Bodenbearbeitungssysteme wie Pflügen, konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat haben ebenfalls Einfluss. Pflügen führt zu lockererem Boden, was die Adhäsion von Erde begünstigen kann, während Direktsaat und konservierende Methoden die Bodenstruktur stabiler halten und den Fremdbesatz oft reduzieren. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Sorte der Zuckerrüben selbst, da unterschiedliche Sorten unterschiedliche Eigenschaften in Bezug auf Fremdmaterialbindung und Reinigungsfähigkeit haben können. Bodenfeuchtigkeit bei der Ernte ist ebenfalls wichtig: Trockener Boden bleibt weniger an den Rüben haften, während feuchter oder nasser Boden stärkere Anhaftungen verursacht und das Reinigungsverfahren erschwert. Das Ernteverfahren spielt eine weitere Rolle, da gezogene und selbstfahrende Erntemaschinen sowie der Typ des Rübenroders unterschiedliche Effekte auf die Sauberkeit der geernteten Rüben haben. Einige Erntemaschinen sind mit speziellen Reinigungssystemen ausgestattet, die den Fremdbesatz verringern. Ladeverfahren auf dem Feld und in die Bahnwagen beeinflussen den Fremdbesatz ebenfalls. In der Schweiz werden die Zuckerrübenhaufen auf den Feldern mehrheitlich mit Verlademäusen auf Anhänger geladen. Nebst der Einstellungen bei den Reinigungselementen entscheidet die Arbeitstiefe der Aufnahmeelemente, wieviel zusätzliche Erde in den Gutstrom gelangen. Beim Laden in die Bahnwagen kann eine zusätzliche manuelle oder automatische Reinigung den Fremdbesatz minimieren. In letzter Zeit wurde bei den grossen Verladestation die Reinigungselemente entfernt mit dem Ziel, die Erde vollständig in Wagen zu befördern und in der Fabrik entsorgen zu lassen. Auch die Schütttechnik spielt eine Rolle, da Rüben dabei gereinigt oder erneut mit Erde und Pflanzenresten kontaminiert werden können. Erntezeitpunkt und Wetterbedingungen vor und während der Ernte, etwa Trockenheit, Regen oder Frost, beeinflussen ebenfalls die Bodenhaftung. Frost kann den Boden verhärten und Anhaftungen reduzieren, während Regen zu schlammigen Verhältnissen führt, die die Anhaftung von Erde begünstigen. In der Zuckerfabrik erfolgt die Probenahme und Analytik, um den Fremdbesatz zu bewerten und zusammen mit dem vordefinierten Analysenprozess die Basis für die individuellen Abrechnungen zu liefern.

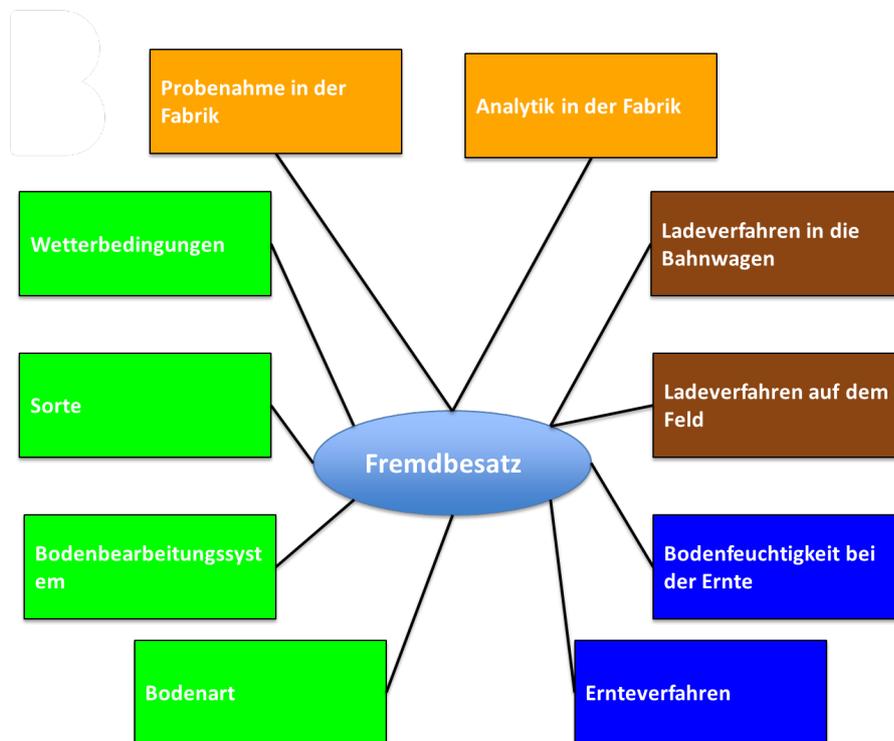


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Einflussgrößen auf den Fremdbesatz bei der Anlieferung von Zuckerrüben in der Fabrik.

1.2 Stichprobenentnahme in der Fabrik

Aus jeder Rübenlieferung wird in der Fabrik eine Probe entnommen und analysiert. Neben der Bestimmung des Zuckergehaltes, der Alkaligehalte und des Alpha-Amino-Stickstoff-Gehaltes wird bei der Anlieferung in der Zuckerfabrik auch der Fremdbesatz in Form von Erde, Steinen, Rübenköpfen, Rübenblättern, Unkraut und anderen fremden Bestandteilen erhoben. Die Probenentnahme und Analyse erfolgen dabei gemäß einer von der Schweizer Zucker AG (SZU) und dem Schweizerischen Verband der Zuckerrübenpflanzer (SVZ) genehmigten Methode, die in einem gemeinsam erstellten Methodenkatalog definiert wurde. Gemäss diesem Katalog werden mithilfe von Probestechern repräsentative Rübenproben entnommen. Im Falle von Lieferungen mit Straßenfahrzeugen erfolgt die Probenentnahme nach dem Zufallsprinzip, während bei Bahnwagen gemäss Abbildung 1 zwei reguläre Proben mit einem Abstand von $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ der Wagenbreite von der Seitenwand entnommen werden (Abbildung 2) (Schweizer Zucker AG (SZU) und Schweizerischen Verband der Zuckerrübenpflanzer (SVZ) 2022).

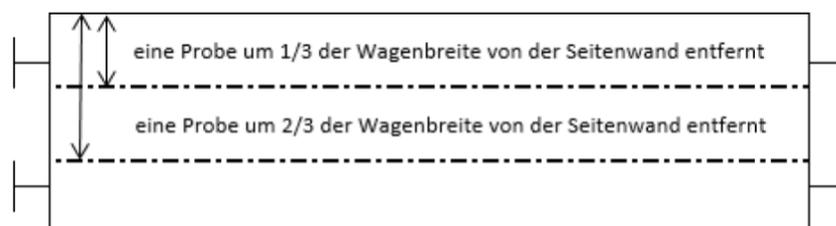


Abbildung 2: Vordefinierte Bereiche (Abstand zur Seitenwand) für die Entnahme der zwei regulären Proben zur Analyse der Zuckerrüben bei Anlieferung per Bahnwagen.

Da es in der Regel nicht praktikabel und auch nicht kosteneffizient ist, eine komplette Erhebung der Grundgesamtheit (= Population) durchzuführen, werden Stichproben verwendet. Hauptziel der Stichproben besteht darin, Informationen über Merkmale und deren Verhalten innerhalb der Population zu erhalten. Es kann aber nie hundertprozentig von einer Stichprobe auf die Population geschlossen werden. Um zu gewährleisten, dass die Stichproben dennoch möglichst repräsentativ sind, werden diese nach einem bestimmten Zufallsmechanismus gezogen. Bei einer einfachen Zufallsstichprobe hat jede Teilmenge und somit auch jede Untersuchungseinheit der Grundgesamtheit die gleiche Wahrscheinlichkeit, in die Stichprobe aufgenommen zu werden und eine systematische Verzerrung der Daten wird verhindert. Der beobachtete Anteilswert in der Stichprobe dient als Schätzer für den «effektiven» Anteil in der gesamten Population. Die Genauigkeit dieses Schätzwerts hängt vom Umfang der Stichprobe, der Qualität des Schätzfehlers sowie der Güte der Stichprobe ab und beeinflusst ihre Repräsentativität. (Fahrmeir et al. 2016, 21–23.172)

Dabei hilft die statistische Schätztheorie den Aussagegehalt von Stichproben zu beurteilen – wobei zwischen Punktschätzung und Intervallschätzung unterschieden wird (Faik 2015, S. 293–304; Fahrmeir et al. 2016, S. 337–356).

1. Bei der Punktschätzung versucht man, einen bestimmten Parameterwert der Population (normalerweise den Erwartungswert und die Varianz) mittels Schätzfunktion möglichst genau zu schätzen.
2. Bei der Intervallschätzung werden, wie der Name schon andeutet, sogenannte Konfidenzintervalle für das Schätzergebnis berechnet. Dabei wird anhand der Irrtumswahrscheinlichkeit (α) angegeben, wie wahrscheinlich es ist, dass sich der «effektiven» Parameter der Population nicht innerhalb des berechneten Intervalls befindet. Der «wahre» Wert befindet sich somit mit einer Wahrscheinlichkeit von $1 - \alpha$ innerhalb des Intervalls.

Die Schätzfunktion muss dabei folgende Anforderungen erfüllen (Faik 2015, S. 294–297):

1. **Erwartungstreue** bedeutet, dass der Erwartungswert des Stichprobenparameters nur geringfügig vom Grundgesamtheitsparameter abweicht, es besteht also nur eine geringe Verzerrung (Bias) des «effektiven» Wertes. Diese Verzerrung nimmt mit zunehmender Stichprobengröße ab.
2. **Konsistenz** der Schätzfunktion bedeutet, dass sowohl die Verzerrung als auch die Varianz der Schätzfunktion mit zunehmender Stichprobengröße gegen Null konvergieren, was zu einer immer genaueren Annäherung an den «effektiven» Parameterwert der Population führt.
3. **Effizienz**: Als effizient wird jene Schätzfunktion bezeichnet, welche unter allen unverzerrten Schätzfunktionen die geringste Varianz aufweist, und somit die genaueste Schätzung liefert.

Diese Anforderungen können anhand der Maximum-Likelihood-Methode berechnet werden (Faik 2015, S. 295–296).

Es zeigt sich, dass der Umfang und die Zufälligkeit einer Stichprobe deren Repräsentativität beeinflusst. Durch die Entnahme einer Vielzahl von Proben an zufälligen Punkten in den verschiedenen Bereichen des Bahnwagens, soll der Fremdbesatzanteil möglichst genau geschätzt und Verzerrungen minimiert werden. Indem eine grössere Anzahl von Proben genommen wird und diese über den gesamten Wagen verteilt werden, kann sichergestellt werden, dass die erhaltene Schätzung repräsentativ für die gesamte Charge ist und nicht durch lokale Variationen verzerrt wird.

1.3 Interpolations-Methoden – Schätzung der Fremdbesatz-Verteilung in Bahnwagen

Geostatistische Methoden zur räumlichen Interpolation ermöglichen es, basierend auf vorhandenen Messwerten (=Stützpunkte) die Merkmalsausprägungen von Geodaten und deren Verteilung in einem bestimmten Bereich für nicht beprobte Punkte zu schätzen – oder im Rahmen dieser Arbeit den Fremdbesatzanteil innerhalb eines Bahnwagens (Abbildung 3). Für die Modellierung wird ein Netz diskreter Punkte über den zu modellierenden Bereich gelegt, meist ein regelmäßiges rechteckiges Raster. Um genaue Schätzungen zu ermöglichen, sollte dessen Auflösung so gewählt werden, dass sie den Anforderungen des Modells entspricht und in einem sinnvollen Verhältnis zum Abstand der vorhandenen Messdaten steht (Richtwert: 1/5 des mittleren Datenabstandes) (Benndorf 2023, S. 135–138).

Zentrale Schätzungsgrundlage ist dabei die räumliche Veränderlichkeit. Sie beschreibt, wie Merkmale von Messpunkten über einen geografischen Bereich hinweg bezüglich Verteilung und Intensität variieren. Sie gibt Aufschluss über Muster, mögliche Zusammenhänge und Trends innerhalb des untersuchten Raums. Eine Möglichkeit zur Analyse dieser räumlichen Veränderlichkeit einer Variable ist das experimentelle Variogramm, welches direkt aus den gemessenen Daten errechnet wird. Es misst die durchschnittliche quadratische Variation zwischen Paaren von Messungen als Funktion ihres räumlichen Abstands. Es ist ein empirisches Werkzeug zur Darstellung der räumlichen Datenvarianz. Die empirische Autokorrelation stellt ein alternatives Maß zum experimentellen Variogramm dar. Sie beschreibt den Zusammenhang einer Variabel mit sich selbst als Funktion bezüglich der räumlichen Distanz (Benndorf 2023, S. 69–76). Damit repräsentative Werte für die räumliche Veränderlichkeit für jeden beliebigen Punkt auf dem Raster abgeleitet werden können, wird ein mathematisches Modell, das theoretisches Variogramm, erstellt und an das experimentelle Variogramm angepasst. Es ist ein Modellierungswerkzeug und zentrale Eingangsgröße in geostatistischen Interpolationsverfahren (Benndorf 2023, S. 122–126). Generell ergibt sich der Schätzwert (Z^*) an der Stelle x_0 als gewichtetes Mittel der betrachteten Stützpunkte an den Stellen x_1 bis x_n .

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i)$$

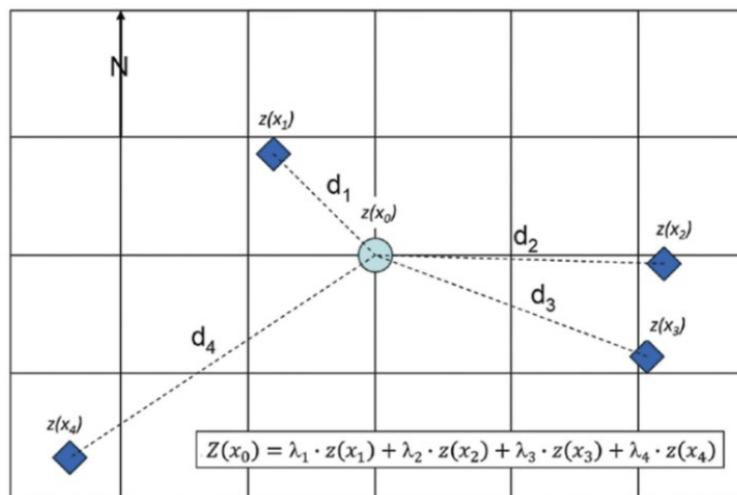


Abbildung 3: Gewichtetes Mittel der Stützwerte (=Messwerte) je Rasterpunkt (Quelle: Benndorf 2023, S. 139)

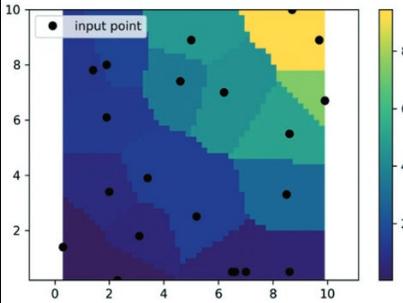
Die Gewichtung (λ_i) jedes Stützpunktes ist entscheidend und berücksichtigt vor allem:

- **Abstand zum Schätzpunkt:** Nähere Datenpunkte erhalten ein höheres Gewicht.
- **Räumliche Variabilität:** Die Gewichte spiegeln die räumliche Veränderlichkeit des Merkmals wider.
- **Clustereffekte**, die durch nahe beieinander liegende Datenpunkte mit redundanten Informationen (vgl. Abb. 2.: $Z(x_2)$ & $Z(x_3)$) entstehen, können zu Verzerrungen der Resultate führen und sollten darum bezüglich Gewichtung berücksichtigt werden.
- **Vermeidung von Fehlschätzungen:** Die Gewichte sollen weder systematische Über- noch Unterschätzungen erzeugen.

