



Herbizidreduktion durch eine kombinierte mechanisch – chemische Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben

Schlussbericht 2016

Andreas Keiser¹, Benno Jungo¹, Corinne Bertschi¹, Samuel Jenni²
31.10.2016

¹ HAFL, ² Fachstelle für Zuckerrübenbau

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Geprüfte Hackgeräte	5
3	Projektjahr 2014	7
4	Projektjahr 2015	12
5	Projektjahr 2016	27
6	Gesamtdiskussion	38
7	Literaturverzeichnis	40

Zusammenfassung

KEISER, Andreas; JUNGO, Benno; BERTSCHI, Corinne; JENNI, Samuel. Herbizidreduktion durch eine kombinierte mechanisch – chemische Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben

Ziel des Aktionsplans Pflanzenschutzmittel des Bundes ist die „Reduktion der Risiken von Pflanzenschutzmitteln um 50% durch eine Verminderung und Einschränkung der Anwendungen, sowie der Reduktion von Emissionen³.“ Zu den Wirkstoffen, die regelmässig in Fliessgewässern gefunden werden, zählen Metamitron, Ethofumesat, Chloridazon und S-Metolachlor, welche in Rübenherbiziden enthalten sind (Wittmer et al, 2014). Zur Reduktion des Herbizideinsatzes stehen heute schlagkräftige, Kamera gesteuerte Hackgeräte zur Verfügung, welche in Europa bisher nur von einer geringen Anzahl Landwirte eingesetzt werden. Zur Erreichung der Ziele des Aktionsplans könnte die mechanische Unkrautbekämpfung in Zukunft wieder an Bedeutung gewinnen.

In einem dreijährigen Projekt (2014-2016) der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) in Zusammenarbeit mit der Fachstelle für Zuckerrübenbau und der Schweizer Zuckerbranche wurde die mechanisch-chemische Unkrautbekämpfung an mehreren Standorten in den Anbauverfahren Pflug und Mulchsaat getestet. Der Einsatz je eines Hackgerätes der Firmen Schmotzer und Carré erfolgte in den Verfahren „Bandspritzung und Hacken ab 4-Blattstadium“ und „Flächenbandlung bis 4-Blattstadium, dann Hacken“. Für die Unkrautbekämpfung in den Reihen wurden bei beiden Hackgeräten Fingerhackelemente eingesetzt.

Mit der Kamera konnten die Rübenreihen ab dem 2-Blattstadium erkannt werden. Ein präzises Hacken bis ca. 3 cm beiderseits der Reihen konnte realisiert werden. Die Fingerhackelemente arbeiteten sehr schonend und führten zu keinen Verlusten von Rübenpflanzen. Die Flächenleistung bei den Hackgeräten lag bei 2.6 ha/h (12-reihig) bzw. 1.53ha/h (6-reihig) und 0.5 h/ha bei der Bandspritzung. Hier ist zu beachten, dass die Versuchspartzellen eben waren und eine für die mechanische Unkrautbekämpfung günstige Form aufwiesen.

Mit den mechanisch-chemischen Verfahren konnten die Unkräuter sowohl im Pflug als auch im Mulchverfahren ausreichend bekämpft werden. Alle drei getesteten Zwischenkulturen (UFA Lepha, Senf und Structurator (Rettich)) eigneten sich für die mechanische Unkrautbekämpfung in Mulchsaaten. Das organische Material an der Bodenoberfläche beeinträchtigte die Hackarbeit nicht.

In vier von fünf durchgeführten Versuchen lag die Restverunkrautung in den mechanisch-chemischen Verfahren auf dem gleichen Niveau wie im chemischen Verfahren. An Grenzen stiess der Einsatz des Hackgerätes und in geringerem Masse auch die chemische Bekämpfung an einem Standort mit einem humosen Boden mit einem hohen Unkrautsamenvorrat. Hier mussten vor der Ernte zur Verhinderung des Absamens die Problemunkräuter (Amaranth, Knöterich) von Hand entfernt werden.

Die Herbizidaufwandmengen konnten durch den Einsatz der Hackgeräte je nach Unkrautdruck und Jahr um 30 – 67% reduziert werden. Diese Einsparungen konnten die Mehrkosten der mechanisch-chemischen Unkrautverfahren nicht decken. In den Versuchen von 2014-2106 lagen die Mehrkosten zwischen CHF 101.- und 318.-/ha bei einer angenommenen Rübenfläche von 20 ha. Weitere Kostensenkungen könnten durch den Einsatz des Hackgerätes in weiteren Kulturen wie Mais, Sonnenblumen oder Raps erzielt werden.

Schlagwörter: Zuckerrüben, Unkrautbekämpfung, Pflanzenschutzmittelreduktion, Umwelt, Unkrauthacken

³Als Emissionen werden diejenigen PSM-Mengen betrachtet, die aufgrund von Verflüchtigung, Abdrift, Auswaschung, Abschwemmung usw. bei der Verwendung der PSM (Zubereitung, Anwendung, Reinigung der Geräte, Entsorgung von Resten) nicht auf die Behandlungsfläche gelangen oder aus der Behandlungsfläche ausgetragen werden.

1 Einleitung

Wurden in Anfang der 90er Jahre noch zahlreiche Rübenparzellen in der Schweiz gehackt, erfolgt die Unkrautbekämpfung heute fast ausschliesslich mit ganzflächigen Herbizidbehandlungen. Die Gründe für das Verschwinden der mechanischen Unkrautbekämpfung liegen bei dem im Vergleich zu Herbizidbehandlungen höheren Zeitaufwand und dem Wegfall der Vereinzlungsarbeit mit der Einführung von Gaucho und der Umstellung auf Endabstand-Saat. Die neue Generation von Hackgeräten (Kameraunterstützung, GPS) in Kombination mit einer Band- oder Unterblattspritze bzw. anderen Geräten, welche in der Reihe hacken, ermöglichen eine schlagkräftige Unkrautregulierung und eine deutliche Senkung der Herbizidmengen im Rübenbau.

Ausgelöst durch Auflagen zur Senkung der Herbizidmengen, erlebt die mechanische Unkrautbekämpfung zurzeit einen Aufschwung. Die neuen, schlagkräftigen Maschinen können von einer Person allein bedient werden und erreichen eine hohe Flächenleistung bei hoher Präzision. Dies jedoch nur bei einer günstigen Schlaggrösse und Form.

Folgende Faktoren behindern den wirtschaftlichen Einsatz der mechanischen Unkrautbekämpfung in der Schweiz:

- Die Rübenparzellen sind oft klein, unförmig oder mit Hindernissen belegt.
- Für einen wirtschaftlichen Einsatz der modernen Geräte braucht es einen grossflächigen, überbetrieblichen Einsatz.
- Die Unkrautbekämpfung wird zunehmend von Lohnunternehmern durchgeführt. Heute fehlt ein Angebot für eine kombinierte Unkrautbekämpfung durch Lohnunternehmer.
- Offen ist die Frage, wie gut die mechanische Unkrautbekämpfung bei den zunehmend praktizierten Mulchsaaten funktioniert unter unseren Klimabedingungen mit oft hohen Frühjahrsniederschlägen und unterschiedlichsten Bodentypen.

In diesem dreijährigen Projekt sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

- a. Kann die Herbizidaufwandmenge durch den kombinierten Einsatz von Hackgeräten und Herbizid-Bandbehandlungen gegenüber rein chemischen Verfahren um 50% reduziert werden?
- b. Welche Verfahren (Kombination mechanisch – chemisch) eignen sich für die schweizerischen Bedingungen (Mulchaufgabe, Bodenart etc.)?
- c. Welche Zwischenkulturen vor Zuckerrüben eignen sich für die mechanische Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben?

2 Geprüfte Hackgeräte

2.1 Schmotzer Hackgerät

An den Standorten Corcelles-prés Payerne (VD) und Avenches (VD), auf dem Betrieb der Landwirtschaft AG der Zuckerfabrik und Raffinerie Aarberg (ZRA), wurde ein 12-reihiges Hackgerät mit einem Reihenabstand von 50 cm der Firma Schmotzer eingesetzt. Dreizehn KombiPP Hackparallelogramme mit je drei Vibrohackmessern und HZ Schutzrollen sind auf einer 6m breiten Werkzeugschiene befestigt, die hydraulisch klappbar ist. Die Transportbreite beträgt 3m. Das Hackgerät verfügt über eine Optitronic-Kameraleitung mit hydraulischen Steuerrädern. Zusätzlich verfügt das Hackgerät über zwölf Fingerhackelemente für die Unkrautbekämpfung in den Rübenreihen. Der Neupreis inklusive Mwst von 8% beträgt CHF 46'800.-.



Abb.1 12-reihiges Hackgerät von Schmotzer (links) mit Fingerhackelementen für die Unkrautbekämpfung in den Reihen (rechts).

2.2 Carré - Hackgerät

Am Standort Sugiez (FR) auf dem Betrieb von Pierre-André Burnier wurde ein 6-reihiges Hackgerät von Carré eingesetzt. Das Gerät ist zweiteilig. Das am Traktor angebaute Parallelogramm verfügt über die Kamerasteuerung. An dieses Parallelogramm können anschliessend verschiedene Hackwerkzeuge mit entsprechenden Arbeitsbreiten (50cm oder 75cm) angebaut werden. Durch die zweiteilige Konstruktion können die Kosten für die Kamerasteuerung besser auf den Einsatz in verschiedenen Kulturen (Zuckerrüben, Mais, Sonnenblumen,...) verteilt werden. Die Steuerung erfolgt über eine Kamera vom Typ Precicam und erreicht eine Genauigkeit von ca. 3cm von beiden Seiten der Reihe. Der Neupreis beträgt CHF 24'100.-.



Abb.2a Hackgerät vom Typ Carré mit einer Arbeitsbreite von 3m.

2.3 Bandspritzeinrichtung

Die Bandspritzung erfolgte mit einem 6 m breiten Gerät von Schmotzer mit einer 6m breiten hydraulisch klappbaren Geräteschiene mit zwölf Bandspritzdüsen vom Typ ES von Lechler mit einem Reihenabstand von 50 cm. Die Flachstrahldüsen ermöglichen eine gleichmässige Wirkstoffverteilung über die gesamte Bandbreite durch die rechteckförmige Flüssigkeitsverteilung. Sie erlauben geringe Spritzabstände (Höhe). Dadurch werden Bandverwehungen weitgehend vermieden. Die Bandbreite kann durch die Veränderung des Spritzabstandes eingestellt werden. Der Neupreis beträgt CHF 11'400.-.



Abb. 2b Bandspritzgerät mit einer Arbeitsbreite von 6m mit 12 Flachstrahldüsen vom Typ ES von Lechner.

3 Projektjahr 2014

2014 lag der Schwerpunkt auf dem Vergleich der Eignung der verschiedenen Unkrautbekämpfungsverfahren in den Anbauverfahren Pflug und Mulchsaat. Es wurde die Hypothese formuliert, dass die Mulchsaat aufgrund des organischen Materials der Zwischenkultur an der Bodenoberfläche höhere Anforderungen an die mechanische Unkrautbekämpfung stellt.

3.1 Standort

Der Versuch wurde in Corcelles-prés Payerne (VD) auf dem Betrieb der Landwirtschaft AG der Zuckerfabrik und Raffinerie Aarberg (ZRA) durchgeführt.

3.1.1 Boden

Die Bodenart der Versuchsparzelle ist ein Lehm. Die Versuchsparzelle ist 4.3 ha gross und vollständig flach (Tab.1).

Tab.1 Bodenanalyse der Versuchsparzelle 2014

pH	7.8
Humus	3.3%
Ton	21%
Schluff	36.2%
Sand	42.8%

3.1.2 Klimadaten

Zwischen der Saat am 1. April und dem Bestandesschluss der Zuckerrüben am 20. Juni waren 36 Regentage mit insgesamt 151 mm Niederschlag zu verzeichnen. Besonders oft regnete es zwischen dem 25.4 und 15.5 (Abb.3). Im Vergleich zum langjährigen Mittel (1981-2010) für die gleiche Periode von 248 mm, waren die Niederschläge 2014 unterdurchschnittlich.

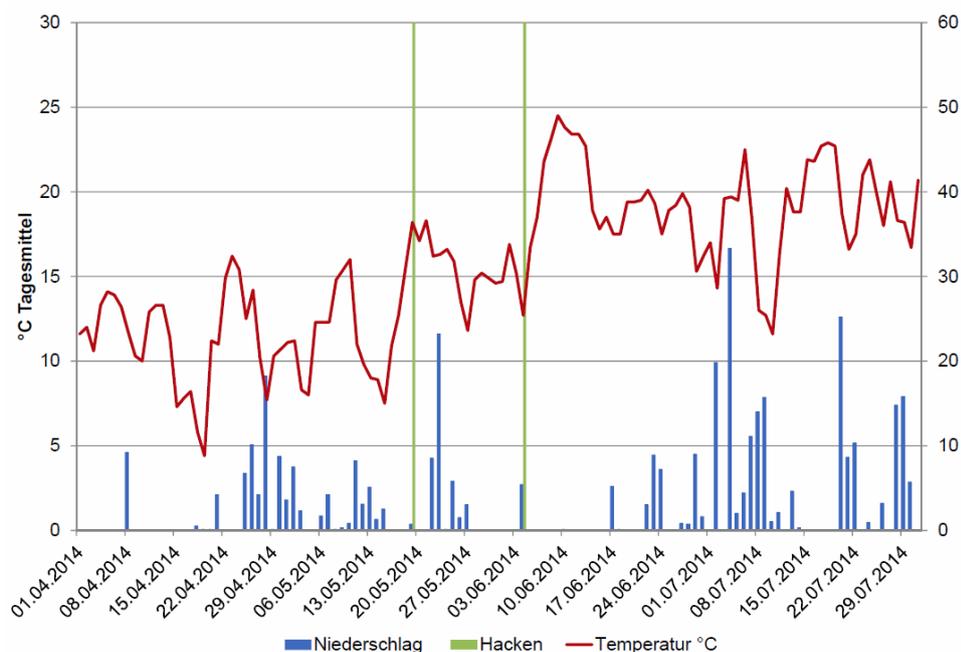


Abb.3 Temperatur- und Niederschlagsdaten Corcelles 2014, erfolgte Hackdurchgänge in grün. IDAWEB Payerne 2014.