Durch die Berücksichtigung aufgelisteter Faktoren können präzise und realitätsnahe interpolierte Werte erzeugt werden (Benndorf 2023, S. 138–139).

In der Geostatistik gibt es mehrere Interpolationsmodelle, die sich hauptsächlich durch den Einbezug der räumlichen Verhältnisse und durch die benötigte Rechenleistung unterscheiden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Überblick und Vergleich häufig verwendeter Interpolations-Methoden

	Nearest-Neighbour-Methode	Inverse Distanzwichtung	Polynom- & Spline-Interpolation	Kriging
Kurzbeschreibung	<p>Die Gewichtung des Stützpunktes ist $\lambda = 1/d$. Somit wird jedem Rasterpunkt der Wert des nächstgelegenen Stützpunktes zugeteilt. Dadurch entstehen polygonale Bereiche mit jeweils dem gleichen Wert.</p> 	<p>Die Gewichtung (λ_i) für die Datenpunkte verringern sich mit zunehmendem Abstand (d_i) umgekehrt proportional. Der Exponent (p) kann durch Anwender definiert werden und bestimmt, wie schnell der Einfluss der Stützpunkte mit der Entfernung abnimmt – je höher p, desto schneller sinkt dieser Einfluss. Bei der Interpolation beeinflussen daher insbesondere auf großen Rastern hauptsächlich die nächstliegenden Datenpunkte die Schätzung.</p>	<p>Bei der Polynom-Interpolation soll mittels Interpolationsfunktion für das entsprechende Wertefeld eine möglichst repräsentative funktionale Darstellung der Fläche erzeugt werden. Dabei gibt es für jede Anzahl Stützpunkte (n) genau eine Interpolationspolynom $(n-1)$-ten Grades, welches durch alle betrachteten Stützpunkte verläuft. Diese Funktion gilt es zu finden.</p> <p>Bei der Spline-Interpolation wird nicht ein einzelnes Polynom für alle betrachteten Stützpunkte errechnet, sondern jeweils eine separate Interpolationsfunktion für jeden einzelnen Intervall zwischen zwei Stützpunkten.</p>	<p>Für eine möglichst genaue Schätzung der unbekanntem Punktweite wird das Merkmal in drei Komponenten zerlegt.</p> $Z(x) = m(x) + S(x) + \varepsilon$ <ol style="list-style-type: none"> deterministischer Trend $m(x)$ (vorhersagbarer grossflächiger Trend der Messdaten) stochastisch korreliertes Signal $S(x)$ (durch Nähe der Datenpunkte entstehendes mittelskalige Muster der Werte) konstantes zufälliges Rauschen ε (nicht durch $m(x)$ und $S(x)$ erklärbare, zufällige Variabilität) <p>$S(x)$ und ε sind im Variogramm erfasst.</p>
Räumliche Veränderlichkeit	wird ignoriert	wird berücksichtigt	wird berücksichtigt	ist Kernfunktion
Genauigkeit und Interpolationsfehler	Variabel – Bei unregelmässiger Verteilung der effektiven unbekanntem Werte können grosse Interpolationsfehler auftreten. Diskontinuität und grosse Sprünge an Polygonrändern möglich.	Mittel – Clustereffekte werden nicht berücksichtigt, womit lokale Bereiche bei der Schätzung überrepräsentiert werden können. Die Wahl des Exponenten basiert auf Erfahrung des Anwenders und ist demnach etwas willkürlich. Hohe Exponenten können zu «BullsEye»-Effekten führen, nadelspitzenartige Abweichungen an den Stützpunkten.	Hoch – Bei Polynominterpolation kann es bereits ab Polynomen 8-ten Grades zu starker Oszillation kommen und somit ungenauen Wertschätzungen zwischen den Stützpunkten. Die Spline-Interpolation wirkt diesem Problem entgegen und liefert weitaus genauere Ergebnisse.	Sehr hoch – Durch die Zerlegung in die einzelnen Komponenten werden die Schätzungen genauer. Die Methode ermöglicht auch Modellierungen für stark trendbehaftete Merkmalsausprägungen. Für komplexere Trendfunktionen ist eine größere Anzahl an Datenpunkten in der unmittelbaren Umgebung erforderlich.
Komplexität und Anwendung	Einfach und rechnerisch effizient	Einfach, rechnerisch effizient und Gewichtung ist intuitiv	Einfach und rechnerisch effizient	rechnerisch aufwändiger
Quelle	(Benndorf 2023, S. 139–140)	(Benndorf 2023, S. 142–144)	(Benndorf 2023, S. 147–149; Bärwolf 2016, S. 129–137; Walz 2020, S. 1–9)	(Benndorf 2023, S. 159–174; Webster 2007, 153-155, 183-184)

Methoden, wie die Nearest-Neighbour-Methode, Inverse Distanzwichtung, oder Polynom- und Spline-Interpolation, erlauben dank ihrer Einfachheit und rechnerischen Effizienz rasch Modelle für einfache Anwendungen zu erstellen, sogar, wenn nur wenige Datenpunkte vorhanden sind. Dafür ziehen sie die räumliche Veränderlichkeit aber oft nur indirekt oder gar nicht mit ein und können teils Unsicherheiten in den Modellen nur bedingt realistisch abschätzen. Demgegenüber ist das Kriging aufwändiger, liefert aber genauere Resultate.

Die Wahl der Methode richtet sich nach den spezifischen Zielen der Analyse, den Merkmalen der Daten und der Genauigkeit der angestrebten Ergebnisse.

1.4 Rahmenbedingungen und Ziele des Projektes

In der Vergangenheit wurde von den Zuckerrübenproduzenten mehrfach Beschwerde wegen zu hohen Fremdbesatzes bei der Zuckerfabrik eingereicht und bezweifelt, ob die angewendete Methode repräsentative Fremdbesatzwerte für den ganzen Bahnwagen liefert. Es wurde angenommen, dass sich die Erde beim Verladen der Rüben ungleichmäßig im Wagen verteilt, besonders bei seitlicher Beladung ohne zusätzliches Absieben der Erde und bei Ernten aus organischen Böden. Aus diesem Grund wurde für den 30.05.2023 an der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) ein Treffen zwischen Vertretern der Zuckerfabrik und der Rübenpflanzer einberufen, an welchem mögliche Ursachen und Lösungsansätze für diese Differenzen besprochen wurden. Im Rahmen dieses Treffens entschied man sich, die HAFL mit einem Projekt zu beauftragen, welches folgende drei Teilaspekte untersuchen und allenfalls Vorschläge für Anpassungen der Methode vorschlagen soll.

1. Analyse der Einflussfaktoren auf den Fremdbesatz auf dem Feld.
2. Verfolgung und Analyse der Transportkette vom Standort der Rübenmiete bis in die Fabrik.
3. Überprüfung der Probenahme-Methode in der Zuckerfabrik Aarberg.

Das Projekt umfasste die Rübenkampagne 2023 und startete im November 2023.

Bis Ende 2023 soll durch zusätzliche Beprobungen der Zuckerrübenlieferungen per Bahn geprüft werden, ob die heute in der Zuckerrübenfabrik Aarberg verwendete Methode zur Ermittlung des Fremdbesatzes repräsentativ für den «effektiven» Fremdbesatz im einzelnen Bahnwagen liefert.

Dabei soll geklärt werden, wie...

1. ... genau die zwei regulären Proben im Mittelwert dem «effektiven» Anteil Fremdbesatz der Lieferung entsprechen?
2. ... der Fremdbesatz bei Ankunft in Aarberg über den Bahnwagen verteilt ist?
3. ... sich die Varianz des mittleren Fremdbesatzes verhält, wenn die Anzahl Proben zu dessen Erhebung verändert werden?

2 Material und Methode

2.1 Einfluss von Jahr und Verladeort auf den Fremdbesatz

Um die Faktoren zu analysieren, die den Anteil des Fremdbesatzes beeinflussen, stellte die Schweizer Zucker AG eine Datei im Excel-Format zur Verfügung, welche die wichtigsten Informationen über die Lieferungen an die beiden Zuckerfabriken zwischen 2011 und 2023, insgesamt 738.461 Lieferungen für alle Transportarten (Strasse und Schiene) enthält :

- Auftragsnummer (Probenummer),
- zusätzliche Lieferung (ja oder nein),
- Pflanzernummer,
- Lieferdatum,
- Nettogewicht der Rüben,
- Ankunftsort,
- Name der Verladestation (nur für Schienentransport)
- Fremdbesatz (in %).

Zur effizienten statistischen Auswertung dieser Daten wurde ein Skript in der R-Software (Version 2022.07.2 Build 576) erstellt, das insbesondere die Durchführung von ANOVA-Varianzanalysen ermöglichte. Die ANOVA ist ein statistischer Test, der verwendet wird, um Unterschiede zwischen den Mittelwerten von mehr als zwei Gruppen zu bewerten. So kann untersucht werden, ob eine Differenz von Mittelwerten durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird oder zufällig ist. Vor der statistischen Analyse wurden die Daten zur Verbesserung der Normalverteilung logarithmisch transformiert.

2.2 Analyse der Transportkette

Verschiedene Verlademethoden auf dem Feld und an den Bahnhöfen wurden mittels Fotoprotokolle charakterisiert und analysiert.

2.3 Voruntersuchung der Probenahme bei Bahnwagen mit 15 zusätzlichen zufälligen Proben

In einem ersten Schritt wurde am 7. November 2023 in der Zuckerfabrik Aarberg die Beprobung von zwei Rübenlieferungen mit zusätzlichen 15 Proben je Lieferung durchgeführt. Hauptziel dieser Beprobungen war die Erhebung der Heterogenität des Fremdbesatzes innerhalb des Wagens und die Varianz des mittleren Fremdbesatzes in Abhängigkeit der Probenzahl zu ermitteln. Die erste Lieferung wurde in Chavornay mit einer stationären Anlage beladen, jene aus Yvonand mit der Bahnratte. Alle Lieferungen wurden in offenen Güterwagen des Typs EAOS 532 mit einer Ladefläche von 12800 x 2760 mm transportiert.

Alle Beprobungen und die anschliessende Ermittlung des Anteils an Fremdbesatz erfolgten entsprechend dem Methodenkatalog (Kurzversion) für die Rübenübernahme und Rübenuntersuchung durch die Schweizer Zucker AG (Schweizer Zucker AG (SZU) und Schweizerischen Verband der Zuckerrübenpflanzer (SVZ) 2022). Für die Beprobungen wurde das betriebseigenen Entnahmesystem verwendet (Hersteller: Venema Sugar Installations, Teilautomatisierung 2017 durch Alpiq (heute Bouygues); Unterhalt: Bouygues (Alpiq Gruppe 2017)).

Bei beiden Lieferungen wurden zuerst die zwei regulären Proben entsprechend den Vorgaben aus dem Methodenkatalog entnommen und deren Koordinaten von der Systemanzeige notiert (vgl. Abb. 4 und 5). Diese Proben wurden durch den Stecher automatisch bei 1/3 der Wagenfläche und 3 m, sowie 2/3 der Wagenfläche und 9 m entnommen. Für die Erhebung wurden anschliessend zusätzliche Proben an 15 vordefinierten Punkten entnommen. Dabei wurde folgendermassen vorgegangen:

– Festlegung der Koordinaten für die 15 Probenahmepunkte:

Über den Bahnwagen wurde ein an der Y-Achse gespiegeltes XY-Koordinatensystem gelegt mit dem Nullpunkt (0/0) auf der Wagenecke 'vorne rechts', die am nächsten beim Führerhaus des Stachers ist (Abbildung 4) Um Schäden an Probestecher und Bahnwagen zu vermeiden, wurde ein Mindestabstand der äussersten Probenahmepunkte von deren Mitte zur Wagenwand von 40 cm definiert. Der dadurch entstandene Rand

wurde für die Probenahme nicht berücksichtigt. Die Restfläche wurde in 15 (3 x 5) Teilflächen unterteilt. Die Probeentnahme erfolgte an den Eckpunkten dieser Restfläche (Proben 1, 3, 13, 15), sowie an zufällig festgelegten Punkten innerhalb der restlichen Teilflächen.