3.2 Unkrautbekämpfungsverfahren

Auf der einen Hälfte der Versuchsparzelle wurde die Zwischenkultur Senf vor der Rübensaat gepflügt, auf der anderen erfolgte die Rübensaat als Mulchsaat. Die beiden Teilflächen wurden nach der Saat der Rüben in 12m Streifen mit einer Länge von 350 m unterteilt, in denen die Unkrautbekämpfung in den folgenden Verfahren durchgeführt wurde.

1. Pflug / Herbizid ganzflächig, 100% Dosierung
2. Pflug / Herbizid ganzflächig, 50% Dosierung
3. Pflug / Bandspritzung (25cm) + Hacken ab 4-Blatt
4. Mulchsaat / Herbizid ganzflächig, 100% Dosierung
5. Mulchsaat / Herbizid ganzflächig, 50% Dosierung
6. Mulchsaat / Bandspritzung (25cm) + Hacken ab 4-Blatt

3.3 Datenerhebung

3.3.1 Unkrautbesatz

Bei Reihenschluss der Rüben wurde der Unkrautbesatz an je drei Teilflächen à 1m² pro Verfahren erfasst und die Unkräuter bestimmt.

3.3.2 Herbizidaufwand und Hackdurchgänge

Die Dosierung und der Spritztermin wurden durch den Betriebsleiter in Absprache mit der Fachstelle für Zuckerrübenbau und der HAFL auf der Basis der im Feld keimenden Unkräuter festgelegt.

3.3.3 Verfahrenskosten

Die Kosten des Hackgerätes und der Bandspritze wurden mit den effektiven Anschaffungskosten gemäss Offerte des Händlers und mit einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren berechnet, solange die jährliche Auslastung in den gewählten Verfahren die zugrunde gelegte Auslastung pro Jahr nicht überschritt (Maschinenkosten 2016). Bei Überschreiten der zugrunde gelegten Auslastung pro Jahr, wurde nach Nutzungsdauer in Arbeitseinheiten abgeschrieben, wodurch sich die Abschreibungsdauer verkürzt (Maschinenkosten 2016). Der Reparatur- und Unterhaltsfaktor beträgt für das Hackgerät 1.25 und für das Bandspritzgerät 1.75. Der Zinssatz beträgt 2.5%.

Die in die Berechnungen eingeflossenen Flächenleistungen der Geräte basieren auf den Erfahrungen an den Versuchsstandorten 2014-16. Die Kosten für die Pflanzenschutzmittel wurden dem Heft Pflanzenschutzmittel im Feldbau 2015 respektive dem Zielsortiment der Fenaco entnommen.

Die Berechnungen zu den Verfahrenskosten erfolgten auf der Basis des ART-Berichtes Maschinenkosten 2016 und mit dem Berechnungsprogramm TractoScope 2016 der ART (die detaillierten Berechnungen befinden sich im Anhang). Die Verfahrenskosten wurden für Zuckerrübenanbauflächen von 10, 20, 30, 40, 50 und 60 Hektaren berechnet.

3.4 Resultate

3.4.1 Unkrautbesatz

In allen Verfahren konnten die Unkräuter ausreichend bekämpft werden. Der Unkrautbesatz bei Bestandesschluss am 20. Juni lag bei allen Verfahren auf einem tiefen, unproblematischen Niveau (Abb.4).

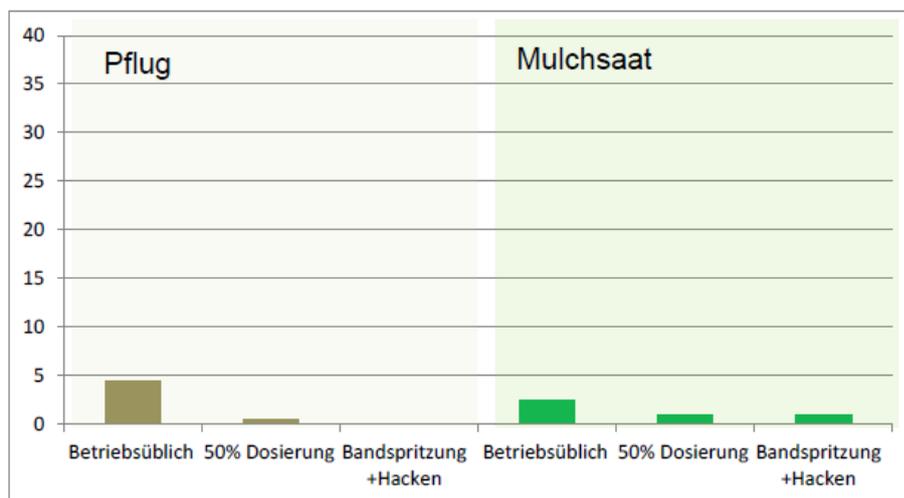


Abb. 4 Anzahl Unkräuter je m² bei Bestandesschluss je Verfahren, Corcelles-près Payerne 2014

3.4.2 Herbizidaufwand und Hackdurchgänge

In den Verfahren mit Pflug war der Unkrautdruck höher als in den Mulchverfahren und daher auch die total applizierten Herbizidmengen (Tab.2). Im Verfahren „Bandspritzung und Hacken ab 4-Blatt“ waren die Herbiziddosierungen bei Pflug- und Mulchsaat gleich hoch. Im Verfahren mit 50% Dosierung konnte keine verminderte Wirkung im Vergleich zur vollen Dosierung beobachtet werden. Dies zeigt, dass die Herbiziddosierungen im Verfahren „Bandspritzung und Hacken ab 4-Blattstadium“ noch weiter hätten reduziert werden können. Im Vergleich zu den jeweiligen betriebsüblichen Verfahren (Mulchsaat, 100% und Pflug, 100%) konnten die Herbizidmengen mehr als halbiert werden, dies obwohl die Hackdurchgänge aufgrund der vielen Regentage erst spät durchführt werden konnten.

Tab. 2 Wirkstoffmengen absolut und in Prozent, sowie Anzahl Hackdurchgänge in den Unkrautbekämpfungsverfahren am Standort Corcelles-près Payerne 2014

Bodenbearbeitung	Verfahren Unkrautbek.	Wirkstoff-Menge g/ha	%	Anzahl Spritzungen	Anzahl Hackdurchgänge
Mulchsaat	Herbizid Dosierung 100%	4100	77	3	
Mulchsaat	Herbizid Dosierung 50%	2000	37	3	
Mulchsaat	Bandspritzung und Hacken ab 4-Blatt	1748	33	2	2
Pflug	Herbizid Dosierung 100%	5334	100	4	
Pflug	Herbizid Dosierung 50%	2667	50	4	
Pflug	Bandspritzung und Hacken ab 4-Blatt	1748	33	2	2

3.4.3 Verfahrenskosten

Die Herbizidkosten konnten durch den Einsatz eines Hackgerätes deutlich reduziert werden (Abb.5). Diesen Einsparungen stehen Mehrkosten bei den Maschinen und bei der Arbeit gegenüber. Im Anbauverfahren Mulch und bei einer Zuckerrübenanbaufläche von 20ha lagen die Verfahrenskosten im Verfahren „Bandspritzung und Hacken ab 4-Blatt“ im Vergleich zur chemischen Flächenspritzung mit 100% Dosierung respektive 50% Dosierung um CHF 1.-/ha respektive CHF 215.-/ha höher (Abb.5, rechts). Im Anbauverfahren Pflug lagen die Verfahrenskosten im Verfahren „Bandspritzung und Hacken ab 4-Blatt“ im Vergleich zur chemischen Flächenspritzung mit 100% Dosierung CHF 173.-/ha tiefer, jedoch CHF 112.-/ha höher im Vergleich zur chemischen Flächenspritzung mit 50% Dosierung. Die Mehrkosten des Verfahrens „Bandspritzung und Hacken ab 4-Blatt“ können bei 2 Hackdurchgängen bis zu einer Anbaufläche von 30ha durch die zunehmende Auslastung des Hackgerätes reduziert werden (Abb.6). Danach wird die zugrunde gelegte Auslastung des Hackgerätes (Maschinenkosten 2016) überschritten, was zu einer kürzeren Abschreibungsdauer führt. Dadurch sind trotz zunehmender Auslastung keine nennenswerten Kostensenkungen mehr möglich. Im Verfahren „Bandspritzen und Hacken ab 4-Blatt“ lagen die Verfahrenskosten im höher als im Verfahren „chemische Flächenspritzung 50% Dosierung“. Nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug waren die Verfahrenskosten bei „Bandspritzen und Hacken ab 4-Blatt“ tiefer als die des Verfahrens „chemische Flächenspritzung 100% Dosierung“, nicht jedoch bei der Mulchsaat (Abb. 6). Dies ist auf die höheren Herbizidkosten in den Verfahren mit Pflug zurückzuführen. Mit einer Flächenleistung von rund 2.5ha/h könnten pro Tag (8h) rund 20ha gehackt werden (ohne Berücksichtigung der Rüst- und Anfahrtszeiten).

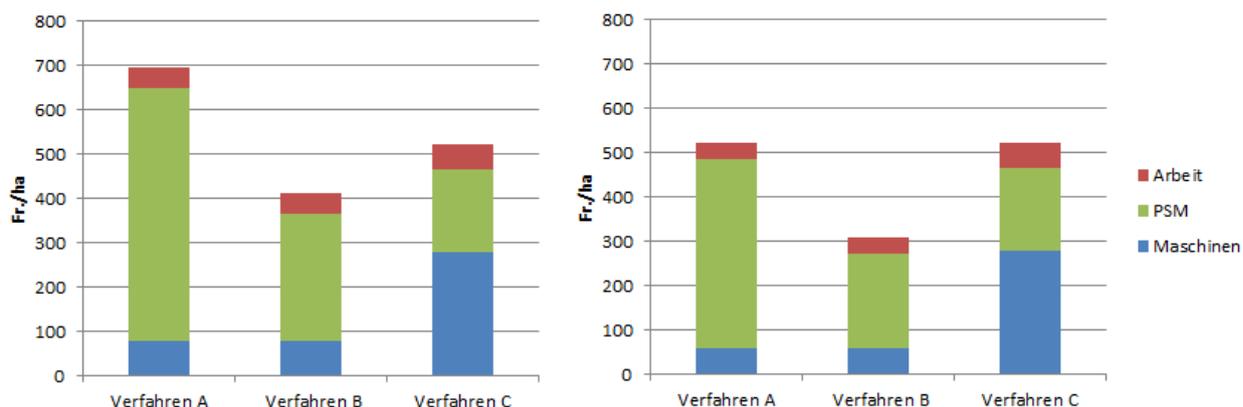


Abb.5 Verfahrenskosten bei 20 ha Anbaufläche in den Verfahren A = Chemisch 100%, B= chemisch 50%, C= Bandspritzung und Hacken ab 4-Blattim Anbauverfahren Pflug (linke Graphik) und Mulchsaat (rechte Graphik)

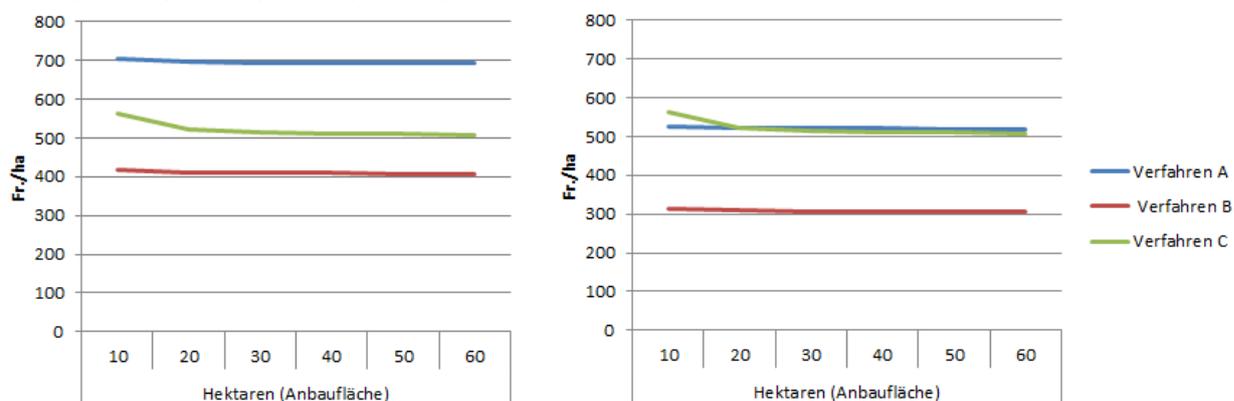


Abb.6 Verfahrenskosten bei 10 bis 60 ha Anbaufläche in den Verfahren A = Chemisch 100%, B= chemisch 50%, C= Bandspritzung und Hacken ab 4-Blattim Anbauverfahren Pflug (linke Graphik) und Mulchsaat (rechte Graphik)

3.5 Diskussion

Die Erfahrungen mit dem in den Versuchen 2014 verwendeten Hackgerät vom Typ Schmotzer (mit Kamera) waren positiv. Der Einsatz des Hackgerätes verlief sowohl auf den Parzellen mit Pflug, als auch auf den Parzellen mit Mulchsaat ohne grössere Probleme. Entscheidend für eine gute Wirkung ist die Wahl des richtigen Zeitpunktes. Der Verluste an Rübenpflanzen durch die mechanische Unkrautbekämpfung war gering und kann als nicht ertragswirksam eingestuft werden. Als ungünstig erwies sich der Aufbau der Bandspritze auf dem Hackgerät, da die Bedingungen für den Einsatz beider Massnahmen gleichzeitig kaum je optimal waren. Zudem kann sich die Staubentwicklung durch das Hackgerät negativ auf die Herbizidwirkung im Band auswirken. Für 2015 sollen diese beiden Geräte daher getrennt werden. Aufgrund der Erfahrungen 2014 werden zudem die Versuche in gepflügten Verfahren zu Gunsten der Mulchsaaten reduziert, da die mechanische Unkrautbekämpfung in diesem Verfahren die höheren Anforderungen stellt als im Pflugverfahren (organisches Material der Zwischenkulturen).