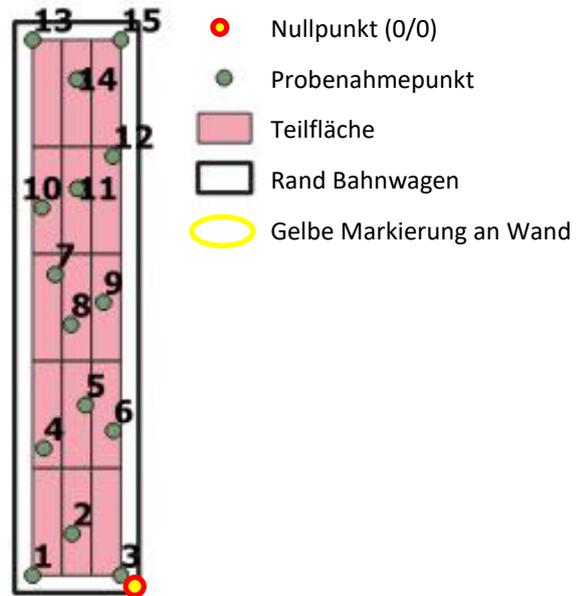


Abbildung 4: Bahnwagen TYP EAOS 532 in der Beprobungsgasse (links) und zufällige Verteilung der Probenahmepunkte zur Erhebung der Heterogenität des Fremdbesatzes innerhalb des Wagens (rechts)

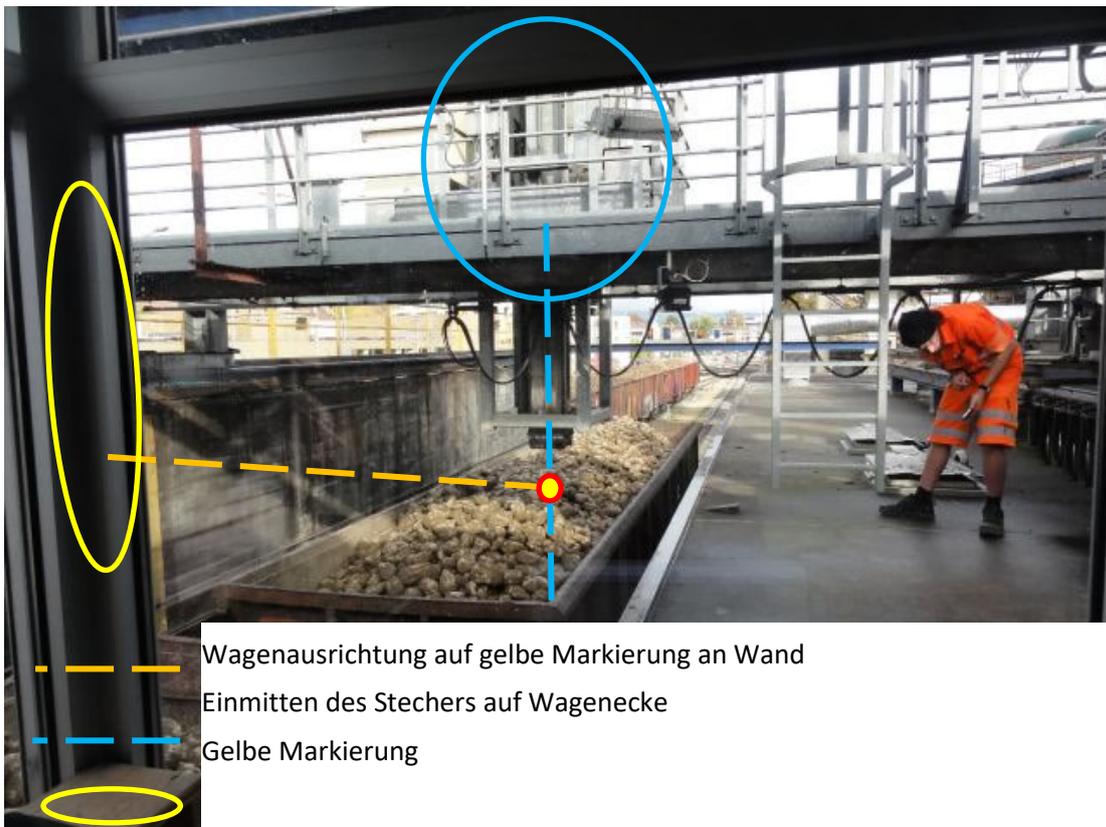


Abbildung 5: Fabrikmitarbeiter beim Einmitten des Stechers über der Wagenecke (vorne rechts) bei auf die gelbe Markierung vorgezogenen Bahnwagen



Abbildung 6: Anzeigebildschirm für den Probenahmeprozess (links) mit Ausschnitt der Darstellung des Probestechers mit Angabe der Koordinaten (rechts, rote Kreise).
X-Koordinaten = "Katze", Y-Koordinaten = "Brücke"

Wagen Nr.	315659639308		Laufnummer	53748	Herkunft:	Chavornay			
	Koordinaten Nullpunkt angepasst 'vorne rechts'								
	X (Katze)	Y (Brücke)							
Alle Angaben in cm	274		5						
autom. Probenahme					X autom.	Y autom.	Probennummer		
a					452	299	53748_0		
b					359	902	53748_1		
					bei Abweichung von "X/Y-angepasst" ausfüllen		Rückrechnung auf 0/0 neu 'vorne rechts'		
Punkt Nr	X Ursprung	Y Ursprung	X angepasst	Y angepasst	X effektiv	Y effektiv	Probennummer	x	y
1	236	40	510	45	487	41	90000	-213	36
2	148	132	422	137	420	134	90001	-146	129
3	40	40	314	45	311	45	90002	-37	40
4	211	324	485	329	488	332	90003	-214	327
5	119	421	393	426	396	421	90004	-122	416
6	57	363	331	368	333	368	90005	-59	363
7	186	713	460	718	458	715	90006	-184	710
8	151	601	425	606	421	609	90007	-147	604
9	78	651	352	656	351	658	90008	-77	653
10	215	863	489	868	490	864	90009	-216	859
11	137	906	411	911	407	916	90010	-133	911
12	57	978	331	983	335	983	90011	-61	978
13	236	1240	510	1245	491	1199	90014	-217	1199
14	138	1151	412	1156	410	1091	90015	-136	1091
15	40	1240	314	1245	296	1198	90013	-22	1198
16					488	1067	90012	-214	1062

Abbildung 7: Vorbereitete Tabelle mit angepassten Koordinaten der Probenahmepunkten.

– Entnahme der 15 Proben:

Für eine genaue Erfassung der Probe-Koordinaten wurde der Bahnwagen entsprechend der gelben Markierung an der Wand platziert. Anschliessend wurde der Stecher von Auge über der Wagenecke vorne rechts eingemittet (Abb. 4).

Die auf dem Anlagebildschirm angezeigten Koordinaten des Stechers entsprechen dem Nullpunkt des Stechers und wurden in das zuvor vorbereitete Excel-File bei «Koordinaten Nullpunkt angepasst» eingetragen (Abb. 6). Dabei entspricht die X-Koordinate dem Wert «Katze», die Y-Koordinate dem Wert «Brücke» auf dem Anzeigebildschirm (Abb. 5). Dadurch wurde die Excel-Tabelle auf die aktuelle Position des Stechers als Nullpunkt geeicht. Die soeben eingetragenen Werte wurden zu den zuvor definierten Probenahmepunkten (X / Y Ursprung) addiert und ergeben die Werte «X angepasst» und «Y angepasst». Für die Entnahme der 15 Proben wurde der Stecher manuell möglichst präzise an den der am Nullpunkt angepassten Koordinaten positioniert. Die exakte Position des Stechers (X / Y effektiv) wurde zusammen mit der fabrikkinternen Probennummer im Excel Sheet vermerkt. Anhand der effektiven Koordinaten der Proben und des angepassten Nullpunkts berechnete Excel sogleich die Koordinaten für ein Koordinatensystem ohne Spiegelung an der Y-Achse (Abb. 6 – Rückrechnung auf 0/0 = neu 'vorne rechts'). Da die Reichweite des Stechers nicht für die Proben 13 bis 15 ausreichte, musste der Bahnwagen für diese Proben um 130 cm in Richtung Führerhaus (Y-

Achse) vorgezogen werden. Die effektiven Koordinaten wurden in Excel entsprechend korrigiert. Bei der Lieferung aus Chavornay wurde fälschlicherweise eine dieser Proben genommen, bevor der Wagen neu positioniert wurde. Diese Probe ist in Abbildung 5 rot umrandet und wurde in den Analysen der Daten nicht berücksichtigt.

Anschließend wurden die einzelnen Proben gemäss Methodenkatalog (Kurzversion) für die Rübenübernahme und Rübenuntersuchung durch die Schweizer Zucker AG (Schweizer Zucker AG (SZU) und Schweizerischen Verband der Zuckerrübenpflanzer (SVZ) 2022) auf deren Fremdbesatz, Gehalte und Ausbeute analysiert. Im Weiteren wird nur auf den Fremdbesatz eingegangen.

Die Resultate für den Fremdbesatz wurden anhand der notierten fabriken internen Probennummer den entsprechenden Koordinaten zugewiesen. Für die statistische Auswertung wurden die Programme QGIS (Version 3.34.0-Prizren) und RStudio (Version 2023.09.1 Build 494) verwendet.

Simulation des Einflusses von der Anzahl Proben auf die Varianz und den «effektiven» Mittelwert des gemessenen Fremdbesatzes:

Mithilfe des Binomialkoeffizienten $C(n,k)$ wurde für sämtlich mögliche Kombinationen der 15 Proben berechnet, wie sich die Varianz der Mittelwerte für Fremdbesatz der entnommenen Proben verändert in Abhängigkeit der Anzahl Proben pro Wagen. Der Binomialkoeffizient wurde mit folgender Formel berechnet:

$$C(n, k) = \frac{n!}{k! (n - k)!}$$

Dabei wurden Probenanzahlen ab 14 von 15 Proben bis 2 von 15 Proben berücksichtigt. Die ermittelten Durchschnittswerte bildeten die Grundlage für die Berechnung der Varianz innerhalb jeder Probenanzahl.

Für die Berechnung und Darstellung der Varianzen nach Kombinationsgrösse wurde die Software R 4.3.1 mit den Packages «openxlsx» (Schauberger und Walker 2023), «readxl» (Wickham und Bryan 2023), «writexl» (Ooms 2024), «dplyr» (Wickham und François 2023), «ggplot2» (Wickham 2016), «gridExtra» (Auguie 2017), «patchwork» (Pedersen 2024) und «rstudioapi» (Ushey et al. 2023) verwendet.

– Prüfung Homogenität der Fremdbesatzverteilung im Bahnwagen mittels Kriging:

Ausgehend von den 15 gesammelten Proben wurde eine Fremdbesatzkarte des Bahnwagens mittels Simple Kriging erstellt. Wie bereits unter 3. *Interpolations-Methoden* beschrieben, ist Kriging eine Methode aus der Geostatistik, mit welcher Werte für Standorte ohne vorliegende Stichprobe anhand benachbarter erhobener Messwerte (=Stützpunkte) und deren Distanz zum gesuchten Standort durch Interpolation abgeschätzt werden können. Das Kriging zeichnet sich durch eine hohe Schätzgenauigkeit aus und ermöglicht auch Modellierungen für stark trendbehaftete Merkmalsausprägungen. Beim Simple Kriging wird dabei davon ausgegangen, dass der Mittelwert (μ) der erhobenen Werte und somit die Trendkomponente $m(x)$ als konstant angesehen werden können (Webster 2007, S. 153–184; Benndorf 2023, S. 163). Für das simple Kriging wurde in QGIS das Plugin «Processing Saga NextGen Provider» (Olaya 2023) verwendet (Tabelle 2). Dann wurde das kartesische Koordinatensystem, welches für die Probennahme erstellt wurde (gesamten Fläche des Bahnwagen) durch eine Z-Achse mit den durch das Simple Kriging interpolierten Analysewerte ergänzt.

Tabelle 2: Parametereinstellung simple Kriging in QGIS

Parameter	Value
Attribut:	FB (= Fremdbesatz)
Type of Quality Measure:	Standard deviation
Logarithmic Transformation:	No
Block Kriging:	No
Maximum Distance:	1.000000
Lag Distance Classes:	100
Skip:	1
Model:	$a + b * c$
Target Grid System:	User defined
Cellsize	25.000000
Left:	1.000000
Right:	276.000000
Bottom:	4.000000
Top:	1279.000000
Fit:	Nodes
Search Range	Global
Number of Points:	All points within search distance

– Simulation der paarweisen Probe-Entnahme mit den interpolierten Werten:

Auf der berechneten Fremdbesatzkarte basierend wurde dann eine paarweise Probenahme simuliert. Entsprechend dem Methodenkatalog (Kurzversion) für die Rübenübernahme und Rübenuntersuchung durch die Schweizer Zucker AG (Schweizer Zucker AG (SZU) und Schweizerischen Verband der Zuckerrübenpflanzer (SVZ) 2022) wurden die zwei simulierten Proben jeweils mit einem

Abstand von 1/3 und 2/3 der Wagenbreite zur Seitenwand definiert. Insgesamt wurden 120 Probenpaare an jeweils zufälligen Punkten auf diesen Linien definiert. In QGIS wurden dazu zwei Polygone über die Fremdbesatzkarte gelegt, und mit dem Forschungswerkzeug "Zufällige Punkte in Polygon" Punkte für die simulierte Probenahme erstellt. Dabei wurde keine minimale Distanz der Punkte vorgegeben. Diesen Probepunkten wurde anschliessend mit der Funktion "Sample raster value" der jeweilige Wert der Fremdbesatzkarte (Rasterlayers) und mit der Attributfunktion "Open field calculator" die entsprechende X- und Y-Koordinate zugewiesen (Abbildung 8).

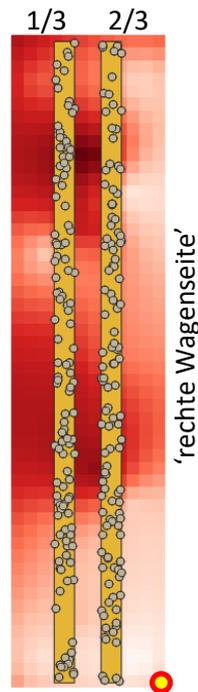


Abbildung 8: Interpolierte Fremdbesatzkarte mit darüber gelegten Polygonen für die simulierte Probenahme (1/3 und 2/3 der Wagenbreite) und zufällig generierten Probepunkten

2.4 Hauptuntersuchung der Probenahme bei Bahnwagen mit sechs zusätzlichen zufälligen Proben

In einem zweiten Schritt wurden dann aufgrund der Resultate der Voruntersuchung weitere neun Lieferungen mit lediglich sechs zusätzlichen Proben analysiert, wobei der Hauptfokus auf der Abweichung des Fremdbesatzanteil zwischen den zusätzlichen Proben (angenähertem «effektivem» Fremdbesatz) und den zwei regulären Proben lag. Dabei wurden jeweils drei Lieferungen aus Nyon (14. Dezember 2023), Chavornay (19. Dezember 2023) und Cossonay (20. Dezember 2023) beprobt. In Nyon werden die Wagen mittels Bahnrate beladen, in Chavornay und Cossonay mit einer stationären Verladestation. Auch für die Hauptuntersuchung wurden alle Beprobungen und die anschliessende Ermittlung des Anteils an Fremdbesatz entsprechend dem Methodenkatalog (Kurzversion) für die Rübenübernahme und Rübenuntersuchung durch die Schweizer Zucker AG (Schweizer Zucker AG (SZU) und Schweizerischen Verband der Zuckerrübenpflanzer (SVZ) 2022) durchgeführt und das betriebseigenen Entnahmesystem verwendet (Hersteller: Venema Sugar Installations, Teilautomatisierung 2017 durch Alpiq (heute Bouygues); Unterhalt: Bouygues (Alpiq Gruppe 2017)). Alle Lieferungen wurden in offenen Güterwagen des Typs EAOS 532 mit einer Ladefläche von 12800 x 2760 mm transportiert.

– Beprobung der Lieferungen mit zusätzlichen sechs Proben

Das Vorgehen bei den Probenahmen mit zusätzlichen sechs Proben entspricht im Grundsatz jenem der Voruntersuchung mit 15 zusätzlichen Proben. Bei allen Lieferungen wurden ebenfalls zuerst die zwei regulären Proben entsprechend den Vorgaben aus dem Methodenkatalog entnommen und deren Koordinaten von der Systemanzeige notiert. Für die Erhebung wurden anschliessend bei allen neun Lieferungen zusätzliche Proben an sechs vordefinierten Punkten entnommen.