In allen Regulierungsverfahren konnten die Unkräuter ausreichend bekämpft werden. Die Wirkung der kombinierten Verfahren mit Hacken und reduzierten Herbizidaufwendungen zeigten 2014 vergleichbare Ergebnisse wie die rein chemischen Verfahren. Weitere Optimierungen werden für 2015 vorgenommen. Aufgrund erster Erfahrungen in Corcelles-prés Payerne wird das Hackgerät für 2015 zusätzlich mit Fingerhacken ausgerüstet, welche das Unkraut auch in den Rübenreihen bekämpfen. Mit 2.6 ha/h war die Schlagkraft des Hackgerätes sehr gut. Es ist allerdings zu beachten, dass die Schlaggrösse am Versuchsstandort mit über 4 ha überdurchschnittlich ist. Damit die kombinierte Unkrautregulierung bezüglich Wirtschaftlichkeit mithalten kann, muss mit dem Hackgerät eine hohe Flächenleistung erreicht werden, wobei die Anzahl verfügbare Feldtage berücksichtigt werden müssen. Rückblickend war die Herbiziddosierung im Verfahren A (100%) zu hoch gewählt, Dies zeigt sich daran, dass die Restverunkrautung etwas auf dem gleichen Niveau lag, wie im Verfahren B mit 50%iger Dosierung.

4 Projektjahr 2015

Basierend auf den Ergebnissen 2014 wurden folgende Änderungen und Ergänzungen vorgenommen:

- Ein zweiter Standort (Sugiez) mit einem anderen Hackgerät (Carré) wurde 2015 in das Projekt integriert.
- Die Bandspritzung erfolgt neu getrennt von den Hackdurchgängen, da damit sowohl die chemische als auch die mechanische Unkrautregulierung im optimalen Stadium durchgeführt werden kann. Eine Kombination dieser beiden Massnahmen in einem Arbeitsgang ist immer ein Kompromiss bezüglich der Einsatzbedingungen und reduziert die Effizienz einer der beiden Massnahmen.
- Beide Hackgerät wurde zusätzlich mit Fingerhackelementen ausgerüstet, welche eine Bekämpfung der Unkräuter in den Rübenreihen ermöglicht.
- Durch diese Anpassungen konnten in den Versuchen 2015 folgende Verfahren zur mechanisch-chemischen Unkrautbekämpfung durchgeführt werden.

Verfahren A: Chemische Bekämpfung

Verfahren B: Flächenbehandlung bis zum 4-Blattstadium der Rüben danach nur noch Hacken (Zwischen den Reihen und in den Reihen mit den Fingerhackelementen)

Verfahren C: Bandspritzung bis zum 4-Blattstadium der Rüben, danach nur noch Hacken (Zwischen den Reihen und in den Reihen mit den Fingerhackelementen)

Das Verfahren B benötigt kein Bandspritzgerät und kann mit der üblichen Spitztechnik durchgeführt werden. Es erfordert keine zusätzlichen Investitionen für ein Bandspritzgerät.

- An beiden Standorten wurde die Eignung einer Artenmischung (UFA Lepha) sowie zwei Reinsaaten (Gelbsenf und Structurator) als Zwischenkulturen in Hinblick auf eine mechanische Unkrautbekämpfung (Unkrautunterdrückung, Bodenstruktur- und Feuchtigkeit im Frühjahr) untersucht.

A: **UFA Lepha** (Alexandrinerklee, Sommerwicken, Phacelia und Guizottia)

B: **Structurator** (Rettich mit kräftiger Pfahlwurzel, der abfriert und bis im Frühjahr vollständig zersetzt wird)

C: **Gelbsenf**

4.1 Standorte

4.1.1 Avenches

4.1.1.1 Boden

Die Bodenart der Versuchsparzelle ist ein lehmreicher Sand. Der mittlere Humusgehalt liegt bei 8.5%, steigt jedoch in Bearbeitungsrichtung stark an. Im vorderen Bereich liegt der Humusgehalt unter 4%, im hinteren deutlich über 10%. Die Parzelle ist flach. Die Bodenverhältnisse innerhalb der Parzellen variieren stark.

Tab.3 Bodenanalyse der Versuchsparzelle 2015 in Avenches

pH	7.1
Humus	8.5% (starker Gradient in Längsrichtung)
Ton	11%
Schluff	41%
Sand	48%

4.1.1.2 Klimadaten

Insgesamt waren in Avenches zwischen dem 1. April und dem 15. Juni 2015 33 Regentage und insgesamt 233 mm Niederschlag zu verzeichnen (Abb.7). Dies entspricht etwa dem langjährigen Mittel (1981-2010) von 248 mm.

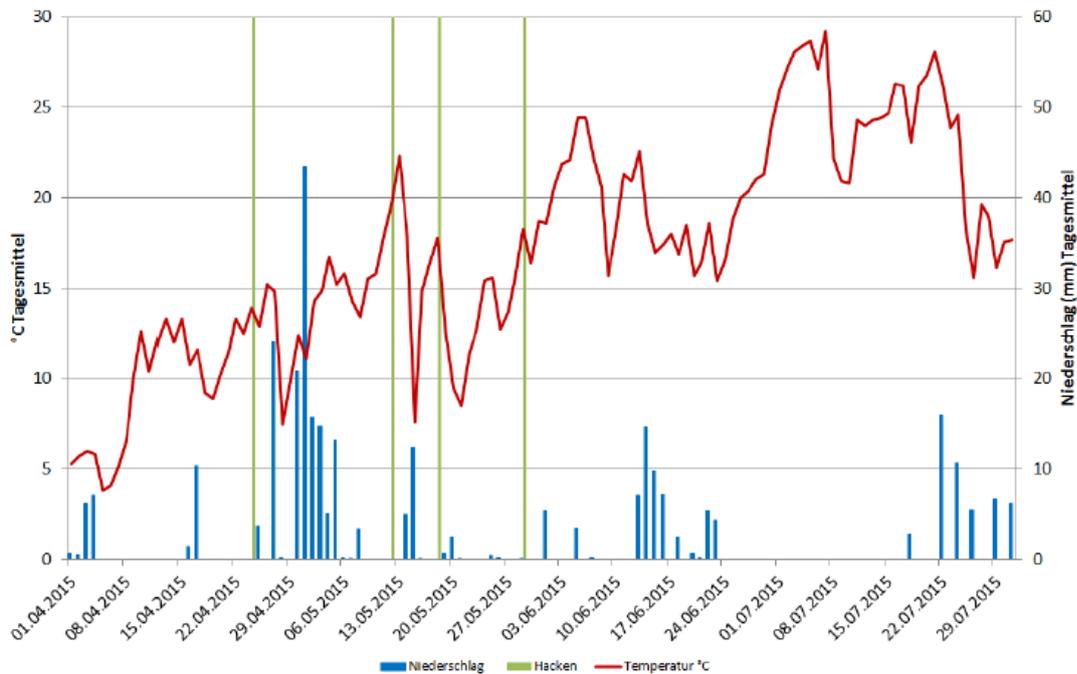


Abb.7 Temperatur- und Niederschlagsdaten Avenches 2015, erfolgte Hackdurchgänge in grün. IDAWEB Avenches 2015.

4.1.2 Sugiez

4.1.2.1 Boden

Die Bodenart der Versuchsparzelle ist ein Lehm.

Tab.4 Bodenanalyse der Versuchsparzelle 2015 in Sugiez

pH	7.3
Humus	7.0
Ton	21.0
Schluff	31.0
Sand	-

4.1.2.2 Klimadaten

Insgesamt regnete es in Sugiez zwischen dem 1. April und dem 15. Juni während 32 Tagen und es fielen 236 mm Niederschlag (Abb.8). Die Bedingungen waren vergleichbar wie am Standort Avenches.

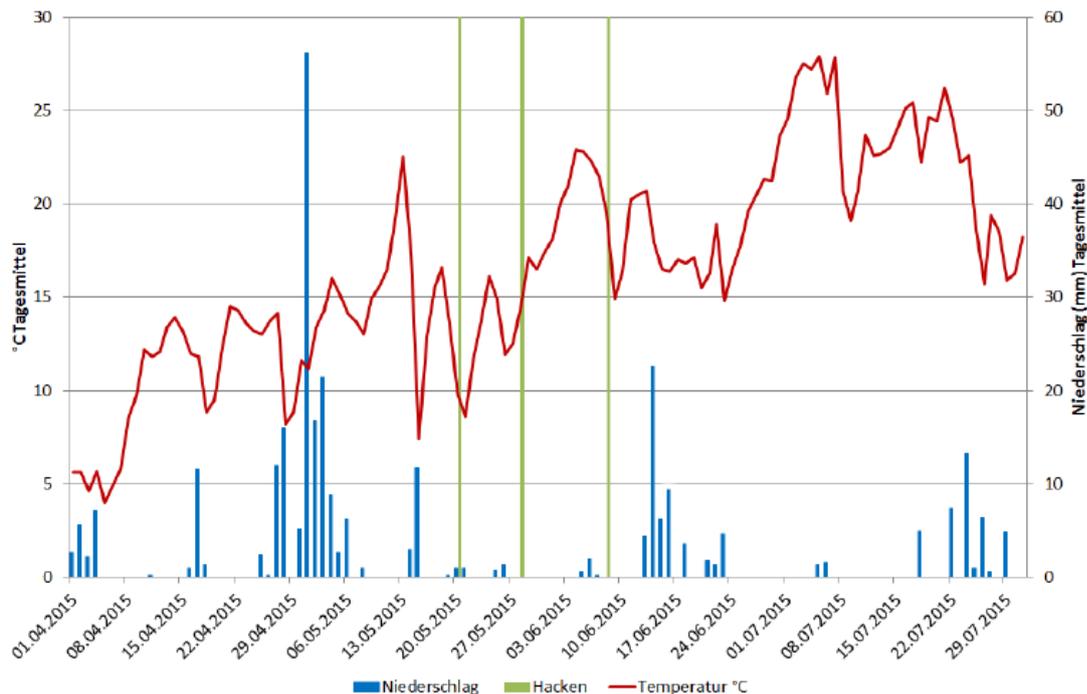


Abb.8 Temperatur- und Niederschlagsdaten Sugiez 2015, erfolgte Hackdurchgänge in grün. Agrometeo Station Praz 2015.

4.2 Versuchsanlage und Verfahren

4.2.1 Avenches

Versuch 1:

In diesem Versuch wurden drei Unkrautbekämpfungsverfahren und drei Zwischenkulturen getestet (Abb. 9). Der Boden variiert an diesem Standort innerhalb der Parzelle deutlich. Im vorderen Teil ist es ein Mineralboden, während im hinteren Teil ein humoser Boden mit einem sehr hohen Unkrautdruck vorherrscht. Dieser Standort wurde bewusst gewählt, um die Grenzen der mechanischen (und chemischen) Unkrautbekämpfung auszuloten. Damit die Bodenunterschiede bei der Auswertung berücksichtigt werden können, wurden bei den Zwischenbegrünungen insgesamt acht Wiederholungen angelegt.

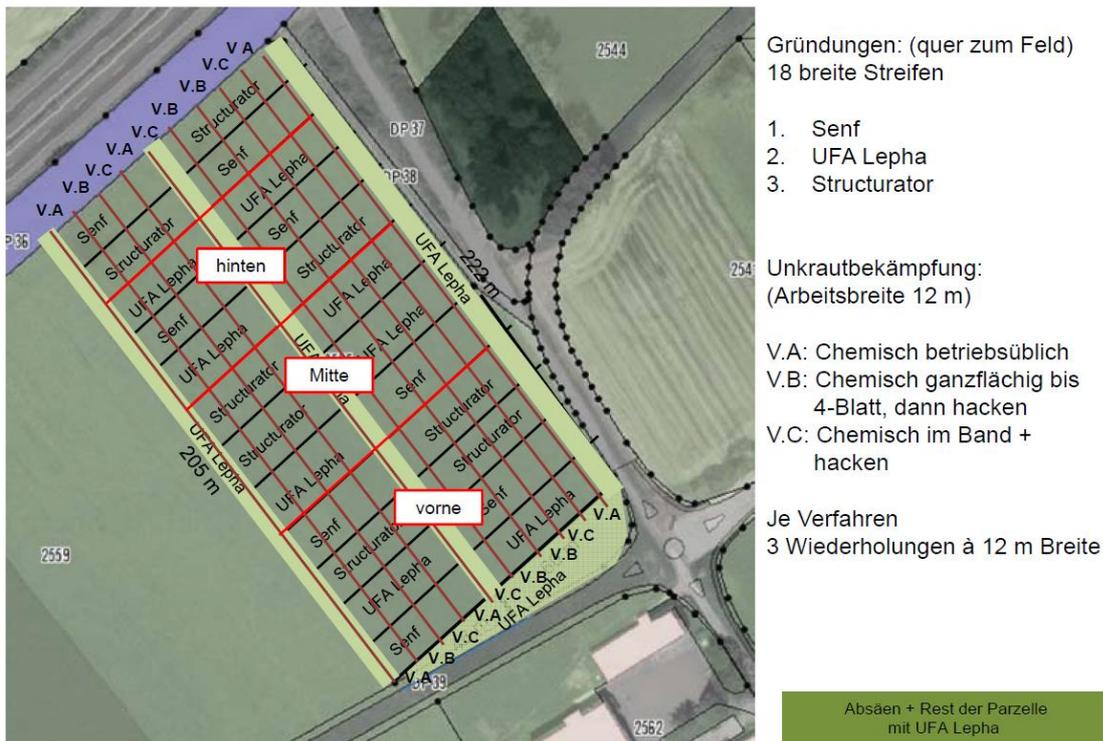


Abb. 9 Versuch 1- Hackversuch in Avenches mit drei Zwischenfrüchten und drei Bekämpfungsverfahren. Anbauverfahren = Mulchsaat)

Versuch 2:

Die Ergebnisse 2014 haben gezeigt, dass die mechanische Unkrautbekämpfung im Pflugverfahren geringere Herausforderung stellt als im Mulchverfahren. Deshalb wurde 2015 nur an einem Standort der Vergleich der Anbausysteme Pflug und Mulchsaat durchgeführt (Abb.10).

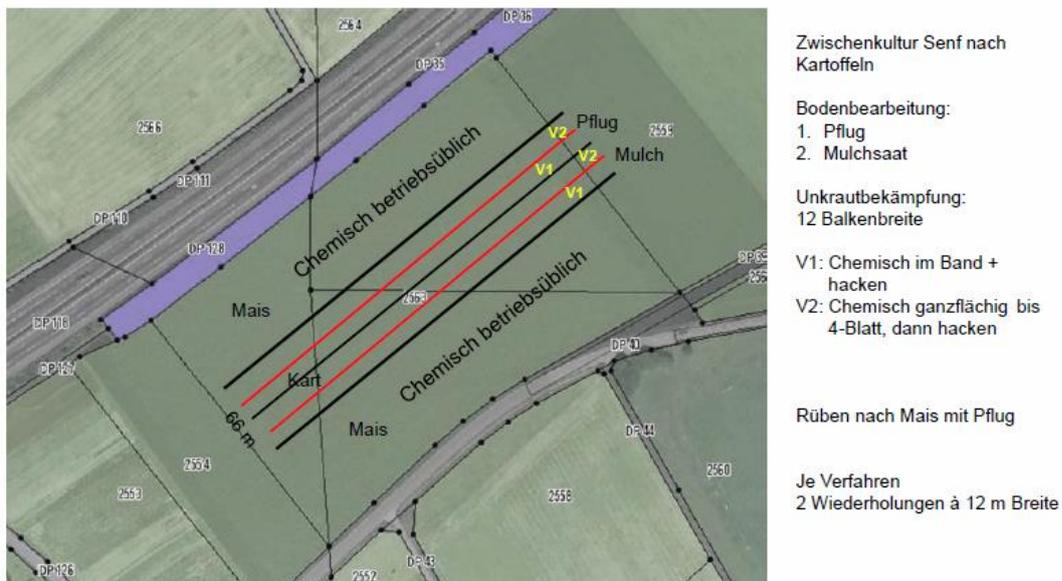


Abb. 10 Versuch 2 - Hackversuch in Avenches mit zwei Unkrautbekämpfungsverfahren in den Anbauverfahren Pflug und Mulchsaat

4.2.2 Sugiez

Am Standort Sugiez war die gleiche Versuchsanlage geplant wie in Avenches. Wegen der hohen Bodenfeuchtigkeit wurde bei der Anlage der Zwischenkulturen darauf verzichtet, die Streifen quer zu den Rübenreihen zu säen, um unnötige Bodenverdichtungen zu vermeiden (Abb. 11). Die Anzahl Wiederholungen mussten deshalb aus versuchstechnischen Gründen reduziert werden.

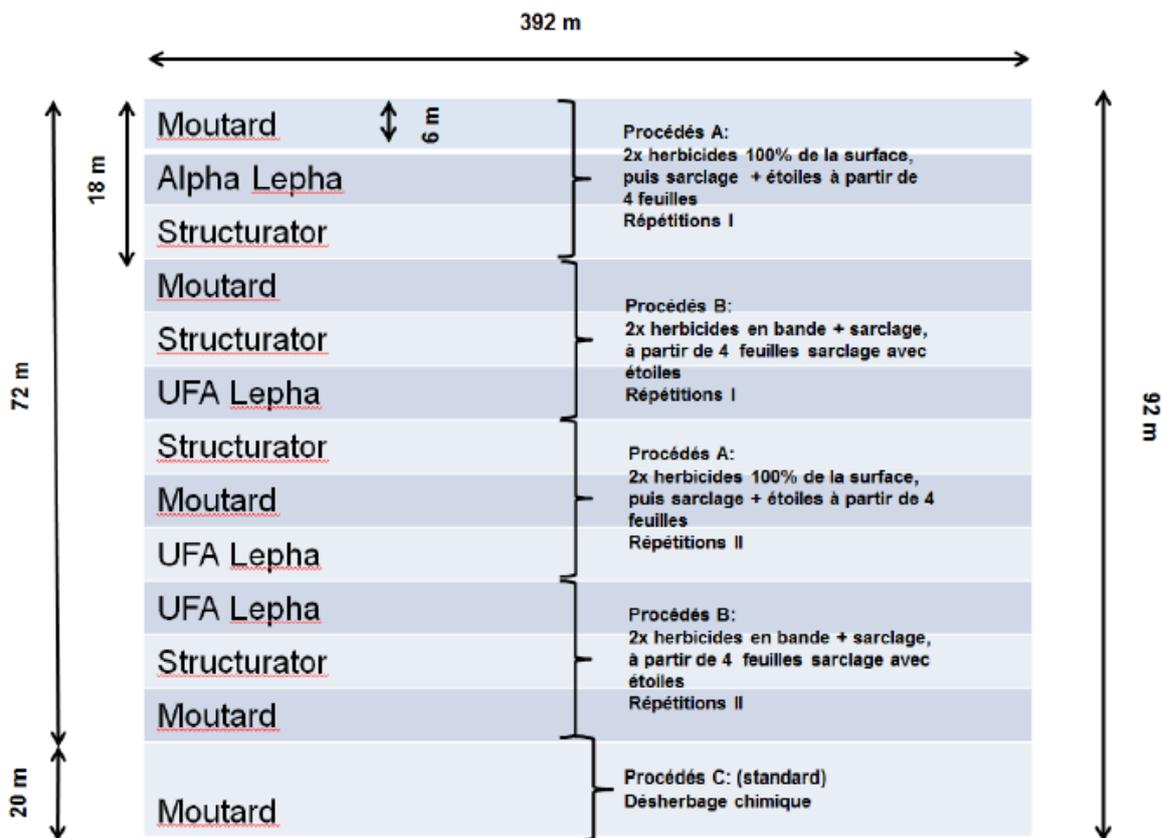


Abb. 11 Versuch 3 – Hackversuch mit drei Zwischenbegrünungen und drei Unkrautbekämpfungsverfahren am Standort Sugiez, 2015

4.3 Datenerhebung

4.3.1 Bestandesdichte der Zuckerrüben

Bei Bestandesschluss der Rüben wurde die Bestandesdichte der Rüben pro Verfahren und Wiederholung auf je 6 Teilflächen à 1m² ausgezählt.

4.3.2 Unkrautbesatz

Gleichzeitig mit der Auszählung der Bestandesschluss der Rüben wurde auf denselben Teilflächen (siehe oben) die Anzahl Unkräuter und die Unkrautart bestimmt.

4.3.3 Herbizidaufwand und Hackdurchgänge

Die Dosierung und die Spritztermine wurden durch den Betriebsleiter in Absprache mit der Fachstelle für Zuckerrübenbau und der HAFL auf der Basis der im Feld keimenden Unkräuter festgelegt.

4.3.4 Verfahrenskosten

Die Kosten des Hackgerätes und der Bandspritze wurden mit den effektiven Anschaffungskosten gemäss Offerte des Händlers und mit einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren berechnet, solange die jährliche Auslastung in den gewählten Verfahren die zugrunde gelegte Auslastung pro Jahr nicht überschritt (Maschinenkosten 2016). Bei Überschreiten der zugrunde gelegten Auslastung pro Jahr, wurde nach Nutzungsdauer in Arbeitseinheiten abgeschrieben, wodurch sich die Abschreibungsdauer verkürzt (Maschinenkosten 2016). Der Reparatur- und Unterhaltsfaktor beträgt für das Hackgerät 1.25 und für das Bandspritzgerät 1.75. Der Zinssatz beträgt 2.5%.

Die in die Berechnungen eingeflossenen Flächenleistungen der Geräte basieren auf den Erfahrungen und Standortbedingungen an den Standorten Corcelles-prés Payerne respektive Sugiez und betragen 2.6ha/h respektive 1.53ha/h. Die Parzellenlänge (Versuchsstreifenlänge) in Avenches beträgt im Versuch 1 215m und im Versuch 2 290m. In Sugiez beträgt die Parzellenlänge 380m. Die Kosten für die Pflanzenschutzmittel wurden dem Heft Pflanzenschutzmittel im Feldbau 2015 respektive dem Zielsortiment der Fenaco entnommen.

Die Berechnungen zu den Verfahrenskosten erfolgten auf der Basis des ART-Berichtes Maschinenkosten 2015 und dem Programm Tractoscope2016 (die detaillierten Berechnungen befinden sich im Anhang). Die Verfahrenskosten wurden für Zuckerrübenanbauflächen von 10, 20, 30, 40, 50 und 60 Hektaren berechnet.

4.3.5 Erträge

Die Probenahme zur Ertragsbestimmung erfolgte von Hand. Im Versuch 1 (Avenches) wurden je Verfahren innerhalb einer Wiederholung 3 Proben gezogen (je 2 x 15 Rüben). Damit standen je Verfahren innerhalb einer Gründüngungsvariante 3 Datensätze für die statistischen Auswertungen zur Verfügung. Im Versuch 2 (Avenches) wurden je Unkraubekämpfungsverfahren innerhalb derselben Bodenbearbeitung 3 Proben (je 2 x 15 Rüben) gezogen. Im Versuch 3 (Sugiez) wurden je Verfahren innerhalb einer Wiederholung 6 Proben zu je 2 x 15 Rüben geerntet. Zur Berechnung des Ertrages wurde jeweils die Erntefläche für die 30 geernteten Rüben bestimmt. Das Gewicht sowie die chemischen Qualitätsparameter wurden in der Zuckerrübenfabrik Aarberg erhoben.

4.4 Ergebnisse

Einsatz der Hackgeräte

Der Einsatz der Hackgeräte (Schmotzer und Carré) verlief an allen Standorten einwandfrei. Die Kamera konnte die Rübenreihen schon ab dem 2-Blattstadium erkennen und ermöglichte einen frühen Hackeinsatz, ohne die Rüben zu schädigen. Der frühe Einsatz der Hackgeräte war vor allem in Avenches am Standort mit dem humosen Boden nötig, da sonst die Unkräuter zwischen den Reihen zu gross geworden wären für eine einwandfreie mechanische Bekämpfung.

Die Fingerhackelemente wurden in der Phase eingesetzt, in welcher keine chemischen Behandlungen mehr durchgeführt wurden (gemäss Planung ab ca. 4-Blattstadium der Rüben). Die Wirkung gegen Unkräuter in der Reihe war sehr zufriedenstellend. Da die Rüben ab dem 4-Blattstadium gut im Boden verankert waren, konnten kaum Verluste durch Ausreissen beobachtet werden.

Ein später Hackdurchgang ermöglichte die Bekämpfung von Kartoffeldurchwuchs, was mit Herbiziden nicht möglich war.

4.4.1 Eignung der Zwischenkulturen

Alle drei getesteten Zwischenkulturen eignen sich für eine Mulchsaat von Zuckerrüben. Es konnten keine Unterschiede bezüglich der Bestandesdichte der Zuckerrüben oder des Unkrautbesatzes beobachtet werden. Einzig die Konkurrenzfähigkeit von Structurator gegenüber Ausfallgetreide ist tiefer einzuschätzen als bei UFA Lepha und Senf.

4.4.2 Bestandesdichte der Zuckerrüben

Die Bestandesdichte der Zuckerrüben lag in allen Unkrautbekämpfungsverfahren auf einem vergleichbaren und guten Niveau trotz bis zu fünf Hackdurchgängen in den mechanisch-chemischen Verfahren (Abb. 12 und 13). Durch die exakte und schonende Arbeit der Kameragestützten Hackgeräte wurden kaum Zuckerrübenpflanzen geschädigt.

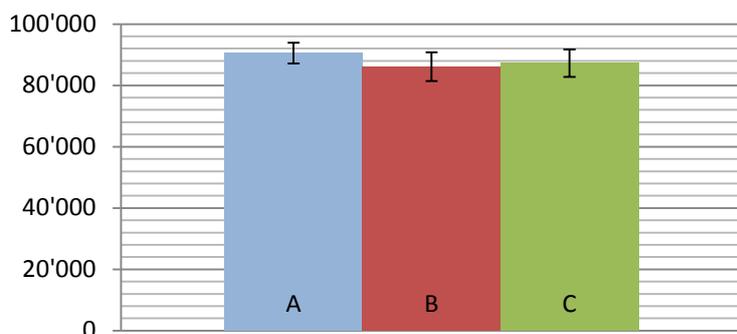


Abb. 12 Bestandesdichte in Zuckerrübenpflanzen / ha Versuch 1 Standort Avenches bei Bestandesschluss (18.6.2015) in den drei Unkrautbekämpfungsverfahren, A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, dann nur noch hacken, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, dann nur noch hacken.