B

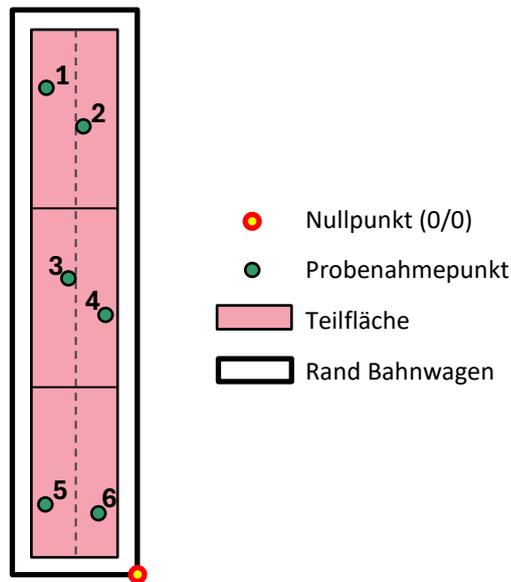


Abbildung 9: Zufällige Verteilung der sechs Probenahmepunkte zur Erhebung des Fremdbesatzes.

Die Koordinaten für die Probepunkte wurden wie folgt generiert (vgl. Abb. 8). Auch für diese Beprobung wurde über den Bahnwagen ein an der Y-Achse gespiegeltes XY-Koordinatensystem gelegt mit dem Nullpunkt (0/0) auf der Wagenecke 'vorne rechts', die am nächsten beim Führerhaus des Stechers ist. Die durch Abzug des Mindestabstandes von 40 cm zur Wagenwand entstandene Restfläche wurde in ein vorderes, mittleres und hinteres Drittel unterteilt, die wiederum in zwei Teilflächen entlang der X-Achse geteilt wurden. Die Probeentnahme innerhalb der Teilflächen erfolgte zufällig.

– Statistische Auswertung der Hauptuntersuchung

Für die Analysen der neun Lieferungen wurde ein gemischtes lineares Modell verwendet. Das Modell setzte sich wie folgt zusammen:

$$\ln(\text{FB}) = \mu + \text{Probeartfix} \times \text{Ortfix} + \text{Wagenrandom} + \text{Restrandom}$$

Die Parameter sind in Tabelle 3 zusammen gefasst.

Tabelle 3: Variablen lineares Modell

Variabel	Kommentar
FB:	= Fremdbesatz
Probeart:	= reguläre Probe (R), zusätzliche Proben (S)
Ort:	= Nyon, Chavornay, Cossonay
Wagen:	= Nyon_W612-2, Nyon_W710-1, Nyon_W206-8, Chavornay_W216-4, Chavornay_W508-2, Chavornay_W922-5, Cossonay_W119-7, Cossonay_W136-1, Cossonay_W134-6

Für die Analysen wurde die Zielvariable logarithmisch (ln) transformiert. Die Modellergebnisse werden auf die Originalskala zurück transformiert. Gearbeitet wurde mit der Software R 4.3.1 und den Paketen «tidyverse» (Wickham et al. 2019), «sjPlot» (Lüdecke 2021a), «sjmisc» (Lüdecke 2018), «sjlabelled» (Lüdecke 2021b), «multcompView» (Graves et al. 2019), «ggpubr» (Kassambara 2020), «lmerTest» (Kuznetsova et al. 2017), «emmeans» (Lenth 2020) und «ggplot2» (Wickham 2016).

Die statistischen Berechnungen erfolgten mit dem Programmpaket R-Studio (Version 2022.07.2 Build 576).

3 Resultate und Diskussion

3.1 Einflussgrößen auf den Fremdbesatz aufgrund der Analysen der Daten von 2011 bis 2023

Der in den zwischen 2011 und 2023 angelieferten Zuckerrüben gemessene Fremdbesatz wurde durch die untersuchten Faktoren Anlieferungsmonat, Lieferjahr, Verladeort und Fabrik signifikant beeinflusst (Tabelle 4).

Tabelle 4: Varianzanalysetabelle für den Messparameter 'Fremdbesatz' in Zuckerrüben gemessen an den Standorten Aarberg und Frauenfeld (2011 – 2023).

Untersuchungsfaktoren	P-Wert
Monat	***
Jahr	***
Verladeort	***
Fabrik	***

Die Werte des Fremdbesatzes nahmen im Verlauf des Herbstes vom September (5.20 %) bis Dezember (6.97 %) immer zu, die Mittelwerte in den einzelnen Monaten unterschieden sich signifikant (Abbildung 10). Diese Zunahme kann einerseits durch die in der Regel zunehmende Bodenfeuchtigkeit, andererseits durch das fortschreitende Wachstums der Rüben und damit einer Zunahme der Rübenoberfläche verursacht werden.

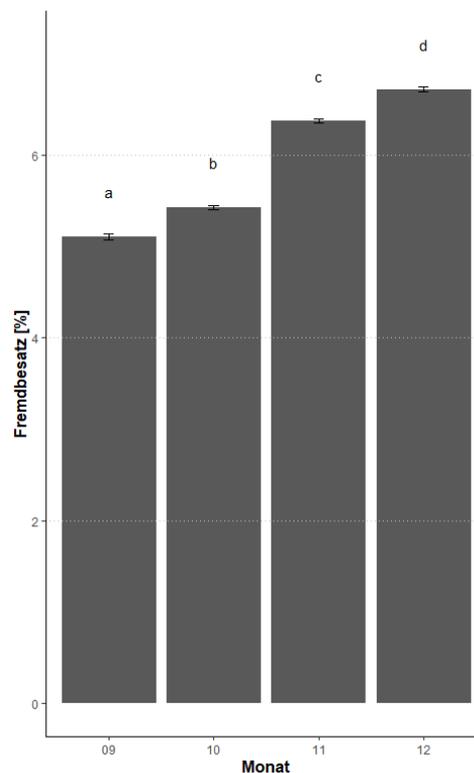


Abbildung 10: Durchschnittlicher Fremdbesatz mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen angelieferten Zuckerrüben jeweils in den Monaten September bis Dezember an den Standorten Aarberg und Frauenfeld zwischen 2011 und 2023. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).

Der Fremdbesatz über alle Jahre gerechnet betrug 6.07 %. Die Verteilung der Jahresmittelwerte des Fremdbesatzes zwischen 2011 und 2023 bewegte sich zwischen den Extremwerten von 3.46 % im 2015 bis 8.83 % im 2020 (Abbildung 11).

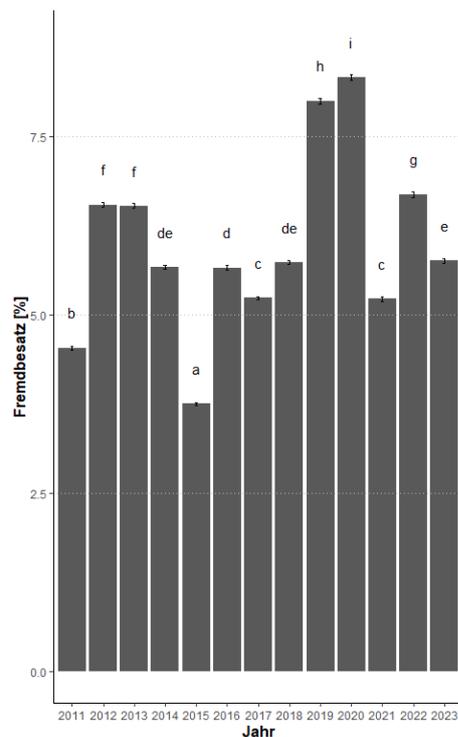


Abbildung 11: Durchschnittlicher Fremdbesatz pro Jahr mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen angelieferten Zuckerrüben an den Standorten Aarberg und Frauenfeld zwischen 2011 und 2023. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).

Die jeweiligen Jahresniederschläge an den Standorten Zollikofen und Winterthur/Seen (Tabelle 5: Jährliche Niederschlagsmengen (mm) an den Standorten Zollikofen und Winterthur/Seen zwischen 2011 und 2023 (Quelle: Meteoschweiz) .) zeigen, dass die Extremwerte im 2011, 2015 und 2019 mit den überdurchschnittlich hohen resp. geringen Niederschlägen korrelieren. Im 2020 hingegen regnete es in der Westschweiz überdurchschnittlich, wogegen in der Ostschweiz wenig regnete. Insofern könnte ein Zusammenhang zwischen Fremdbesatz und Jahresniederschläge bestehen. Eine genauere Analyse mit Einbezug des Standortes der Felder und des Erntezeitpunktes könnte weitere Hinweise auf mögliche Korrelationen liefern.

Tabelle 5: Jährliche Niederschlagsmengen (mm) an den Standorten Zollikofen und Winterthur/Seen zwischen 2011 und 2023 (Quelle: Meteoschweiz) .

Jahr	Zollikofen	Winterthur/Seen
2011	789	944
2012	1128	1412
2013	1113	1258
2014	1034	1219
2015	768	986
2016	1056	1313
2017	854	1077
2018	907	911
2019	999	1201
2020	1037	997
2021	1137	1233
2022	895	987
2023	1080	1190
Mittelwert	984	1133

Auch bezüglich Verladeort gibt es signifikative Unterschiede des Fremdbesatzes. In Beringen/SH betrug der durchschnittliche Fremdbesatz 4.24 % und in Chavornay resp. Cossonay über 7.4% (Abbildung 12). Die Werte in Beringen, Marthalen und Neunkirch, im Grenzgebiet Schaffhausen/Zürcher Weinland, waren signifikant am tiefsten und in Chavornay, Cossonay-Penthalaz, Delémont, Ependes, und Nyon, alles Standorte in der Westschweiz, signifikant am höchsten. Diese Unterschiede lassen sich weder durch unterschiedliche Böden (es hat in beiden Gebieten extrem leichte und extrem schwere Böden) noch durch die Jahresniederschläge erklären. Möglicherweise könnte auch bei diesen Einflussfaktoren eine detailliertere Untersuchung unter Einbezug von georeferenzierten und zeitkritischen Feldparametern Aufschluss über mögliche Ursachen liefern.

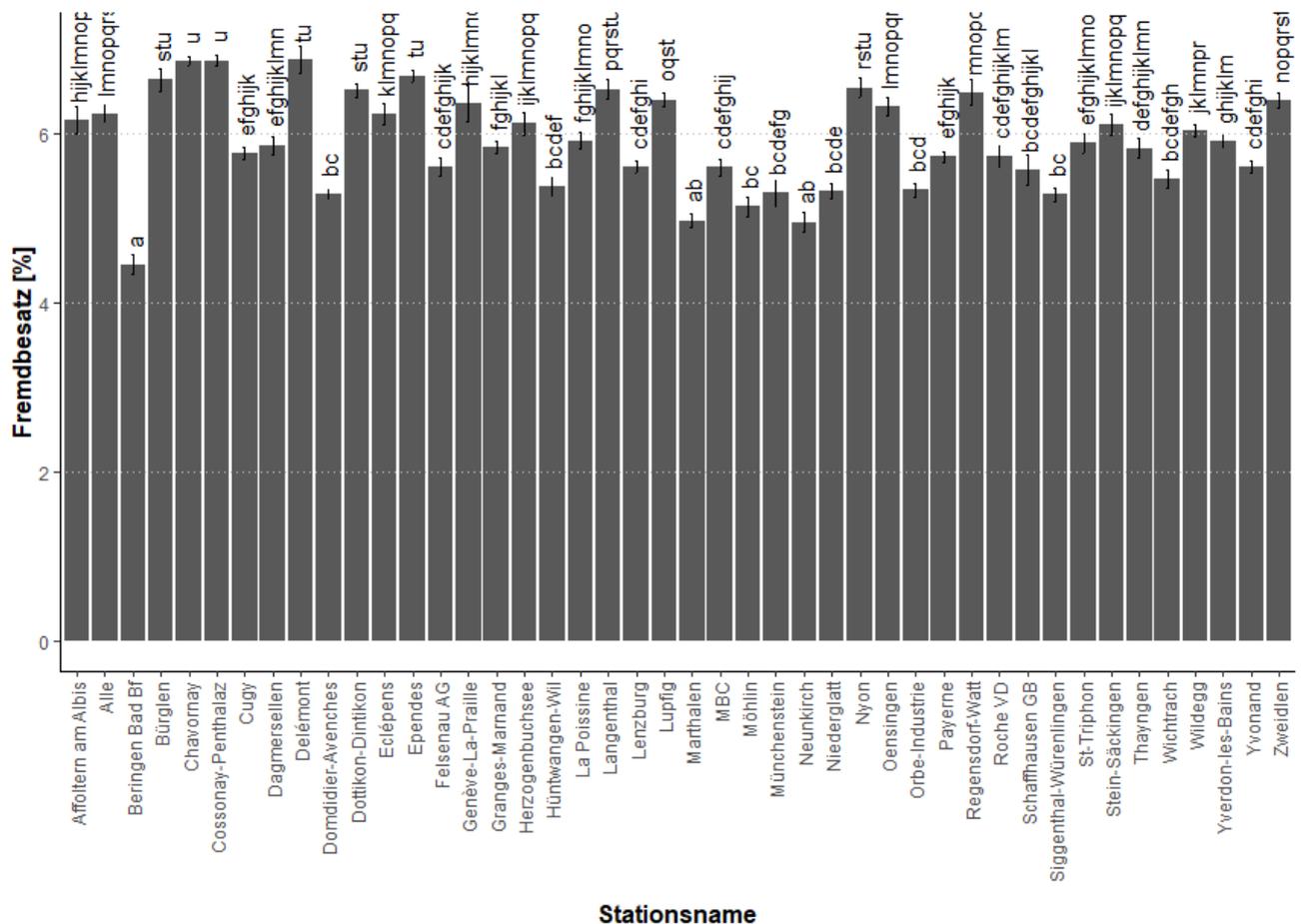


Abbildung 12: Durchschnittlicher Fremdbesatz mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen angelieferten Zuckerrüben aufgeteilt nach Verladeort zwischen 2011 und 2023. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).

Die Aufteilung des Fremdbesatzes nach Jahr der im Rahmen dieser Studie untersuchten Verladeorte Chavornay, Cossonay-Penthalaz, Nyon und Yvonand bestätigt die Beobachtungen der durchschnittlichen jahreseffekte (Abbildung 11), indem überall im 2025 die niedrigsten und im 2020 die höchsten Werte gemessen wurden (Abbildung 13). Nebst den Jahreseffekten könnten die Unterschiede zwischen den verschiedenen Verladeorten auch durch die Verladesysteme erklärt werden (Abbildung 14). Die Durchschnittswerte nach Direktverlad mit einer Rübenmaus, dem Verlad über eine stationäre Anlage mit Enterder und einer Hochrampe waren signifikant tiefer als diejenigen beim Verlad mit Bahnratte und Verlad über eine stationäre Anlage ohne Enterder. Der Unterschied zwischen dem Direktverlad mit einer Rübenmaus und dem stationären Verlad ohne Enterder betrug 1.33 %. Da der Beobachtungszeitraum sehr weit war konnte der Unterschied zwischen Bahnratte und Direktverlad mit Rübenmaus nicht mehr zweifelsfrei definiert werden.

Ursprünglich waren die stationären Verladeanlagen in Chavornay und Cossonay-Penthalaz mit einer Enterdungsanlage ausgerüstet, die vor der Saison 2019 entfernt wurden. Seither können im Vergleich zu Yvonand mit Verlad durch Bahnratte subjektiv höhere Werte beobachtet werden. Die Werte, die in Rüben aus Nyon gemessen wurden, sind meistens vergleichbar mit denjenigen aus Chavornay und Cossonay-Penthalaz,

wobei die Maximalwerte in den Jahren 2020 und 2022 noch höher sind. Zur Erklärung dieser Unterschiede müssten ebenfalls die Felddaten und detaillierte Meteodaten mit einbezogen werden.

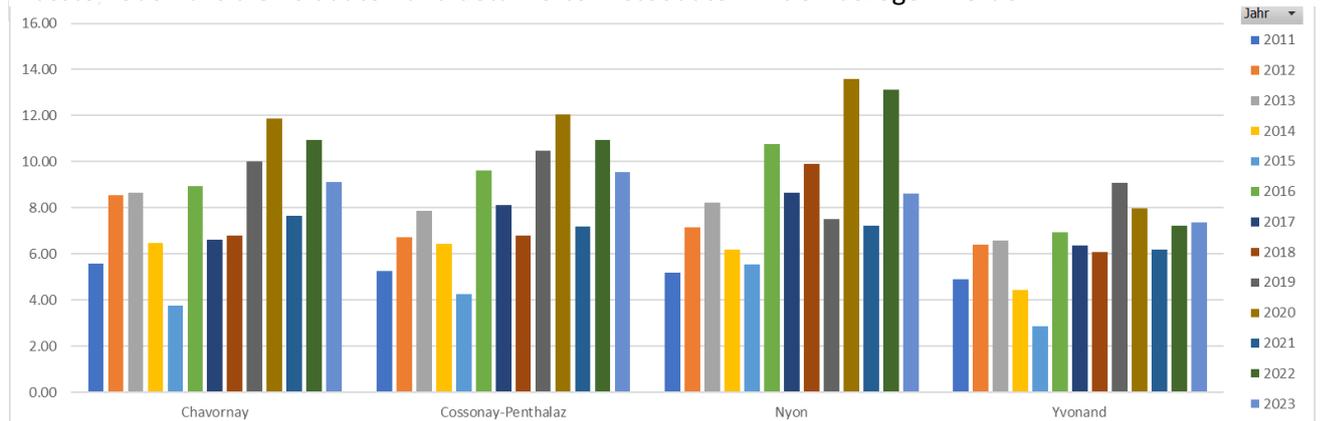


Abbildung 13: Durchschnittlicher Fremdbesatz pro Jahr mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen angelieferten Zuckerrüben aufgeteilt nach den Verladeorten, die im Projekt speziell beachtet wurden zwischen 2011 und 2023. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).

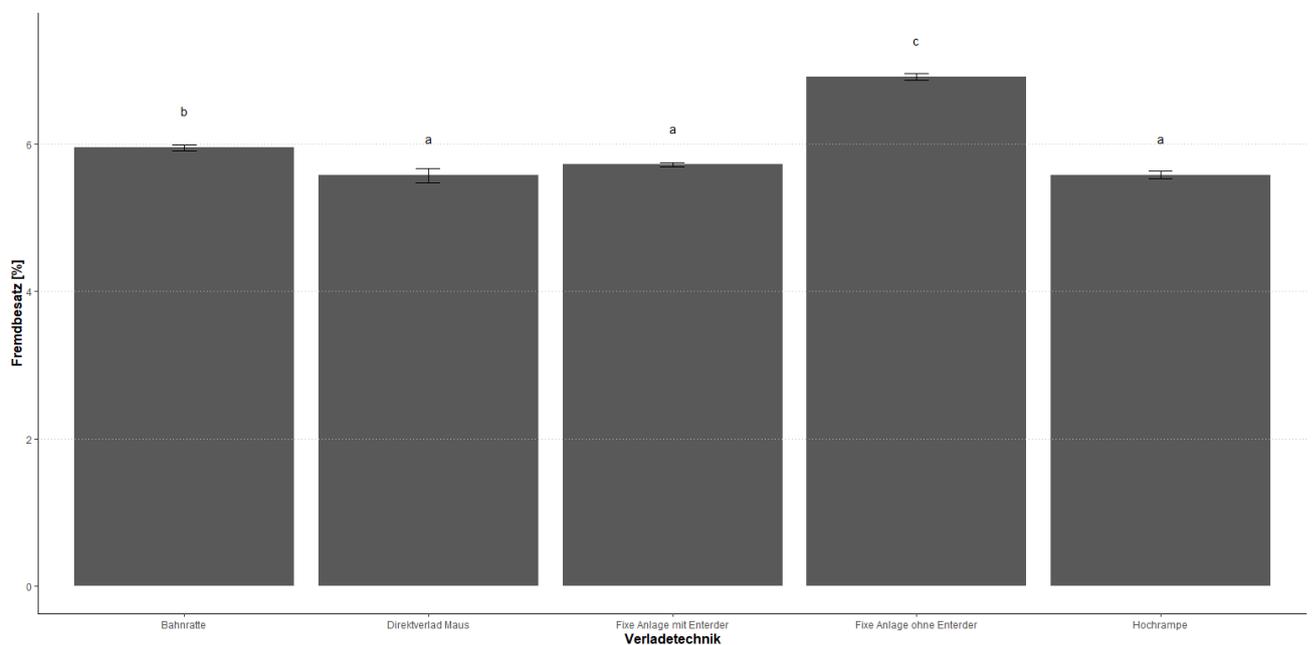


Abbildung 14: Durchschnittlicher Fremdbesatz mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen zwischen 2011 und 2023 nach Aarberg und Frauenfeld angelieferten Zuckerrüben aufgeteilt nach der Verladetechnik. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).

Der Unterschied der Mittelwerte sämtlicher Analysen zwischen 2011 und 2023, die in Frauenfeld und in Aarberg gemacht wurden, beträgt lediglich 0.19% (Abbildung 15). Der Einfluss des Fabrikstandortes auf den Fremdbesatz kann aber wegen der sehr grossen Anzahl Einzelproben von 153'179 statistisch nachgewiesen werden. Angesichts der sehr viel grösseren Unterschiede zwischen den Verladestandorten und den Verlademethoden wird dieser Unterschied als vernachlässigbar beurteilt und muss nicht weiter untersucht werden.

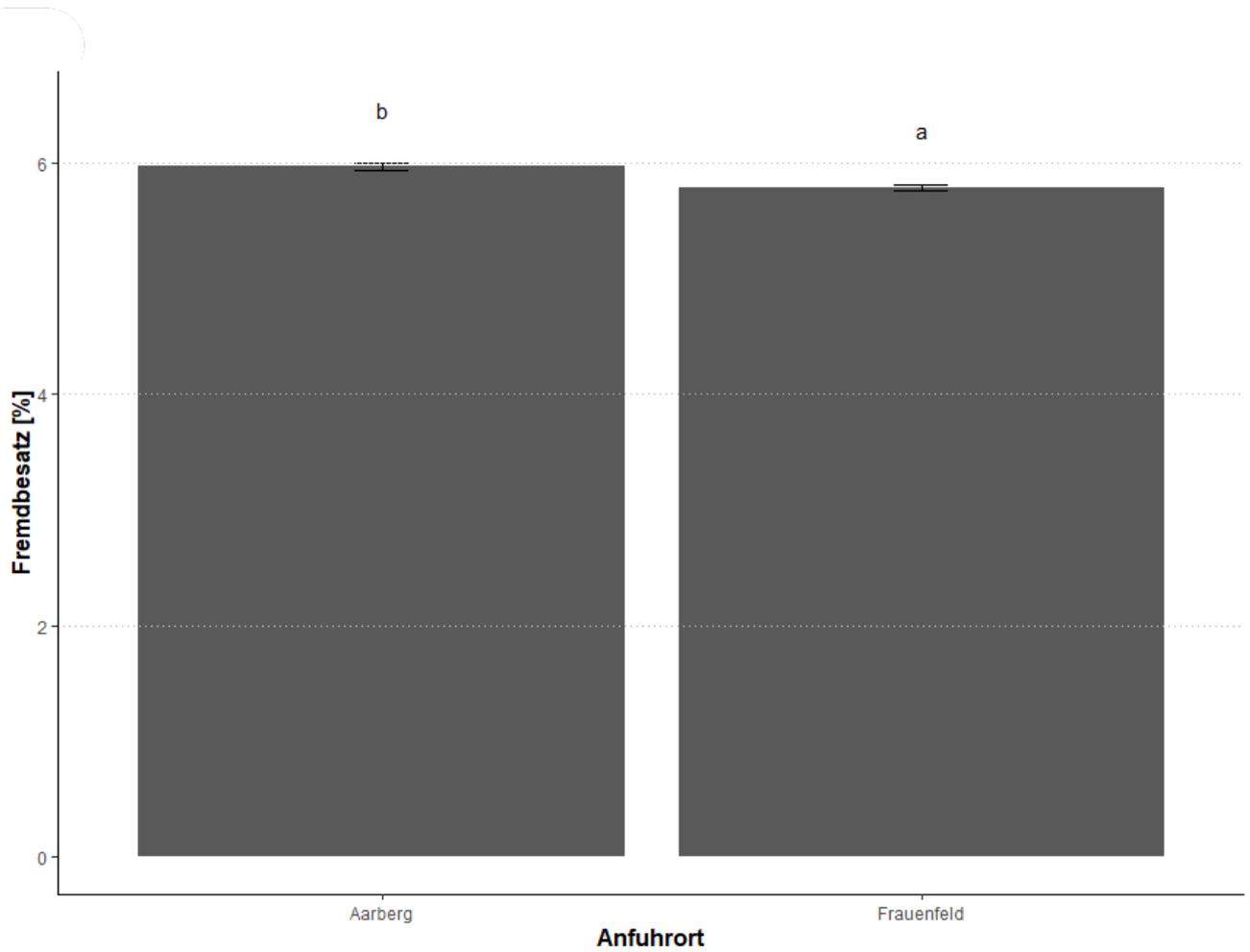


Abbildung 15: Durchschnittlicher Fremdbesatz mit Standardfehler (Fehlerbalken) in den durch Bahnwagen zwischen 2011 und 2023 nach Aarberg und Frauenfeld angelieferten Zuckerrüben. Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich statistisch signifikant ($p < 0.05$).

3.2 Voruntersuchung der Probenahme bei Bahnwagen mit 15 zusätzlichen zufälligen Proben

Verladestandort Yvonand

- Simulation des Einflusses von der Anzahl Proben auf die Varianz und den «effektiven» Mittelwert des gemessenen Fremdbesatzes:

Die zwei regulären Proben wurden automatisch bei 1/3 der Wagenbreite (X:452, Y: 299) sowie bei 2/3 der Wagenbreite (X:359, Y: 902) entnommen. Die regulären Proben der Lieferung aus Yvonand (Wagen 33) haben im Mittel einen Fremdbesatz von 11.87 % ergeben. Die zusätzlichen zufälligen 15 Proben ergaben im Mittelwert einen Fremdbesatz von 12.06 %, was eine genauere Annäherung an den «effektiven» Anteil Fremdbesatz im Bahnwagen darstellt. Somit ist der «effektive» Fremdbesatz um 0.19 % höher als der Fremdbesatz der regulären Proben (Abbildung 16).

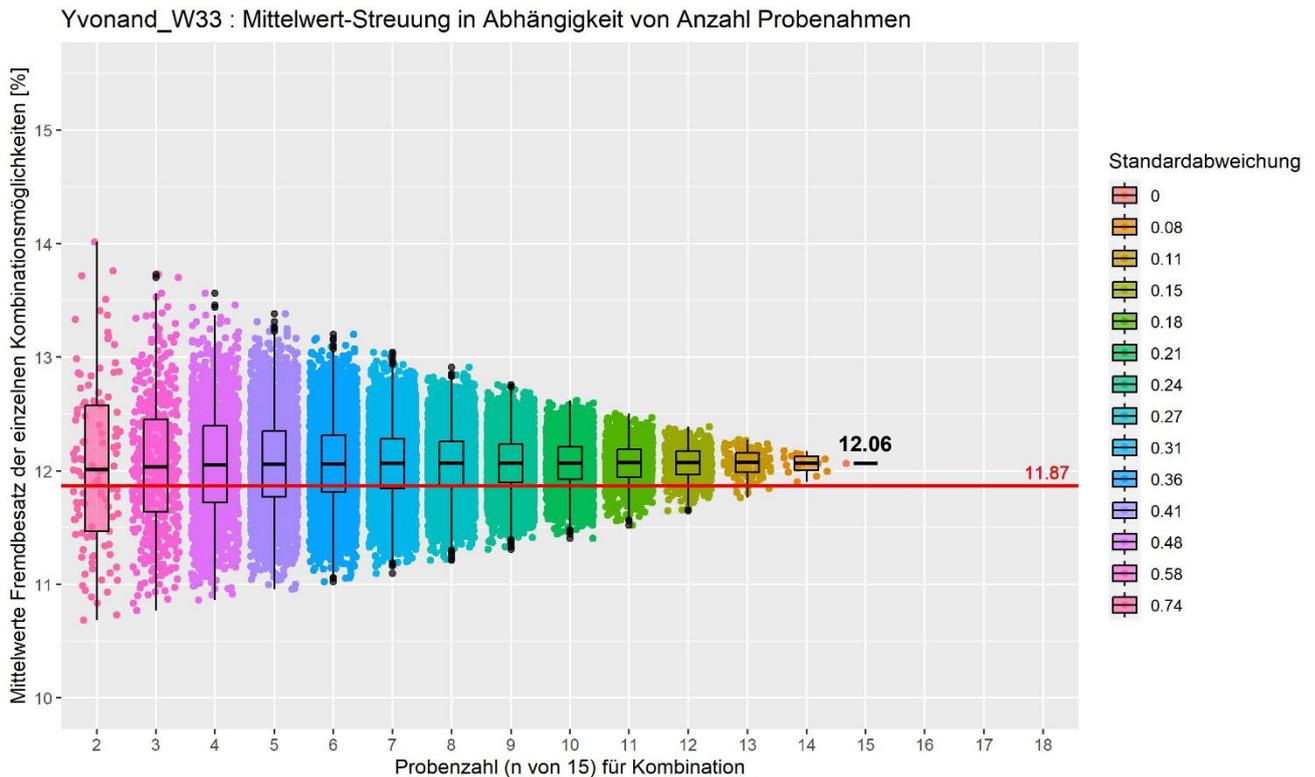


Abbildung 16: Fremdbesatz im Wagen 33 aus Yvonand - Streuung des Mittelwerts in Abhängigkeit von der Anzahl gemachter Proben (von 2 bis 15); Darstellung der Differenz zwischen Mittelwert reguläre Probe (rote Linie) und zusätzlicher 15 Proben

Abbildung 16 illustriert auch die Veränderungen in der Streuung der ausgewiesenen Mittelwerte (= Anteil Fremdbesatz) in Abhängigkeit der Anzahl Proben. Die Standardabweichung beträgt bei zehn Proben 0.18 %, bei sechs Proben 0.36 % und bei zwei Proben 0.74 %. Die Streuung der Mittelwerte nimmt zu, je weniger der Proben verwendet werden. Mit zunehmender Streuung vergrößert sich auch die mögliche Abweichung der Messung vom tatsächlichen Anteil des Fremdbesatzes. Dabei kann eine Verdoppelung der Standardabweichung je vier weggelassener Proben beobachtet werden.