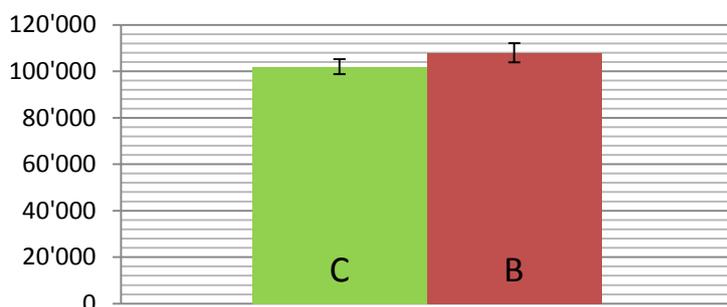


Abb. 13 Bestandesdichte in Zuckerrübenpflanzen / ha Versuch 2 Standort Avenches bei Bestandesschluss (18.6.2015) in den Unkrautbekämpfungsverfahren B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, dann nur noch hacken und C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, dann nur noch hacken.

4.4.3 Unkrautbesatz bei Bestandesschluss

An den Standorten mit mineralischen Böden (Avenches Versuch 2 und Sugiez) war die Wirkung der kombinierten Verfahren gegenüber den Unkräutern vergleichbar mit den chemischen Verfahren (Abb. 15 und 16). Im humosen Boden mit einem sehr hohen Unkrautdruck (Amaranth, Melden, Knöterich) wurden die Grenzen der mechanischen (und chemischen) Unkrautbekämpfung aufgezeigt (Abb. 14; Versuch 1 in Avenches). In den mechanischen und selbst im chemischen Verfahren konnte eine Spätverunkrautung nicht vollständig verhindert werden, so dass zur Verhinderung der Versamung der Unkräuter ein Jäten von Hand nötig wurde.

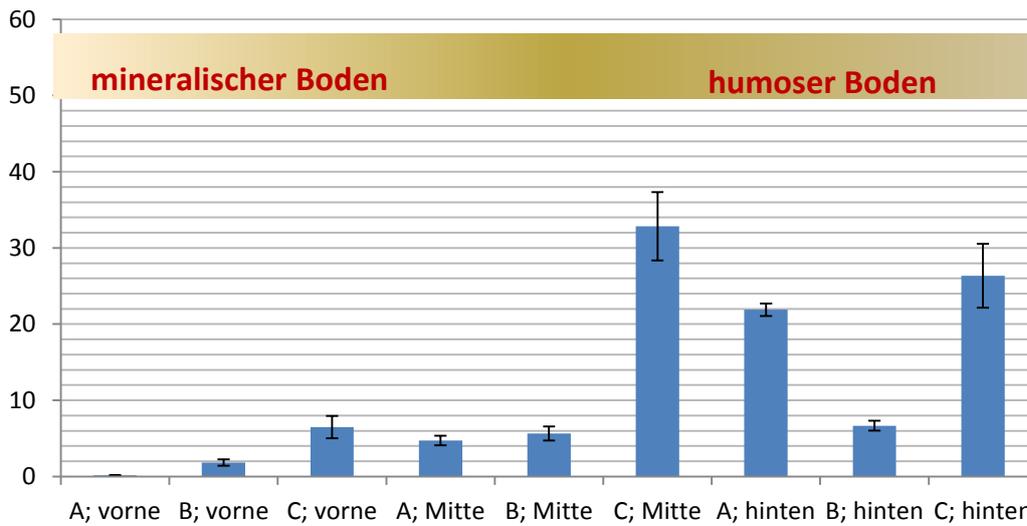


Abb. 14 Anzahl Unkräuter (ab 2-Blatt-Stadium) pro m² bei Reihenschluss (18.6.2015) im Versuch 1 am Standort Avenches in Abhängigkeit des Humusgehaltes. Verfahren: A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, dann nur noch hacken, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben dann nur noch hacken. „Vorne“, „Mitte“ und „hinten“ siehe Abb.9.

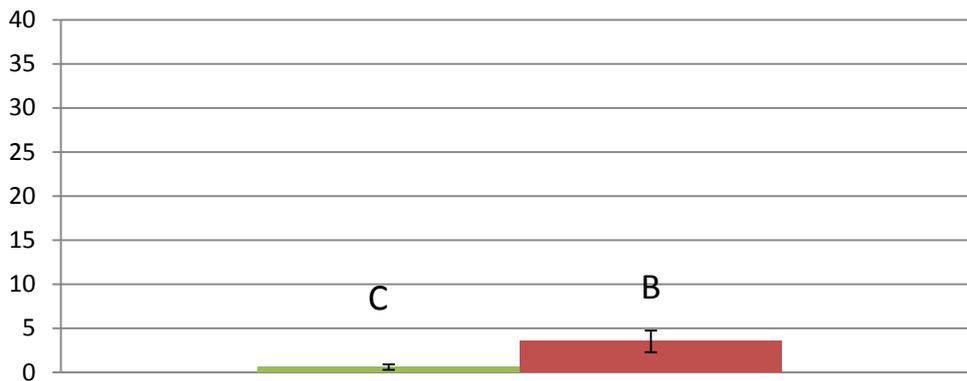


Abb. 15 Anzahl Unkräuter (ab 2-Blatt-Stadium) pro m² bei Bestandesschluss (18.6.2015) im Versuch 2 am Standort Avenches auf Mineralboden. B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, dann nur noch hacken, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben dann nur noch hacken.

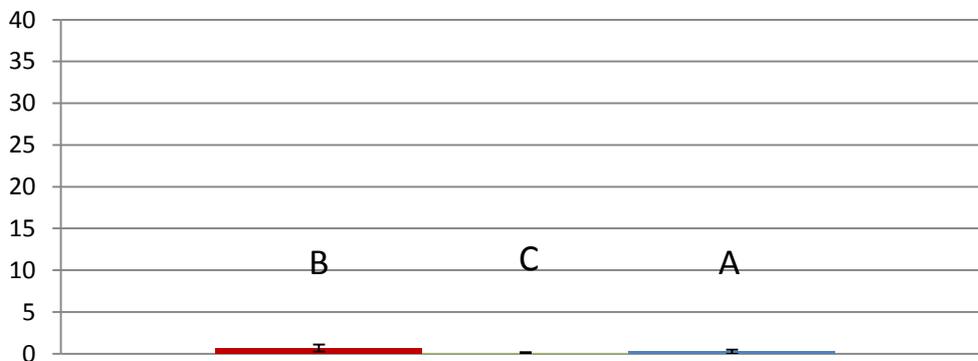


Abb. 16 Anzahl Unkräuter (ab 2-Blatt-Stadium) pro m² bei Bestandesschluss (17.6.2015) am Standort Sugiez auf Mineralboden. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, dann nur noch hacken, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben dann nur noch hacken.

4.4.4 Herbizidaufwandmengen und Hackdurchgänge

In den Verfahren mit mechanisch-chemischer Unkrautbekämpfung konnten die Herbizidmengen pro Hektare im Vergleich zum betriebsüblichen Standard mit vollständig chemischer Unkrautbekämpfung deutlich reduziert werden (Tab. 5 und 6). Bei den Versuchen 2 (Avenches) und 3 (Sugiez) war das Ergebnis der mechanischen Verfahren bezüglich Restverunkrautung bei Reihenschluss sehr zufriedenstellend und unterschied sich nicht vom chemischen Verfahren.

Im Versuch 1 (Avenches, organischer Boden) war der Unkrautdruck so hoch, dass selbst die chemisch Unkrautbekämpfung an ihre Grenzen stiess. Trotz bis zu 5 Hackdurchgängen konnte das Unkraut hier nicht ausreichend kontrolliert werden. Bei jedem Hackdurchgang wurden jeweils sehr viele Problemunkräuter (Amaranth, Gänsefuss) zum Keimen angeregt. Die ungenügende Wirkung der mechanischen Unkrautbekämpfung im Bereich des organischen Bodens ist teilweise auch auf die sehr ungünstigen Bedingungen im Frühjahr mit zeitweise stehenden Wasser in den Parzellen zurückzuführen. Im Parzellenteil mit einem deutlich geringen Gehalt an organischer Substanz, war die Wirkung der mechanischen Verfahren gut, vergleichbar mit den Versuchen 2 und 3.

Tab.5: Ausgebrachte Wirkstoffmengen in den verschiedenen Verfahren absolut und in Prozent, sowie Anzahl Hackdurchgänge in den drei Unkrautbekämpfungsverfahren am Standort Avenches 2015. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, dann nur noch hacken, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben dann nur noch hacken.

Verfahren	Avenches Versuch 1				Avenches Versuch 2			
	Wirkstoffmenge g/ha	%	Anzahl Spritzungen	Anzahl Hackdurchgänge	Wirkstoffmenge g/ha	%	Anzahl Spritzungen	Anzahl Hackdurchgänge
A	5791.3	100	8	0	4550	100	6	0
B	4029.5	69.6	5	3	3195	70	5	2
C	2014.8	34.8	5	5	1973	43	5	4

Tab.6: Ausgebrachte Wirkstoffmengen in den verschiedenen Verfahren absolut und in Prozent, sowie Anzahl Hackdurchgänge in den drei Unkrautbekämpfungsverfahren am Standort Sugiez 2015. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, dann nur noch hacken, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben dann nur noch hacken.

Verfahren	Sugiez Versuch 3			
	Wirkstoffmenge g/ha	%	Anzahl Spritzungen	Anzahl Hackdurchgänge
A	3222	100	3	0
B	3222	100	3	2
C	2136	66	3	3

4.4.5 Verfahrenskosten

Im Versuch 1 am Standort Avenches war der Unkrautdruck sehr hoch (humoser Boden) und dementsprechend war der Aufwand für die Unkrautkontrolle höher (siehe Tab. 5). Bei drei (Verfahren B) respektive fünf Hackdurchgängen (Verfahren C) lagen die Verfahrenskosten bei einer Anbaufläche von 20ha CHF 110.- respektive CHF 101.- über den Verfahrenskosten der rein chemischen Unkrautbekämpfung. Dies würde bei den in diesem Versuch durchgeführten Verfahren einer Auslastung des Hackgerätes von 60 respektive 100 ha entsprechen (Abb. 17).

In den mechanisch-chemischen Verfahren konnte das Unkraut im humosen Bereich der Parzelle nicht ausreichend kontrolliert werden. Aus diesem Grund wurde am 8. Juli das restliche Unkraut (Amaranth, Gänsefuss, Knöterich) von Hand entfernt.

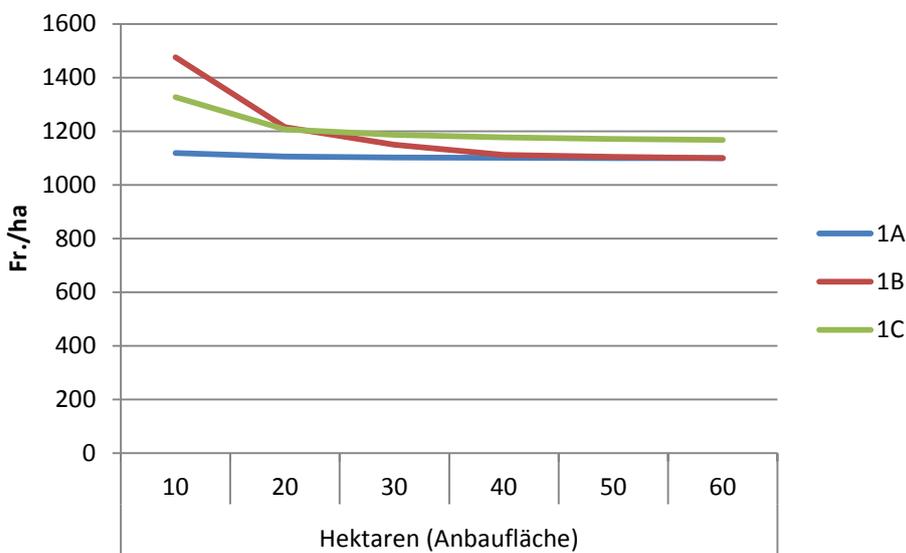


Abb. 17: Verfahrenskosten im Versuch 1, Avenches. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 3 Hackdurchgänge, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 5 Hackdurchgänge (Tab. 5).

Im Versuch 2 am Standort Avenches lagen die Verfahrenskosten bei 20 ha Rübenfläche in den mechanisch-chemischen Verfahren um CHF 297.- (Verfahren 2C) respektive CHF 172.- (Verfahren 2B) höher als im rein chemischen Verfahren. Dies ist auf den geringeren Unkrautdruck an diesem Standort und den demzufolge geringeren Herbizidkosten zurückzuführen. Auch bei einer Rübenfläche von 60 ha wären die Kosten für die mechanisch-chemischen Verfahren (Abb. 18) noch rund CHF 263.-/ha (Verfahren C) respektive CHF 93.-/ha (Verfahren B) höher als im chemischen Verfahren. Dies weil ab einer Zuckerrübenanbaufläche von 30ha in den chemisch-mechanischen Unkrautbekämpfungsverfahren nur noch geringe Verfahrenskosteneinsparungen durch eine höhere Auslastung der Maschinen erzielt werden können, da sich aufgrund der hohen Maschinenauslastung die Abschreibungsdauer kontinuierlich verkürzt.

Die Herbizidkosten konnten durch die mechanische Unkrautbekämpfung deutlich reduziert werden, jedoch lagen die Maschinen- und Arbeitskosten in diesen Verfahren deutlich höher (Abb. 19).

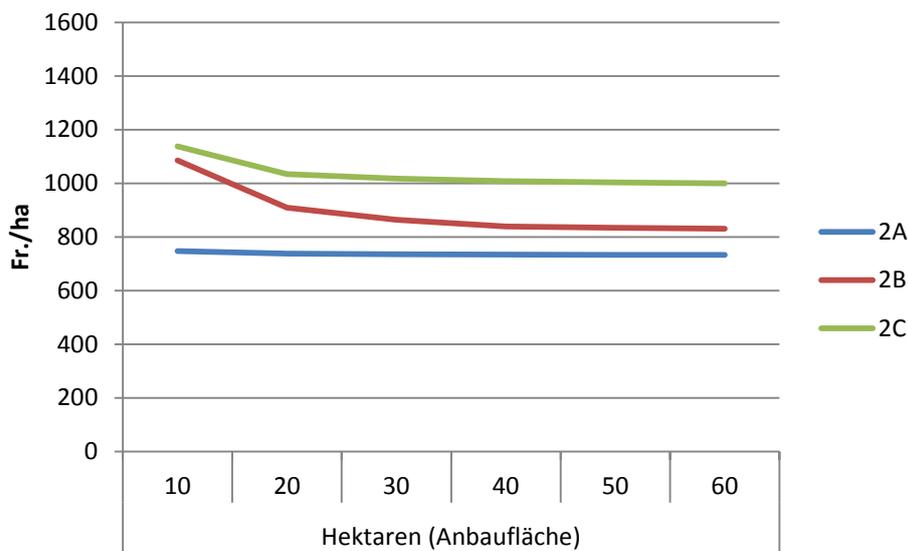


Abb. 18: Verfahrenskosten im Versuch 2, Avenches. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 3 Hackdurchgänge, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 5 Hackdurchgänge (Tab. 5).

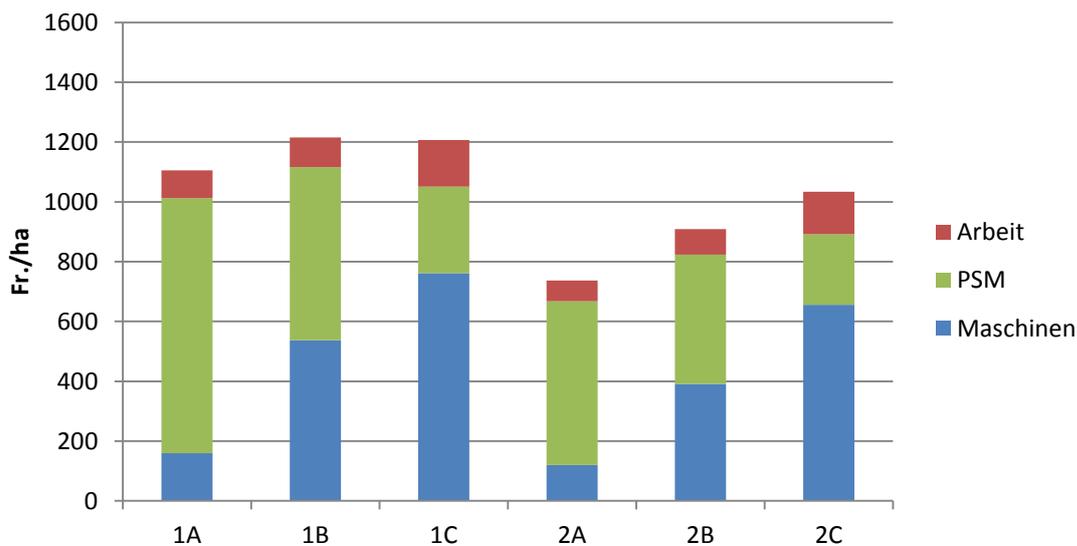


Abb. 19: Verfahrenskosten in Versuch 1 und 2 bei 20 ha Anbaufläche. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 3 Hackdurchgänge, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 5 Hackdurchgänge (Tab. 5).

Im Versuch 3 in Sugiez war der Unkrautdruck deutlich geringer als in Avenches und demzufolge waren die applizierten Herbizidmengen geringer und es waren weniger Hackdurchgänge nötig (Tab. 6). Auch bei höheren Anbauflächen und demnach einer höheren Auslastung des Hackgerätes lagen die Kosten in den mechanisch-chemischen Verfahren höher als im rein chemischen Verfahren (Abb. 20 und 21). Ab einer Zuckerrübenanbaufläche von 20ha können aufgrund einer höheren Auslastung der Maschinen keine grösseren Verfahrenskosteneinsparungen erzielt werden, da sich durch die hohe Auslastung die Abschreibungsdauer kontinuierlich verkürzt. Bei einer Rübenanbaufläche von 20ha liegen die Mehrkosten des Verfahrens „Flächenbehandlung bis 4-Blatt“ bei zwei Hackdurchgängen CHF 265.- über der rein chemischen Unkrautbekämpfung. Die Mehrkosten des Verfahrens „Bandspritzung bis 4-Blatt“ bei drei Hackdurchgängen lagen CHF 318.-/ha über den Verfahrenskosten der rein chemischen Unkrautbekämpfung (Abb. 21)

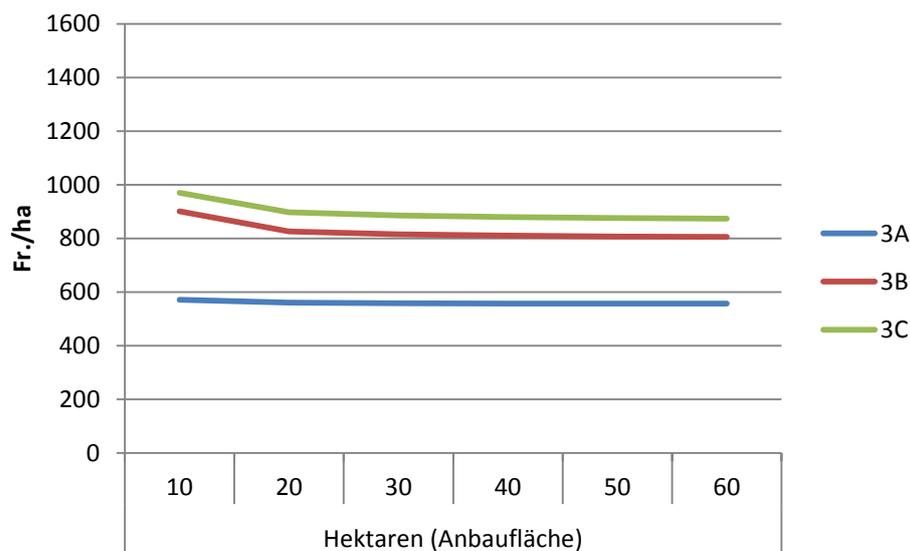


Abb. 20: Verfahrenskosten im Versuch 3, Sugiez. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 2 Hackdurchgänge, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 3 Hackdurchgänge (siehe Tab. 6).

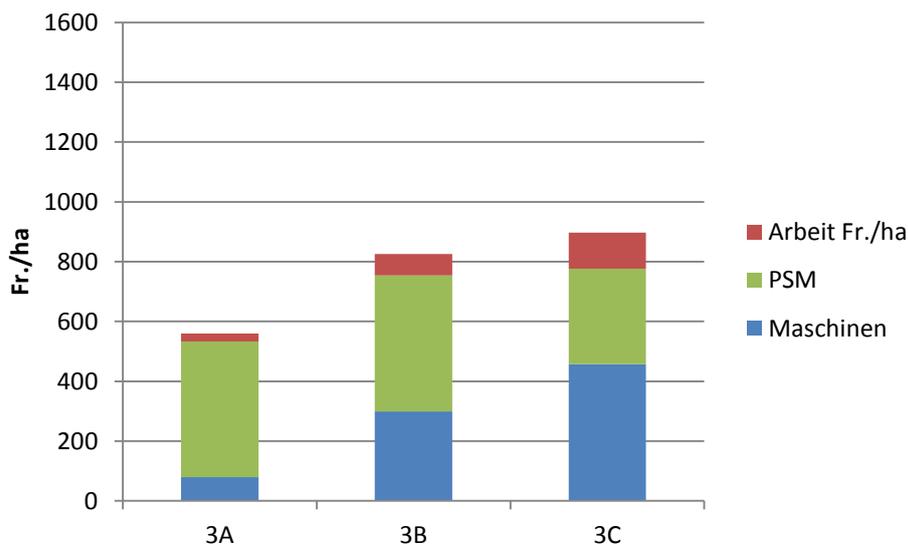


Abb. 21: Verfahrenskosten in Versuch 3 in Sugiez bei 20ha Anbaufläche. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 2 Hackdurchgänge, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 3 Hackdurchgänge (Tab. 6).

4.4.6 Erträge

Der Ernteertrag der Zuckerrüben ist in allen Verfahren vergleichbar. Tendenziell warf das Verfahren „chemisch“ im Versuch 1 am Standort Avenches und in Sugiez im Vergleich zu den Hackverfahren den höchsten Ertrag ab. Im Versuch 2 in Avenches war hingegen der Ertrag im Verfahren mit Hacken und Bandspritzung leicht höher. Die gemessenen Ertragsunterschiede waren jedoch in keinem der Versuche signifikant (Abb. 22, 23 und 24). Auch die verschiedenen Zwischenkulturen hatten keinen Einfluss auf den Rübenenertrag (Daten nicht gezeigt).

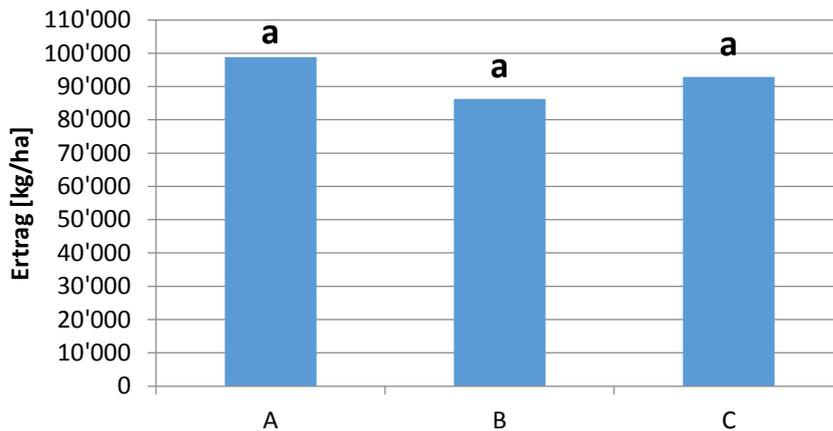


Abb. 22: Ernteertrag (kg/ha) im Versuch 1, Avenches. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 2 Hackdurchgänge, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 3 Hackdurchgänge. Verfahren mit gleichem Kleinbuchstaben sind nicht signifikant verschieden.

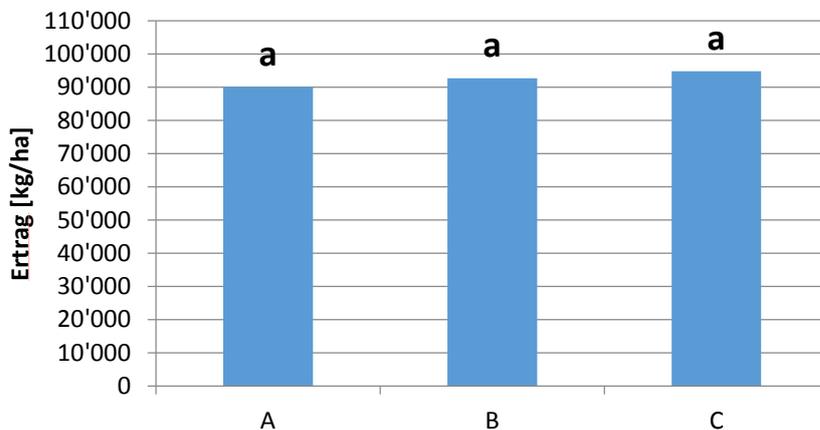


Abb. 23: Ernteertrag (kg/ha) im Versuch 2, Avenches. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 2 Hackdurchgänge, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 3 Hackdurchgänge. Verfahren mit gleichem Kleinbuchstaben sind nicht signifikant verschieden.

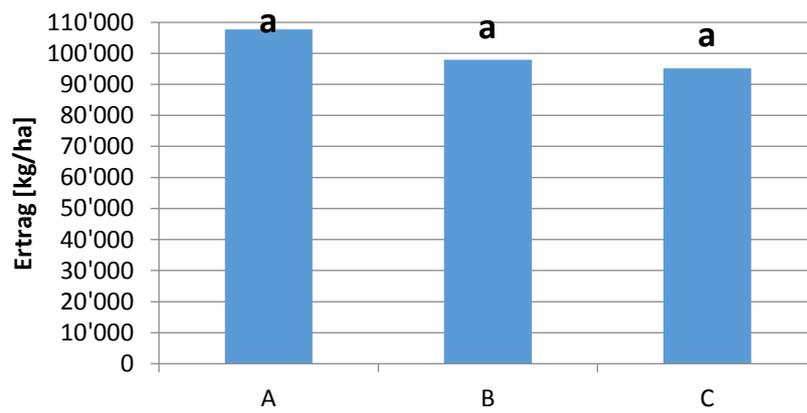


Abb. 24: Ernteertrag (kg/ha) im Versuch 3, Sugiez. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 2 Hackdurchgänge, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 3 Hackdurchgänge. Verfahren mit gleichem Kleinbuchstaben sind nicht signifikant verschieden.

4.5 Diskussion

Das organische Material der Zwischenkulturen an der Bodenoberfläche im Verfahren Mulchsaat stellt für das Hacken keine Behinderung dar. Bei guter Bestandesdichte, wurde das Unkraut von allen drei Zwischenkulturen ausreichend unterdrückt. Eine ungenügende Bestandesdichte wurde dort beobachtet, wo schlecht verteilte Strohreste der Vorkultur Roggen die Keimung der Zwischenkultur behinderte oder andere Faktoren zu einer ungenügenden Entwicklung der Zwischenkultur führten. Zu beachten ist, dass die Zwischenkultur Structurator bis im Frühjahr vollständig abfriert und ein ideales Saatbett hinterlässt. Die Unterdrückung von Ausfallweizen war im Vergleich zu den anderen beiden Zwischenkulturen Senf und UFA Lepha hingegen schlechter.