- Prüfung Homogenität der Fremdbesatzverteilung im Bahnwagen mit Kriging

Abbildung 17 zeigt die durch Kriging erstellte Karte des Bahnwagen aus Yvonand. Die Verteilung des Fremdbesatz ist heterogen. Im vorderen Drittel ist der Anteil Fremdbesatz tiefer als in den beiden hinteren Dritteln, wo sich je ein Hotspot etwa in der Wagenmitte befindet. Tendenziell ist der Anteil Fremdbesatz an der linken Wagenseite höher und wird gegen die rechte Wagenseite hin weniger. In der rechten vorderen Ecke scheint der Anteil Fremdbesatz sehr gering zu sein.

B

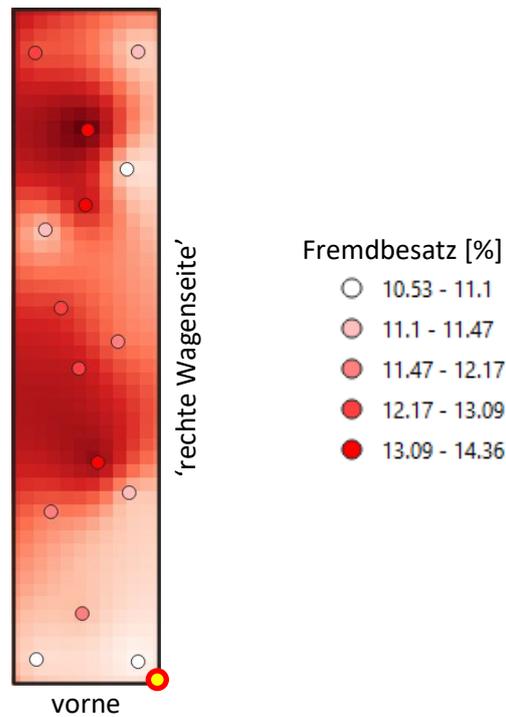


Abbildung 17: Fremdbesatzverteilung im Wagen von Yvonand mit Beprobungspunkten; Nullpunkt (0/0) = vorne rechts

- Simulation der paarweisen Probe-Entnahme mit den interpolierten Werten

Auf der interpolierten Fremdbesatzkarte des Wagens aus Yvonand wurden 240 simulierte Proben genommen – je 120 auf 1/3 und 2/3 der Wagenbreite (Abbildung 18) und der Mittelwert sowie die Standardabweichung wurden berechnet (Tabelle 5).

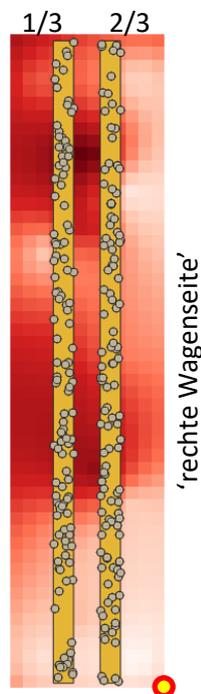


Abbildung 18: Interpolierte Fremdbesatzkarte des Bahnwagens aus Yvonand mit darüber gelegten Bereichen für die simulierte Probenahme (1/3 und 2/3 der Wagenbreite) und zufällig generierten Beprobungspunkten

Alle 240 Proben haben im Mittel 12.25 % Fremdbesatz, was im Gegensatz zum Mittelwert der regulären Proben (11.87 %) über den 12.06 % des angenäherten «effektiven» Besatzes liegt (+0.19 %). Die Standardabweichung liegt im Mittel bei 0.76 %. Die Proben auf 1/3 der Wagenbreite sind im Mittel 12.52 %

und somit höher als die Proben auf 2/3 mit einem Mittelwert von 11.99 %. Damit bestätigt sich auch die vorhin gemachte Beobachtung, dass der Anteil Fremdbesatz auf der linken Wagenseite höher als auf der rechten ist. Die Proben befinden sich in einem Bereich von 10.79 % bis 13.87 %, wobei der höchste Wert auf 1/3 und der tiefste auf 2/3 gemessen wurde.

Tabelle 6: Auflistung Mittelwert, Standardabweichung, min. und max. Wert der simulierten Probenahme Yvonand [%]

	Übersicht 240 Proben	Proben 1/3	Proben 2/3
Mittelwert [%]	12.25	12.52	11.99
Standardabweichung [%]	0.76	0.80	0.63
Min [%]	10.79	11.03	10.79
Max [%]	13.87	13.87	13.32

Verladestandort Cavornay

- Simulation mit reduzierter Anzahl Proben und deskriptive Auswertung der Simulationswerte:

Die zwei regulären Proben der Lieferung aus Chavornay (Wagen 31) wurden an den gleichen Koordinaten wie im Wagen aus Yvonand genommen. Sie haben im Mittelwert einen Fremdbesatz von 9.23 % ergeben. Die zusätzlichen zufälligen 15 Proben ergaben im Mittelwert einen Fremdbesatz von 7.96 %. Im Gegensatz zu der Lieferung aus Yvonand ergaben die regulären Proben bei dieser spezifischen Lieferung einen Fremdbesatzwert um 1.27 % über dem «effektiven» Fremdbesatz an. Deckungsgleich mit der Beprobung des Bahnwagens aus Yvonand nimmt die Standardabweichung mit einer Verringerung der Anzahl Proben ebenfalls zu. Bei zehn Proben beträgt diese 0.31 %, bei sechs Proben 0.54 % und bei zwei Proben 1.13 %. Die Zunahme verhält sich ähnlich wie bei der Lieferung aus Yvonand und verdoppelt sich ungefähr je vier weggelassene Proben (Abbildung 19).

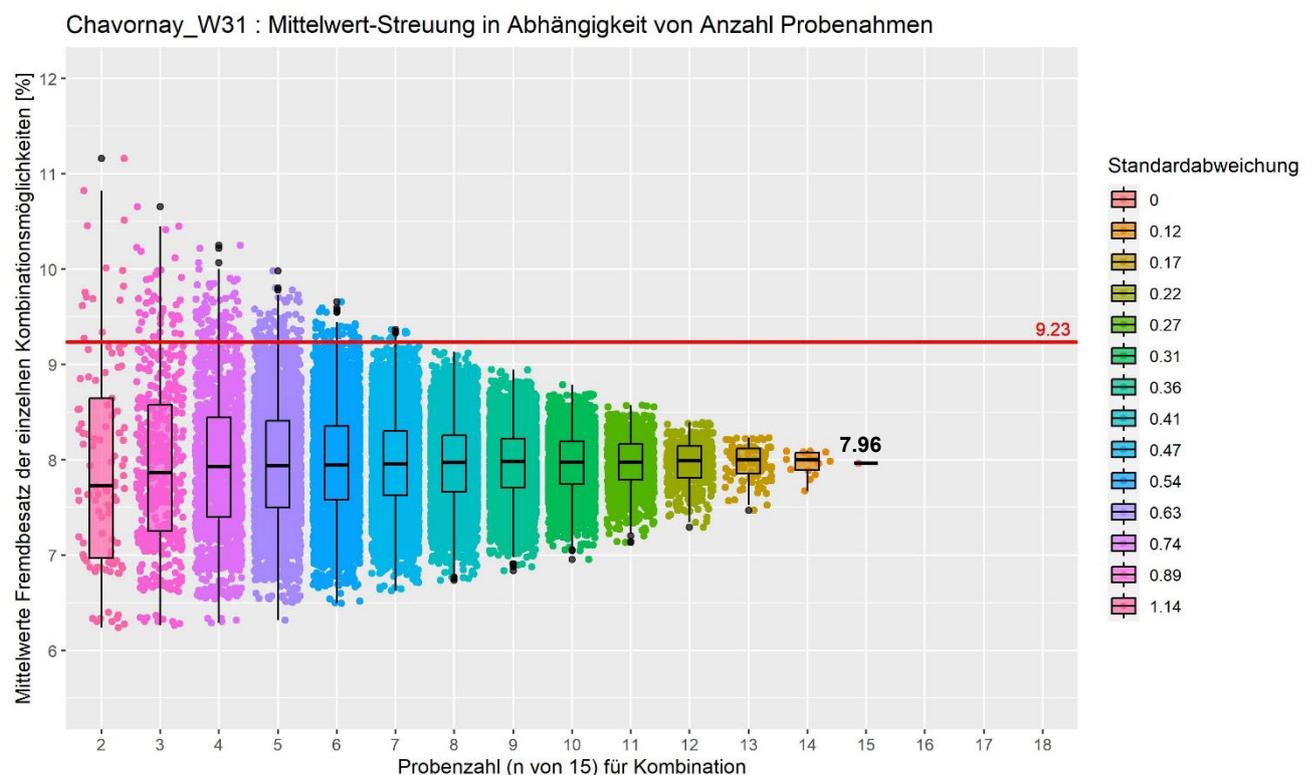


Abbildung 19: Fremdbesatz im Wagen 31 aus Chavornay - Streuung des Mittelwerts in Abhängigkeit von der Anzahl gemachter Proben (von 2 bis 15 Proben); Darstellung der Differenz zwischen Mittelwert reguläre Probe (rote Linie) und zusätzlicher 15 Proben

- Prüfung Homogenität der Fremdbesatzverteilung im Bahnwagen mit Kriging:

Abbildung 20 zeigt die Verteilung des Fremdbesatzes im Bahnwagen aus Chavornay die ebenfalls heterogen ist. Im mittleren Drittel des Wagens ist der Fremdbesatz am höchsten, wobei sich ein Hotspot auf halber Breite befindet. Der Fremdbesatz nimmt gegen hinten wieder etwas ab, wobei auf der rechten mehr Fremdbesatz als auf der linken Wagenseite zu verzeichnen ist. Der vorderste Drittel weist den geringsten Anteil an Fremdbesatz auf.

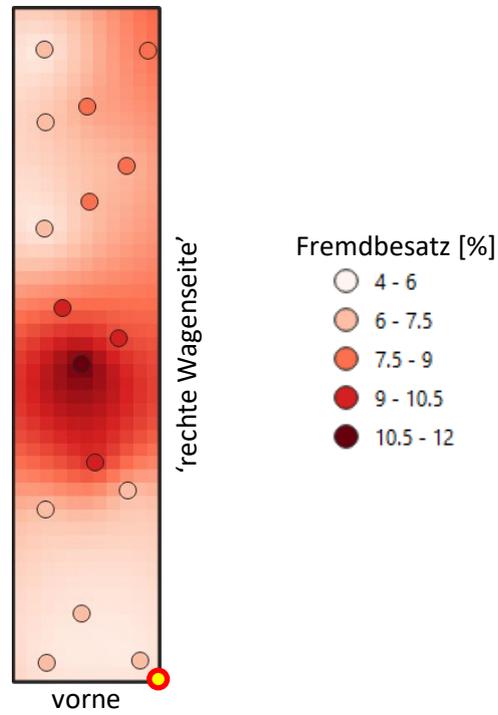


Abbildung 20: Fremdbesatzverteilung im Wagen von Chavornay mit Beprobungspunkten; Nullpunkt (0/0) = vorne rechts

- Simulation der paarweisen Probe-Entnahme mit den interpolierten Werten

Auch für die Lieferung aus Chavornay wurde eine paarweise Probenahme mit je 120 Proben auf 1/3 und 2/3 der Wagenbreite simuliert (Abbildung 21).

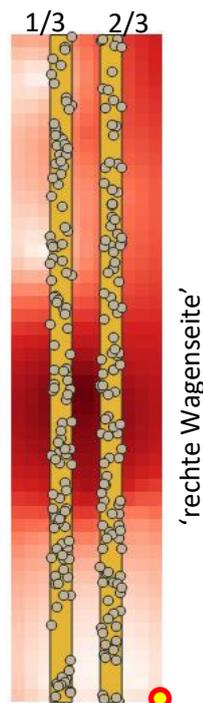


Abbildung 21: Interpolierte Fremdbesatzkarte des Bahnwagens aus Chavornay mit darüber gelegten Bereichen für die simulierte Probenahme (1/3 und 2/3 der Wagenbreite) und zufällig generierten Beprobungspunkten

Alle 240 Proben haben im Mittel 8.16 % Fremdbesatz, was wie auch der Mittelwert der regulären Proben (9.23 %) über den 7.96 % des angenäherten «effektiven» Besatzes liegt (+0.2 %) (Tabelle 7). Die Standardabweichung liegt im Mittel bei 1.51 %. Die Proben auf 1/3 der Wagenbreite sind im Mittel 8.07 % und somit tiefer als die Proben auf 2/3 mit einem Mittelwert von 8.24 %. Damit bestätigt sich auch hier die vorhin gemachte Beobachtung, dass der Anteil Fremdbesatz auf der rechten Wagenseite höher ist. Die Proben befinden sich in einem Bereich von 6.31 % bis 11.69 %, wobei der höchste Wert auf 1/3 und der tiefste auf 2/3 gemessen wurde.