Die Kameras auf den Hackgeräten konnten die Rübenreihen bereits ab dem 2-Blattstadium erkennen und ermöglichten eine präzise Steuerung. Die Hackscharen konnten so auf einer Distanz von ca. 3cm entlang der Rübenreihen geführt werden. Die 2015 erstmals eingesetzten Fingerhacksterne arbeiteten sehr schonend in allen Stadien und verursachten nur unbedeutende Rübenverluste. Die Bestandesdichten der Rüben waren auch in den Verfahren mit bis zu 5 Hackdurchgängen vergleichbar mit den chemischen Verfahren. Probleme mit der Hackpräzision gab es dort, wo durch zu feuchte Bodenbedingungen Fahrspuren entstanden. Dies führte dazu, dass der Abstand zwischen den angrenzenden Rübenreihen stellenweise auf über 50 cm verbreitert, respektive unter 50cm verengt wurden. Als Folge davon wurde eine genaue Führung des Hackgerätes durch die Kamera verunmöglicht und führte zu Verlusten bei den Rüben. Fahrspuren sind durch geeignete Massnahmen unbedingt zu verhindern (z.B. Pflegereifen).

An den Standorten mit mineralischen Böden (Avenches Versuch 2 und Sugiez) lag der Unkrautbesatz bei Bestandesschluss der Rüben in den chemisch-mechanischen Verfahren auf einem sehr tiefen Niveau, vergleichbar mit dem chemischen Verfahren. Im Versuch 1 in Avenches stiessen die mechanisch-chemischen Verfahren hingegen im humosen Teil der Parzelle an ihre Grenzen. Bei jedem Hackdurchgang wurde der hohe Unkrautsamenvorrat zum Keimen angeregt und führte zu neuer Verunkrautung. Während das Unkraut im mineralischen Teil der Parzelle durch das Hacken reguliert werden konnte, musste im humosen Bereich die Restverunkrautung (Amarant, Melden, Knöterich) von Hand entfernt werden, um die Versamung zu verhindern. Im humosen Teil lag die Restverunkrautung ebenfalls höher als im mineralischen Teil der Parzelle.

Bei einer angenommenen Rübenfläche von 20 ha waren die Mehrkosten der mechanisch-chemischen Verfahren im Versuch Avenches 1 (humoser Boden) mit CHF 101.-/ha (Bandspritzung und Hacken) respektive CHF 110.-/ha (Herbizid ganzflächig bis 4-Blatt, dann Hacken) relative gering. Dies ist mit dem hohen Unkrautdruck und damit hohen Herbizidkosten im chemischen Verfahren in diesem Versuch zu erklären. Höher lagen die Mehrkosten im Versuch Avenches 2 mit CHF 297.-/ha (Bandspritzung und Hacken) respektive CHF 172.-/ha (Herbizid ganzflächig bis 4-Blatt, dann Hacken) sowie am Standort Sugiez mit CHF 265.-/ha (Herbizid ganzflächig bis 4-Blatt, dann Hacken) und CHF 318.-/ha (Bandspritzung bis 4-Blatt, dann Hacken). Die höheren Mehrkosten in diesen Versuchen können mit den tieferen Herbizidkosten und demnach dem geringeren Einsparungspotenzial durch das Hacken erklärt werden.

Die angestrebten Herbizideinsparungen von 50% konnten im Verfahren mit Bandspritzung in zwei von drei Versuchen unterschritten werden (Avenches 1=65%, Avenches 2=57%, Sugiez=34%). Demgegenüber lagen die Einsparungen im Verfahren „Herbizid ganzflächig bis 4-Blatt, dann Hacken“ bei maximal 30%. Das Einsparungspotential bei den Herbiziden ist im Verfahren „Flächenbehandlung bis ca. 4-Blattstadium + Hacken“ etwas geringer, dagegen ist dieses Verfahren einfacher umsetzbar und erfordert geringere Investitionen.

5 Projektjahr 2016

2016 wurde je ein Versuch in Corcelles-prés Payerne (Schmotzer Hackgerät) und in Sugiez (Carré Hackgerät) durchgeführt. Aufgrund der Erfahrungen aus den beiden Vorjahren wurde auf das Anbauverfahren Pflug verzichtet, da kein Einfluss der Grundbodenbearbeitung auf die Qualität der Hackarbeit beobachtet werden konnte. Die Versuche wurden nur im Anbauverfahren Mulchsaat durchgeführt, da dieses bodenschonende Anbauverfahren heute in der Schweiz als Standardverfahren bezeichnet werden kann. Dies im Gegensatz zu vielen anderen europäischen Ländern.

5.1 Standorte

5.1.1 Corcelles-prés Payerne

5.1.1.1 Boden

Bei der Bodenart der Versuchsparzelle handelt es sich um einen lehmigen Sand

Tab.7 Bodenanalyse der Versuchsparzelle 2016 in Corcelles-prés Payerne

pH	8.0
Humus	1.6 %
Ton	10 %
Sand	>50%

5.1.1.2 Klimadaten

Mit 47 Regentagen und total 320mm Niederschlag zwischen dem 1. April und dem 15. Juni war die Phase der Unkrautbekämpfung bei den Zuckerrüben 2016 überdurchschnittlich nass (Abb.25). Sowohl zum Spritzen als auch zum Hacken standen nur wenige günstige Tage zur Verfügung.

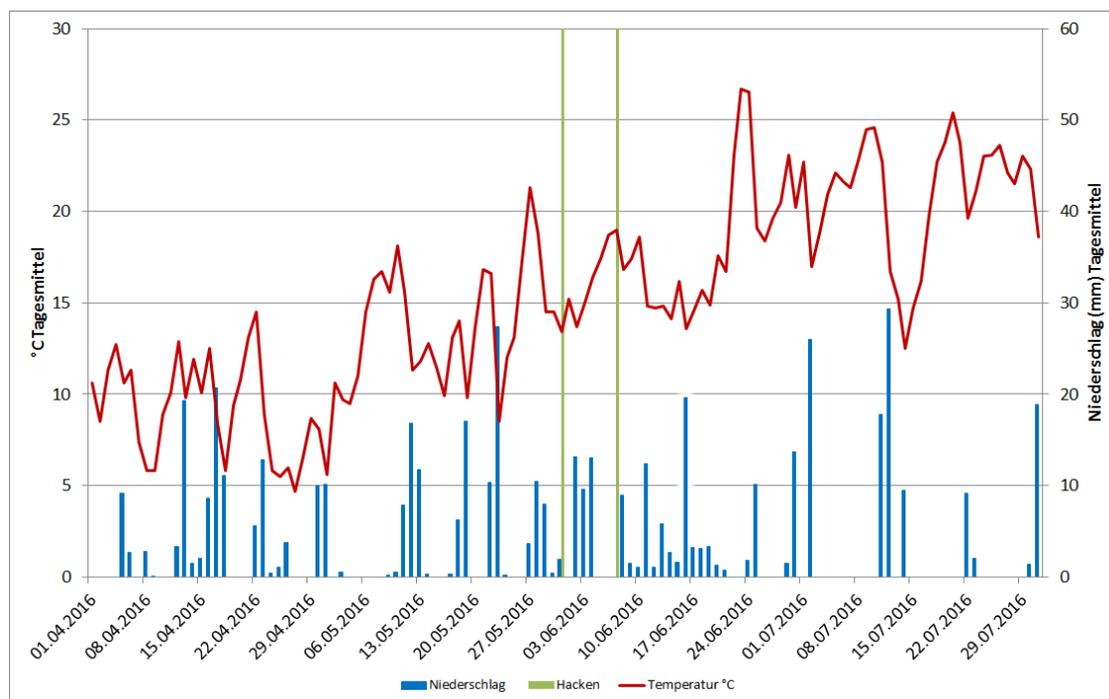


Abb.25 Temperatur- und Niederschlagsdaten Corcelles 2016, erfolgte Hackdurchgänge in grün. IDAWEB Payerne 2016.

5.1.2 Sugiez

5.1.2.1 Boden

Die Bodenart der Versuchsparzelle ist ein lehmiger Ton.

Tab.8 Bodenanalyse der Versuchsparzelle 2016 in Sugiez

pH	7.5
Humus	8.0
Ton	46.0
Schluff	41.0
Sand	-

5.1.2.2 Klimadaten

Mit 367 mm Niederschlag zwischen dem 1.4 und dem 15.6 und insgesamt 45 Regentagen waren die Bedingungen während der Periode der Unkrautbekämpfung am Standort Sugiez ähnlich feucht wie in Corcelles (Abb.26).

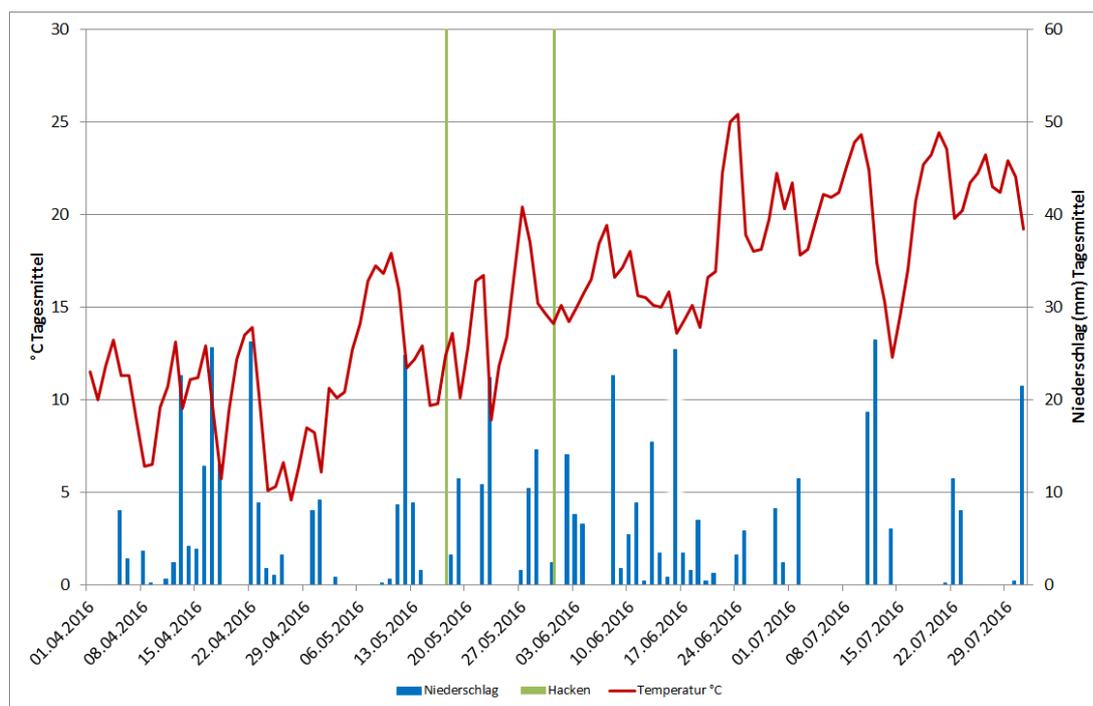


Abb.26 Temperatur- und Niederschlagsdaten Sugiez 2016, Hackdurchgänge in grün. Agrometeo Station Praz 2016.

5.2 Versuchsanlage und Verfahren

5.2.1 Corcelles-prés Payerne

Am Standort Corcelles-prés Payerne wurden die gleichen Verfahren wie 2015 verglichen mit den gleichen Zwischenkulturen nach Getreide.

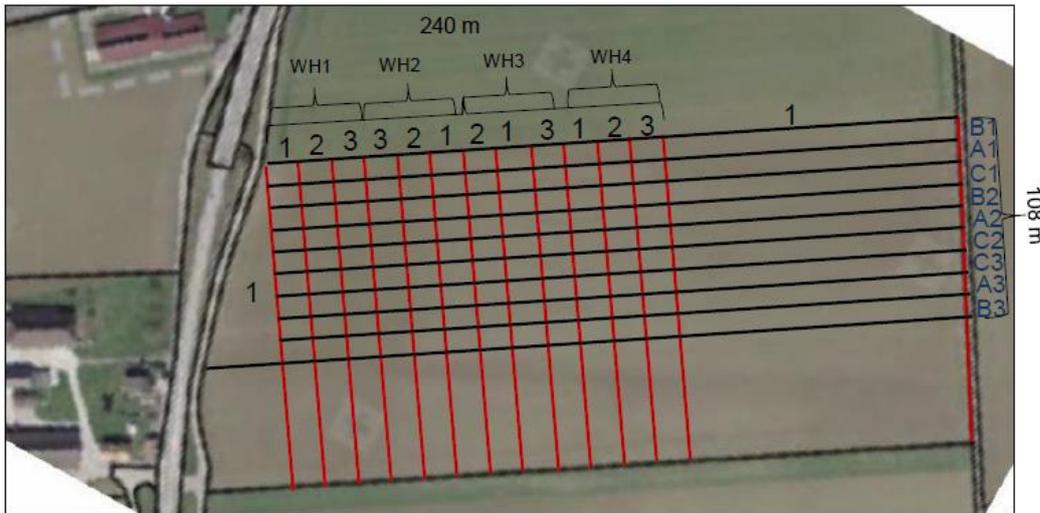


Abb.27 Versuchsplan Corcelles-prés Payerne 2016. Quer zur Saattrichtung wurden nach Getreide die Zwischenkulturen 1. Senf, 2. UFA Lepha und 3. Structurator gesät. Die 20m breiten Streifen wurden jeweils viermal wiederholt. Die Unkrautbekämpfungsverfahren wurden in der Längsrichtung in 12m Streifen in drei Wiederholungen angelegt A: Flächenbehandlung mit Herbizid, B: Flächenbehandlung mit Herbizid bis zum 4-Blattstadium der Rüben, dann nur noch Hacken, C: Herbizid-Bandbehandlung bis zum 4-Blattstadium, dann nur noch Hacken.