Tabelle 7: Auflistung Mittelwert, Standardabweichung, min. und max. Wert der simulierten Probenahme Chavornay [%]

	Übersicht 240 Proben	Proben 1/3	Proben 2/3
Mittelwert [%]	8.16	8.07	8.24
Standardabweichung [%]	1.51	1.61	1.40
Min [%]	6.31	6.33	6.31
Max [%]	11.69	11.69	11.26

Bei der Lieferung aus Yvonand lag der Fremdbesatz unter Anwendung der regulären Probenahme unter dem angenäherten «effektiven» Fremdbesatz (-0.19 %), bei der Lieferung aus Chavornay lag diese jedoch darüber (+1.27 %). Dies zeigt, dass es zu deutlichen Abweichungen im Fremdbesatz der regulären Probenahmen gegenüber dem «effektiven» Fremdbesatz kommen kann, die sowohl zu Lasten des Produzenten als auch der Schweizer Zucker AG ausfallen können. Die Simulation der 240 Paarproben hat aber auch gezeigt, dass dieser Sachverhalt bestehen bleibt unabhängig davon, an welchem Punkt bei 1/3 und 2/3 der Wagenbreite die Proben entnommen werden. Bei Yvonand beträgt die Standardabweichung für Proben über die ganze Länge des Wagens 0.76 %, bei Chavornay sogar 1.51 %. Die Streuung bei der Probenahme gemäss Schema Methoden katalog ist bei der Lieferung aus Chavornay deutlich grösser als bei Yvonand.

Diese hohen Standardabweichungen sind auf die sehr heterogene Verteilung des Fremdbesatzes in den Wagen zurückzuführen, wobei die Verteilung der Werte für Fremdbesatz im Wagen aus Chavornay deutlich heterogener sind als im Wagen aus Yvonand. Bei beiden Lieferungen ist der Fremdbesatz im vordersten Drittel des Wagens am geringsten und beide Lieferungen weisen einen Hotspot im mittleren Drittel sowie eine Anreicherung des Fremdbesatzes an einer Wagenseite auf (Chavornay: rechts; Yvonand: links). Dies könnte auf die Art, sowie Ort und Ausrichtung des Beladungssystems zurückzuführen sein.

3.3 Voruntersuchung der Probenahme bei Bahnwagen mit 15 zusätzlichen zufälligen Proben

Die Resultate der Hauptuntersuchung von je drei Lieferungen aus Nyon, Chavornay und Cossonay sind in Abbildung 22 grafisch dargestellt und in der Tabelle 8 auf der Folgeseite zusammengefasst.

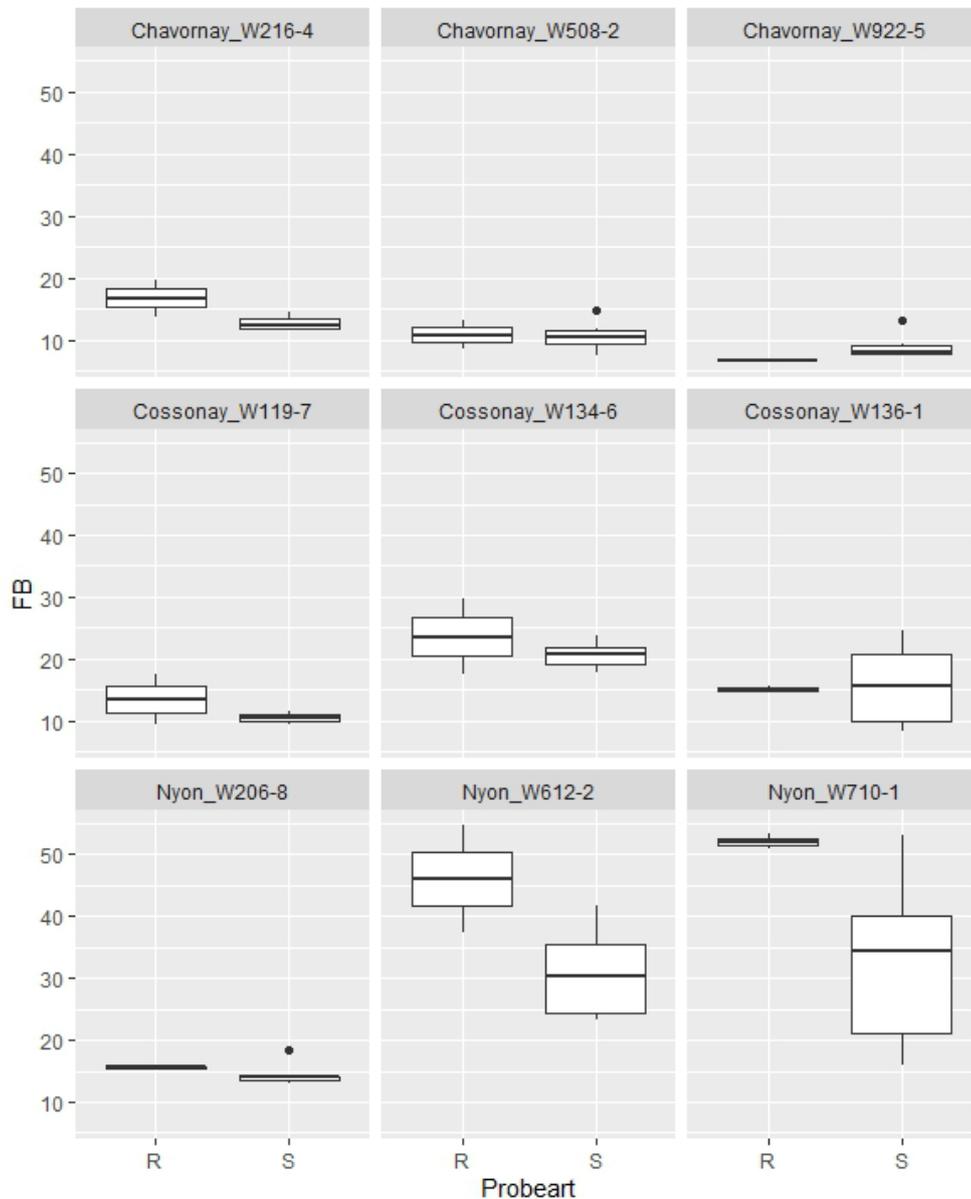


Abbildung 22: Vergleich des Fremdbesatzanteils abhängig der Probeart für jeden beprobten Wagen (R = reguläre Proben; S = zusätzliche Proben («effektiver» Fremdbesatz))

Die Mittelwerte der regulären Proben wiesen bei allen Lieferungen eine Differenz zu dem durch die sechs zusätzlichen Proben erhaltenen Mittelwert des «effektiven» Fremdbesatzanteils der Lieferungen auf. Die grösste Differenz ergab die reguläre Probe für die Lieferung W710-1 aus Nyon, die +19.23 % über dem «effektiven» Fremdbesatzanteil lag. Die kleinste Differenz zum «effektiven» Fremdbesatzanteil von +0.07 % ergab die reguläre Probe für die Lieferung W508-2 aus Chavornay. Die durchschnittliche Differenz zwischen dem Mittelwert der regulären Proben und dem Mittelwert des «effektiven» Fremdbesatzanteils liegt für die Lieferungen aus Nyon bei +11.9 %, für Chavornay bei +0.6 % und für Cossonay bei +1.8 %. Dabei lagen die regulären Proben für alle drei Lieferungen aus Nyon über dem «effektiven» Fremdbesatzanteil, bei den Lieferungen aus Chavornay und Cossonay wies die reguläre Probe bei jeweils einer der drei Lieferungen einen tieferen Fremdbesatzanteil aus.

Tabelle 8: Übersicht Resultate Hauptuntersuchung mit sechs zusätzlichen Proben, sortiert nach Herkunft der Lieferungen.

Nyon					
Beladung: Bahnratte					
Wagen-Nr.	Mittelw. reg. Proben [%]	Mittelw. zusätzl. [%]	Differenz reg. - zus. [%]	SD zusätzl. [%]	Datum Probe
W612-2	46.10	30.86	15.24	7.55	14.12.2023
W710-1	51.98	32.75	19.23	14.30	
W206-8	15.65	14.42	1.24	2.02	
Ø			11.90		

Chavornay					
Beladung: stationär					
Wagen-Nr.	Mittelw. reg. Proben [%]	Mittelw. zusätzl. [%]	Differenz reg. - zus. [%]	SD zusätzl. [%]	Datum Probe
W216-4	16.69	12.69	4.00	1.27	19.12.2023
W508-2	10.79	10.72	0.07	2.50	
W922-5	6.65	8.91	-2.26	2.12	
Ø			0.60		

Cossonay					
Beladung: stationär					
Wagen-Nr.	Mittelw. reg. Proben [%]	Mittelw. zusätzl. [%]	Differenz reg. - zus. [%]	SD zusätzl. [%]	Datum Probe
W119-7	13.50	10.45	3.05	0.79	20.12.2023
W136-1	15.14	15.72	-0.57	6.75	
W134-6	23.62	20.63	2.99	2.23	
Ø			1.82		

Zusammenfassung	max. Differenz:	19.23 % (Nyon_W710-1)
	min. Differenz:	0.07 % (Chavornay_W508-2)
	FB reg. Probe < FB-«effektiv»:	22%
	FB reg. Probe > FB-«effektiv»:	78%

Die Lieferungen W612-2 und W-710-1 aus Nyon, weisen im Vergleich zu den übrigen Lieferungen nicht nur eine einiges höhere Differenzen im Fremdbesatzanteil zwischen regulären und zusätzlichen Proben, sondern auch grundsätzlich einen höheren Fremdbesatzanteil und eine höhere Standardabweichung (SD bis 14.3 %) der zusätzlichen Proben (vgl. Abbildung 22 und Tabelle 8) auf.

Die statistische Analyse mittels linearen gemischten Modells zeigt signifikante Effekte von Ort und Probeart (regulär vs. zusätzlich) sowie deren Interaktion auf den Fremdbesatzanteil. So wurden signifikante Unterschiede zwischen den Lieferungen aus den verschiedenen Orten festgestellt, mit einem spezifisch und signifikant höherem Fremdbesatzanteil in Lieferungen aus Nyon im Vergleich zu Chavornay ($p < 0.05$, $df = 8.55$, t -Wert für Nyon vs. Chavornay = 3.513). Zudem zeigt die Analyse, dass die regulären Proben aus Nyon einen signifikant höheren Fremdbesatzanteil aufweisen, als der durch die zusätzlichen Proben ermittelte «effektive» Fremdbesatzanteil ($p < 0.05$, $df = 59.01$ für Nyon, t -Wert = 2.781 für R Nyon vs. S Nyon). Die Konfidenzintervalle unterstützen diese Ergebnisse und bieten zusätzliche Einblicke in die Präzision der Schätzungen, mit Konfidenzintervallen für den Vergleich von regulären Proben und «effektivem» Fremdbesatz in Nyon von 1.419 (95% CI: 19.57 bis 56.6) auf der ursprünglichen Skala. Die Unterschiede zwischen regulären Proben und «effektivem» Fremdbesatzanteil für



die Lieferungen aus Chavornay und Cossonay sind nicht signifikant. Die statistische Analyse ist in Abbildung 23 bildlich dargestellt.

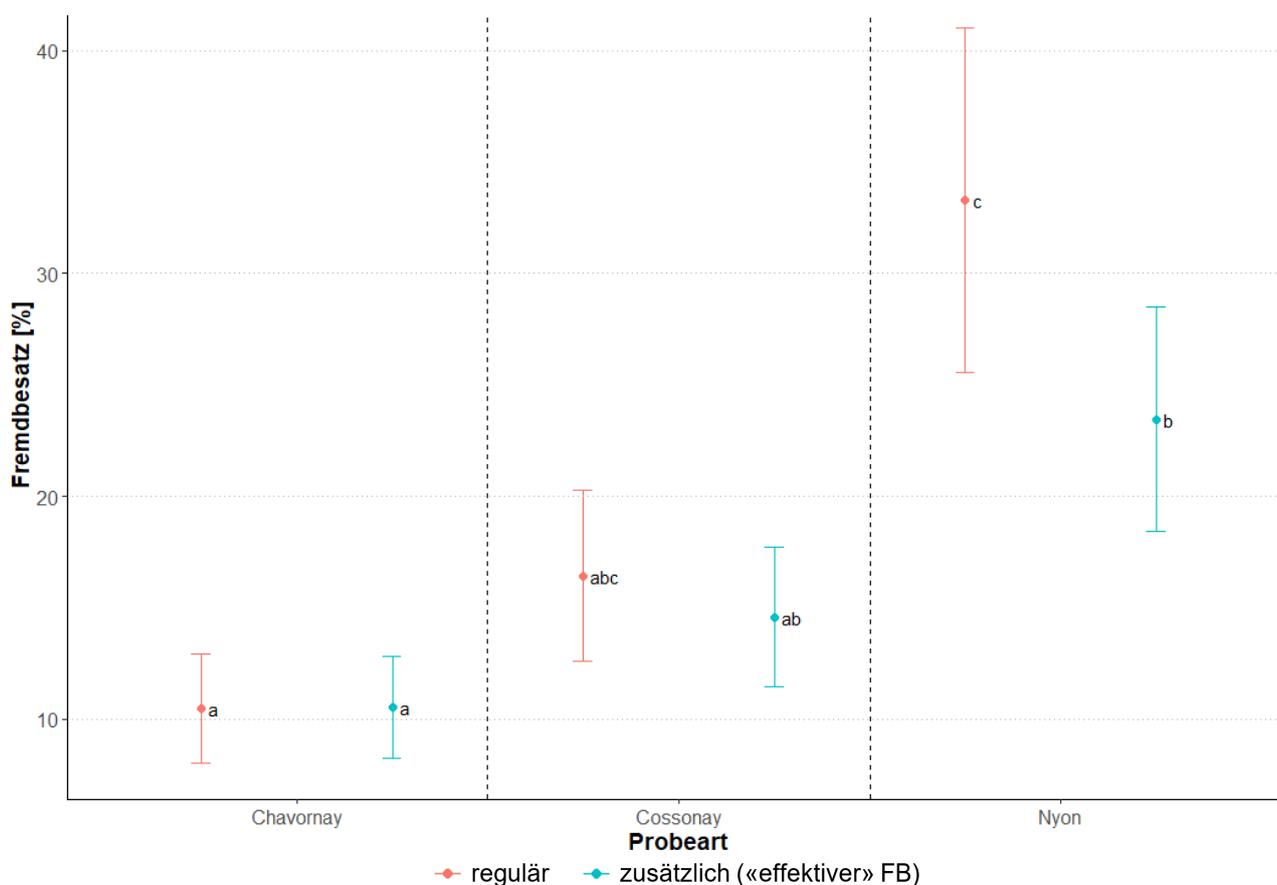


Abbildung 23: Erhebungsergebnisse des Fremdbesatzes abhängig von Probeart und Herkunft.

Der signifikante Unterschied zwischen den Probearten in Nyon sowie der Unterschied in der Höhe des Fremdbesatzanteils von Nyon zu den anderen beiden Standorten ist dabei in erster Linie auf die beiden Lieferungen W612-2 und W710-1 aus Nyon zurückzuführen (vgl. Abb. 15 und Tabelle 7).

Anders als für die Standorte Chavornay und Cossonay ergaben die regulären Proben für die Lieferungen aus Nyon Werte, die im Durchschnitt signifikant über dem «effektiven» Fremdbesatzanteil lagen (+ 11.9 %, $p < 0.05$). Wie in 8. *Resultate Hauptuntersuchung mit sechs zusätzlichen Proben* bereits erwähnt, ist diese Signifikanz aber vorwiegend auf die Lieferungen W612-2 und W710-1 aus Nyon zurückzuführen, die in dreierlei Hinsicht auffällig sind. Für den ungewöhnlich hohe Fremdbesatzanteil dieser beiden Lieferungen können verschiedene Gründe in Erwägung gezogen werden. So können beispielsweise die Wetterverhältnisse während der Ernte, das Ernteverfahren, Lagerung und Transport, sowie die Art des Verladens einen Einfluss auf den Fremdbesatzanteil in der Bahnlieferung haben. Bei den zwei genannten Lieferungen weisen die zusätzlichen Proben eine sehr hohe Streuung (W612-2 = 7.55 % und W710-1 = 14.30 %) der zusätzlichen Proben auf, was auf eine sehr heterogene Verteilung des Fremdbesatzes innerhalb des Bahnwagens schließen lässt. Die Verteilung des Fremdbesatzes innerhalb der Bahnwagen scheint demnach bei Betrachtung dieser Daten einen direkten Einfluss auf die Abweichungen zwischen den regulären Probenahmen und dem «effektiven» Fremdbesatz zu haben.

Im Rahmen der Hauptuntersuchung ist die durchschnittliche Verteilung des Fremdbesatzes innerhalb der Bahnwagen bei Lieferungen aus Nyon heterogener als bei Lieferungen aus Chavornay und Cossonay. Im Unterschied zu Chavornay und Cossonay mit stationärer Verladestation werden die Bahnwagen in Nyon mittels Bahnratte beladen. Demnach scheinen die Parameter innerhalb der Bahnwagen mit stationären Anlagen leicht homogener verteilt zu sein als beim Verlad mit der Bahnratte. Allerdings muss hier auch

D

erwähnt sein, dass dies nicht bei allen analysierten Lieferungen der Fall gewesen ist, wie die Lieferung W136-1 aus Cossonay oder die Beprobungen aus der Voruntersuchung zeigen. Dennoch lässt sich eine Tendenz zu homogeneren Beladungen mittels stationärer Anlage feststellen. Dieser Effekt kann möglicherweise durch sehr hohe Fremdbesatzanteile in den Lieferungen, wie dies bei W612-2 und W710-1 der Fall ist, verstärkt werden.

4 Folgerungen

4.1 Einflussgrößen auf den Fremdbesatz aufgrund der Analysen der Daten von 2011 bis 2023

Auf Grundlage der in den Jahren 2011 bis 2023 durchgeführten Untersuchung des Fremdbesatzes bei Zuckerrübenlieferungen können einige wesentliche Folgerungen gezogen werden. Zunächst zeigte sich, dass der Fremdbesatz signifikant von Faktoren wie dem Anlieferungsmonat, dem Lieferjahr, dem Verladeort und dem Fabrikstandort beeinflusst wird. Die monatlich zunehmenden Fremdbesatzwerte, insbesondere im Herbst, deuten darauf hin, dass äußere Einflüsse wie steigende Bodenfeuchtigkeit eine Rolle spielen. Unterschiede zwischen den Verladeorten, insbesondere im Grenzgebiet zur Westschweiz, lassen vermuten, dass geografische und infrastrukturelle Gegebenheiten eine weitere Einflussgröße darstellen.

Um die Ursachen des Fremdbesatzes besser zu verstehen und gezielt zu minimieren, sind zukünftige Analysen erforderlich, die neben meteorologischen Daten auch spezifische Feldparameter und georeferenzierte Daten berücksichtigen. Auch die Effekte verschiedener Verladesysteme, insbesondere der Vergleich zwischen Direkteinrichtungen und stationären Anlagen, könnten weitere Erkenntnisse bieten. Besondere beachtet resp. angepasst werden sollten die Verladeanlagen in Cossonay-Penthalaz und Chavornay, bei denen die Enterder entfernt und die Siebbänder durch Gummibänder ersetzt wurden, damit der am Bahnhof abgeschiedene Fremdbesatz nicht vor Ort, sondern in der Fabrik fachgerecht entsorgt wird. Ebenso ist nicht auszuschließen, dass die Arbeitstiefe der Aufnahmeorgane an den Rübenmäusen zu zusätzlichem Eintrag von Erdmaterial führen kann – insbesondere wenn der Standort der Rübenmiete uneben ist. Die im Sinn des präventiven Pflanzenschutzes, der arbeitseffizienten Abläufen und der sauberen Aufnahme der Rübenhaufen nachvollziehbare Einzelmassnahmen können in Summe also zu einer ungewollten zusätzlichen Erhöhung des Fremdbesatzes führen.

Die Beeinflussung von weiteren Parametern wie Bodenart, Bodenfeuchtigkeit bei der Ernte oder Anbausystem könnte mit Einbezug der exakten, georeferenzierten Felddaten in einem weiteren Schritt analysiert werden. Die dazu notwendigen Daten wären eigentlich vorhanden.

4.2 Voruntersuchung der Probenahme bei Bahnwagen mit 15 zusätzlichen zufälligen Proben

Die Untersuchungen zeigten eindeutig, dass der Fremdbesatz innerhalb der Bahnwagen heterogen verteilt ist. Mit einer Stichprobengröße von nur 2 Bahnwagen für die Methodvalidierung der Fremdbesatz-Erhebung ist es jedoch schwierig, aussagekräftige Rückschlüsse auf den Einfluss des Beladungssystems auf die Heterogenität in den Lieferungen zu ziehen. Auch ist ungewiss, ob die Verteilung des Fremdbesatzes in den analysierten Lieferungen repräsentativ ist für weitere Lieferungen aus Yvonand und Chavornay. Es müssten eigentlich weitere Lieferungen analysiert werden, um zu evaluieren, ob die reguläre Probenahme nach Eintreffen der Lieferung repräsentativ ist. Aus Ressourcengründen muss dies jedoch mit weniger Proben je Analyse geschehen. Unter der Annahme, dass eine Standardabweichung von 0.5 % annehmbar ist, kann die Probezahl reduziert werden. Für die Lieferung aus Yvonand entspricht die Standardabweichung bei vier Proben 0.48 %. Bei der Lieferung aus Chavornay liegt die Standardabweichung bei sechs Proben bei 0.54 %. Für weitere Analysen werden darum sechs zusätzliche Proben vorgeschlagen, die mit den zwei regulären Proben verglichen werden können.

4.3 Hauptuntersuchung mit sechs zusätzlichen Proben

Im Zuge dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass zwischen den regulären Probenahmen und dem «effektiven» Fremdbesatz sowohl positive als auch negative Abweichungen auftraten. Es zeigte sich, dass diese Abweichungen meist nicht statistisch signifikant und somit nicht systematisch sind. Die Hauptuntersuchung hat somit gezeigt, dass die zwei regulären Proben durchaus repräsentative Werte für den «effektiven» Fremdbesatzanteil liefern kann und zusätzliche Proben nicht notwendigerweise zu genaueren Ergebnissen führen würden.

Die Untersuchungen legen nahe, dass die Verteilung des Fremdbesatzes einen direkten Einfluss auf die beobachteten Abweichungen hat und die Repräsentativität der regulären Proben mit zunehmender Homogenität der Verteilung des Fremdbesatzes innerhalb des Bahnwagens zuzunehmen scheint. Dabei scheint die Verteilung der Parameter bei der Verladung mit stationären Anlagen etwas homogener zu sein als bei der Verladung mit einer Bahnratte, was auf unterschiedliche Effizienzen der Verlademethoden hindeutet. Um die Zuverlässigkeit der regulären Proben weiter zu verbessern, können folgende Empfehlungen gemacht werden:

1. Erhöhung der Anzahl regulärer Proben: Dies könnte helfen, die Streuung bei der Probenahme zu verringern. Allerdings muss dabei bedacht werden, dass eine Erhöhung der Probenanzahl auch eine längere Abwicklungszeit der Lieferungen bei deren Ankunft in der Zuckerfabrik und somit auch weitere Kosten nach sich ziehen. Alternativ könnte eine dritte Probe lediglich sporadisch bei vorgängig und zufällig ausgewählten Bahnwagen zwecks Überprüfung der Datenverteilung entnommen werden.
2. Ergreifen von Massnahmen zur Reduzierung der Heterogenität des Fremdbesatzes im Bahnwagen. Dafür ist eine eingehendere Analyse der verschiedenen Verlademethoden und deren Einfluss auf die Verteilung des Fremdbesatzes im Bahnwagen zu empfehlen. Zudem sollte der Einfluss weiterer Faktoren auf den Fremdbesatz – wie Wetterbedingungen während der Ernte, Ernteverfahren, Informationen zur Anbauparzelle, Lagerung, Transport und das Verladen selbst – detailliert untersucht werden.
3. Bei der Aufnahme der Rübenmieten auf den Feldern sollte auf ein möglichst flaches Arbeiten der Aufnahmeorgane geachtet werden. Dazu gehören die präzise Führung der Maschine und die Ablage der Miete auf möglichst ebenem Terrain. Dadurch sollten mögliche zusätzliche Verschmutzungen der Rüben verringert werden.
4. Verbesserte rechnerische Analyse von Ausreißern resp. Identifikation von unerklärlichen Abweichungen bei der Anlieferung – im Spektrum sowohl gegen geringe als auch erhöhte Werte.
5. Unterstützung der Identifikation von Abweichungen durch Kamerasysteme, die in der Probenahmekette (z.B. bei der Entnahme, vor dem Waschvorgang und nach der Feinsortierung) eingebaut werden.
6. Verknüpfung der Transportkette mit dem Ziel der Verbesserung der Rückverfolgbarkeit und Ausschluss von systematischen Fehlern in Bezug auf Verladeort, Verladezeitpunkt und Produzent.

5 Literaturverzeichnis

- Alpiq Gruppe (Hg.) (2017): Neue Steuerungstechnik von Alpiq für Zuckerfabriken. Online verfügbar unter <https://www.alpiq.ch/alpiq-gruppe/medien/news-stories/news-stories-detail/new-control-technology-from-alpiq-for-sugar-refineries>, zuletzt geprüft am 08.12.2023.
- Auguie, Baptiste (2017): gridExtra: Miscellaneous Functions for "Grid" Graphics. Version R packages version 2.3. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/web/packages/gridExtra/index.html>.
- Bärwolff, Günter (2016): Numerik für Ingenieure, Physiker und Informatiker. 2. Aufl. 2016. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum (SpringerLink Bücher).
- Benndorf, Jörg (2023): Angewandte Geodatenanalyse und -Modellierung. Eine Einführung in die Geostatistik für Geowissenschaftler und Geoingenieure. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Erdin, Daniel (2022): Agristat Aktuell 08-22: Schätzung der Schweizer Ackerfläche 2022. Hg. v. Agristat.
- Fahrmeir, Ludwig; Heumann, Christian; Künstler, Rita; Pigeot, Iris; Tutz, Gerhard (2016): Statistik. Der Weg zur Datenanalyse. 8. Aufl. 2016. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Faik, Jürgen (2015): Statistik Für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. Verstehen, Lernen, Üben. 1st ed. Berlin: John Wiley & Sons Incorporated.
- Graves, Spencer; Piepho, Hans-Peter; Selzer, Luciano; Dorai-Raj, Sundar (2019): multcompView: Visualizations of Paired Comparisons. Version R package version 0.1-8. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/web/packages/multcompView/index.html>.
- Kassambara, Alboukadel (2020): ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. Version R package version 0.4.0. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/web/packages/ggpubr/index.html>.
- Kuznetsova, Alexandra; Brockhoff, Per B.; Christensen, Rune H. B. (2017): lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models.
- Lenth, Russell (2020): emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. Version R package version 1.4.8. Online verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
- Lüdecke, Daniel (2021b): sjlabelled: Labelled Data Utility Functions. Version R package version 1.1.8. Online verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=sjlabelled>.
- Lüdecke, Daniel (2021a): sjPlot: Data Visualization for Statistics in Social Science. Version R package version 2.8.9. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/web/packages/sjPlot/index.html>.
- Lüdecke, Daniel (2018): sjmisc: Data and Variable Transformation Functions. In: *JOSS* 3 (26), S. 754. DOI: 10.21105/joss.00754.
- Olaya, Víctor (2023): QGIS Python Plugins Repository - Processing Saga NextGen Provider. Version 1.0.0: North Road.
- Ooms, Jeroen (2024): writexl: Export Data Frames to Excel 'xlsx' Format. Version R package version 1.5.0. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/web/packages/writexl/index.html>.
- Pedersen, Thomas Lin (2024): patchwork: The Composer of Plots. Version R packages version 1.2.0. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/web/packages/patchwork/index.html>.
- Schauberger, Philipp; Walker, Alexander (2023): openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files. Version R package version 4.2.5.2. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/web/packages/openxlsx/index.html>.
- Schweizer Zucker AG (SZU) (Hg.) (2022): Zuckerrübenstatistik 2022.
- Schweizer Zucker AG (SZU) (Hg.) (2023): Zuckerrüben-Anbau / Culture des betteraves sucrières 2023.
- Schweizer Zucker AG (SZU); Schweizerischen Verband der Zuckerrübenpflanzer (SVZ) (2022): Methodenkatalog (Kurzversion) für die Rübenübernahme und Rübenuntersuchung durch die Schweizer Zucker AG. Habsburg, 07.07.2022.

Ushey, Kevin; Allaire, JJ; Wickham, Hadley; Ritchie, Gary (2023): rstudioapi: Safely Access the RStudio API. Version R packages version 0.15.0. Online verfügbar unter <https://cran.rstudio.com/web/packages/rstudioapi/index.html>.

Walz, Guido (2020): Interpolation von Daten und Funktionen. Klartext für Nichtmathematiker. Wiesbaden: Springer Spektrum.

Webster, R. (2007): Geostatistics for environmental scientists. Unter Mitarbeit von M. A. Oliver. 2nd ed. Chichester: Wiley (Statistics in practice).

Wickham, Hadley (2016): ggplot2. Elegant graphics for data analysis. Unter Mitarbeit von Carson Sievert. Second edition. Cham: Springer international publishing (Use R!). Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=4546676>.

Wickham, Hadley; Averick, Mara; Bryan, Jennifer; Chang, Winston; McGowan, Lucy; François, Romain et al. (2019): Welcome to the Tidyverse. In: *JOSS* 4 (43), S. 1686. DOI: 10.21105/joss.01686.

Wickham, Hadley; Bryan, Jennifer (2023): readxl: Read Excel Files. Version R package version 1.4.3. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/web/packages/readxl/index.html>.

Wickham, Hadley; François, Romain (2023): dplyr: A Grammar of Data Manipulation. Version R package version 1.1.4. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html>.