5.2.2 Sugiez

Am Standort Sugiez wurde 2016 auf das Verfahren C (Herbizid-Bandbehandlung bis zum 4-Blattstadium, danach Hacken) verzichtet, da der Zeitaufwand für die Betriebsleiter zu gross war, um das Bandspritzgerät jeweils rechtzeitig zwischen den beiden Standorten hin- und her zu transportieren. So wurde in Sugiez das Verfahren B (Flächenbehandlung mit Herbizid bis zum 4-Blattstadium der Rüben, dann nur noch Hacken) mit einer chemischen Flächenbehandlung verglichen. Dieses Verfahren wird vom Betriebsleiter seit einigen Jahren praktiziert (Abb.28).



Abb.28 Versuchsplan Sugiez 2016, A: Flächenbehandlung mit Herbizid, B: Flächenbehandlung mit Herbizid bis zum 4-Blattstadium der Rüben, dann nur noch Hacken. Die Verfahren wurden in Streifen mit einer Breite von 21 m angelegt und dreimal wiederholt.

5.3 Datenerhebung

5.3.1 Bestandesdichte der Zuckerrüben

Bei Bestandesschluss der Rüben wurde die Bestandesdichte der Rüben pro Verfahren und Wiederholung auf je 6 Teilflächen à 1m² ausgezählt.

5.3.2 Unkrautbesatz

Gleichzeitig mit der Auszählung der Bestandesschluss der Rüben wurde auf denselben Teilflächen (siehe oben) die Anzahl Unkräuter und die Unkrautart bestimmt.

5.3.3 Herbizidaufwand und Hackdurchgänge

Die Dosierung und die Spritztermine wurden durch den Betriebsleiter in Absprache mit der Fachstelle für Zuckerrübenbau auf der Basis der im Feld keimenden Unkräuter festgelegt.

5.3.4 Verfahrenskosten

Die Kosten des Hackgerätes und der Bandspritze wurden mit den effektiven Anschaffungskosten gemäss Offerte des Händlers und mit einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren berechnet, solange die jährliche Auslastung in den gewählten Verfahren die zugrunde gelegte Auslastung pro Jahr nicht überschritt (Maschinenkosten 2016). Bei Überschreiten der zugrunde gelegten Auslastung pro Jahr, wurde nach Nutzungsdauer in Arbeitseinheiten abgeschrieben, wodurch sich die Abschreibungsdauer verkürzt (Maschinenkosten 2016). Der Reparatur- und Unterhaltungsfaktor beträgt für das Hackgerät 1.25 und für das Bandspritzgerät 1.75. Der Zinssatz beträgt 2.5%.

Die in die Berechnungen eingeflossenen Flächenleistungen der Geräte basieren auf den Erfahrungen und Standortbedingungen an den Standorten Corcelles-prés Payerne respektive Sugiez und betragen 2.6ha/h respektive 1.53ha/h. Die Parzellenlänge (Versuchsstreifenlänge) in Corcelles-prés Payerne beträgt 450m. In Sugiez beträgt die Parzellenlänge 210m. Die Kosten für die Pflanzenschutzmittel wurden dem Heft Pflanzenschutzmittel im Feldbau 2015 respektive dem Zielsortiment der Fenaco entnommen.

Die Berechnungen zu den Verfahrenskosten erfolgten auf der Basis des ART-Berichtes Maschinenkosten 2016 und dem Programm Tractoscope2016 (die detaillierten Berechnungen befinden sich im Anhang). Die Verfahrenskosten wurden für Zuckerrübenanbauflächen von 10, 20, 30, 40, 50 und 60 Hektaren berechnet.

5.3.5 Erträge

Die Probenahme zur Ertragsbestimmung erfolgte von Hand. In beiden Versuchen wurden je Verfahren innerhalb einer Wiederholung 3 Proben gezogen (je 2 x 15 Rüben). Zur Berechnung des Ertrages wurde jeweils die Erntefläche für die 30 geernteten Rüben bestimmt. Das Gewicht sowie die chemischen Qualitätsparameter wurden in der Zuckerrübenfabrik Aarberg erhoben.

5.4 Ergebnisse

5.4.1 Bestandesdichte der Zuckerrüben

Mit je über 100'000 Pflanzen pro Hektare wurden an beiden Standorten ideale Bestandesdichten erreicht. Zwischen den verschiedenen Unkrautbekämpfungsverfahren konnten keine signifikanten

Unterschiede gemessen werden (Abb.29 und 30) Die mechanische Unkrautbekämpfung führte im Vergleich zur chemischen Flächenbehandlung nicht zu einem Verlust an Pflanzen.

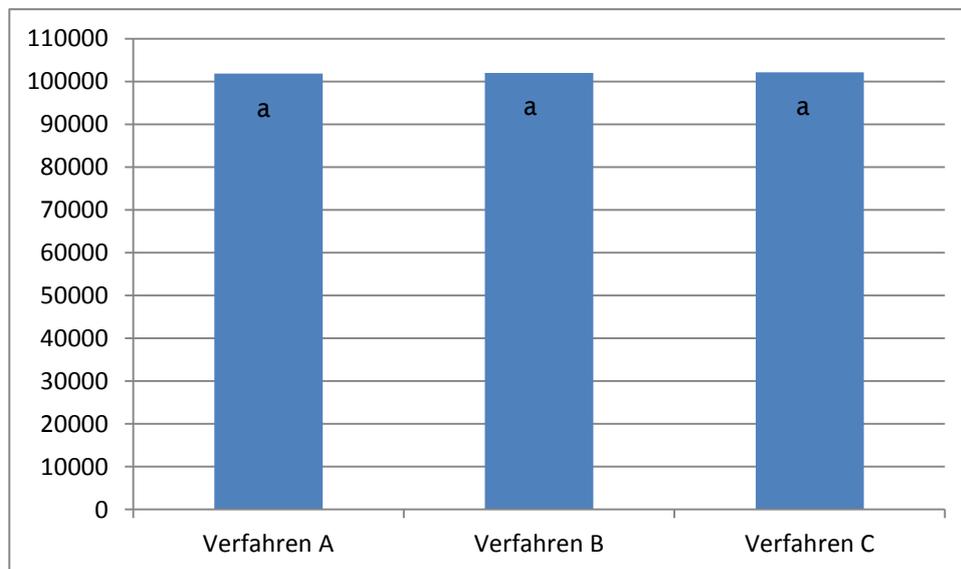


Abb. 29 Bestandesdichte in Anzahl Rüben pro Hektare am Standort Corcelles-prés Payerne, 2016 A= Chemische Bekämpfung, Verfahren B=Flächenbehandlung bis zum 4-Blattstadium der Rüben danach nur noch Hacken, C= Bandspritzung bis zum 4-Blattstadium der Rüben, danach nur noch Hacken. Verfahren mit unterschiedlichen Buchstaben sind statistisch verschieden.

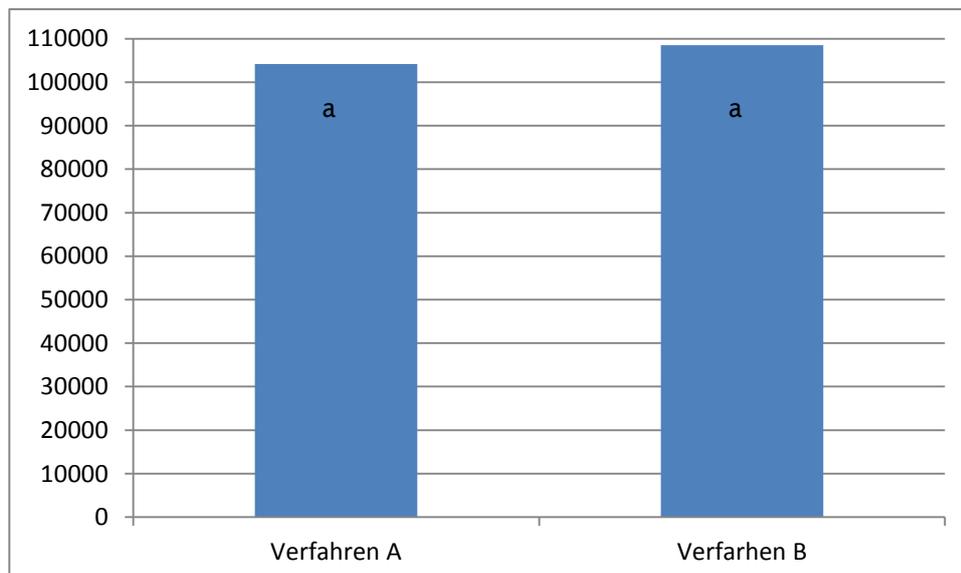


Abb. 30 Bestandesdichte in Anzahl Rüben pro Hektare am Standort Sugiez, 2016 A= Chemische Bekämpfung, Verfahren B=Flächenbehandlung bis zum 4-Blattstadium der Rüben danach nur noch Hacken. Verfahren mit unterschiedlichen Buchstaben sind statistisch verschieden.

5.4.2 Unkrautbesatz bei Bestandesschluss

Am Standort Corcelles-prés Payerne war der Unkrautbesatz bei Bestandesschluss in den Verfahren mit mechanischer Unkrautbekämpfung tiefer als im rein chemischen Verfahren (Abb. 31). Signifikant war der Unterschied zwischen dem Verfahren A (chemische Bekämpfung) und dem Verfahren C (Bandspritzung + Hacken). In den Verfahren mit mechanischer Unkrautbekämpfung wurden weniger Pflanzen von Durchwuchskartoffeln, Flohknöterich und persischem Ehrenpreis pro m² gezählt.

In Sugiez war der Unkrautbesatz bei Bestandesdichte bei chemischer Flächenbehandlung tiefer als bei kombiniert chemisch-mechanischer Bekämpfung (Abb.32). Der Unterschied war jedoch nicht

signifikant. Unterschiede gab es bei der Unkrautzusammensetzung. Im rein chemischen Verfahren traten etwas mehr gemeine Melden auf, während im Verfahren mit chemisch-mechanischer Bekämpfung der Vielsamige Gänsefuss deutlich häufiger auftrat.

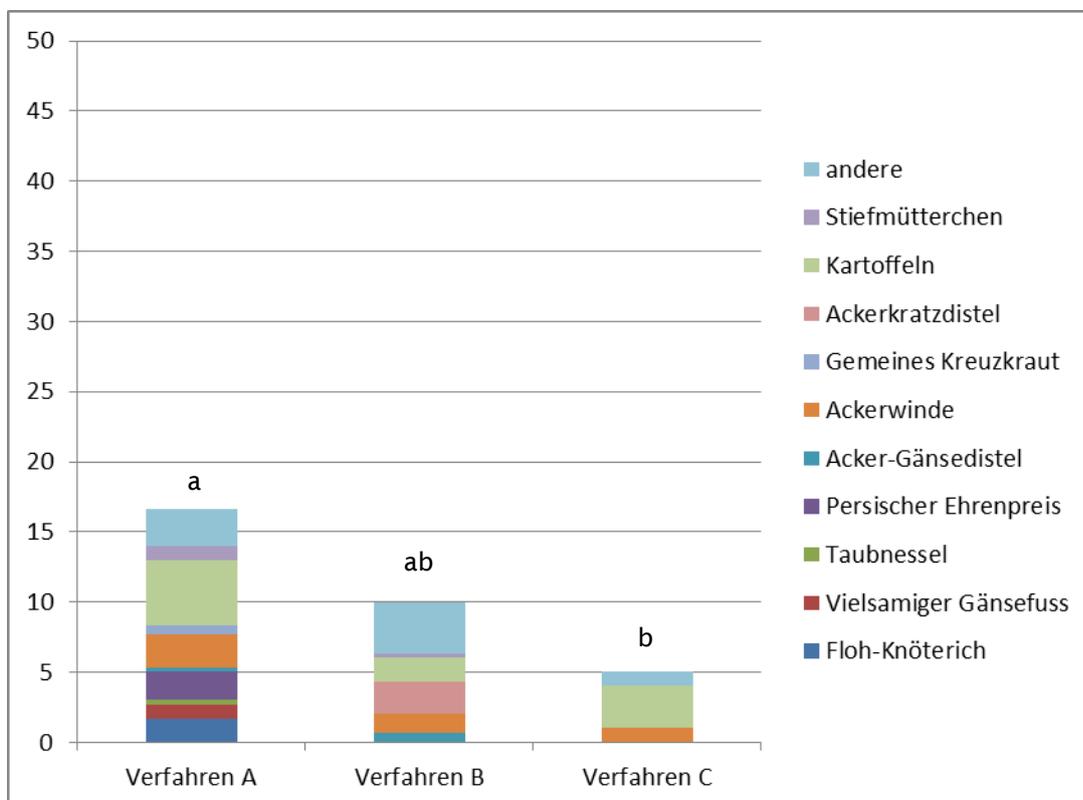


Abb. 31 Anzahl Unkräuter pro m² je Verfahren. am Standort Corcelles-prés Payerne, 2016
 A= Chemische Bekämpfung, Verfahren B=Flächenbehandlung bis zum 4-Blattstadium der Rüben
 danach nur noch Hacken), C= Bandspritzung bis zum 4-Blattstadium der Rüben, danach nur noch
 Hacken. Verfahren mit unterschiedlichen Buchstaben sind statistisch verschieden.

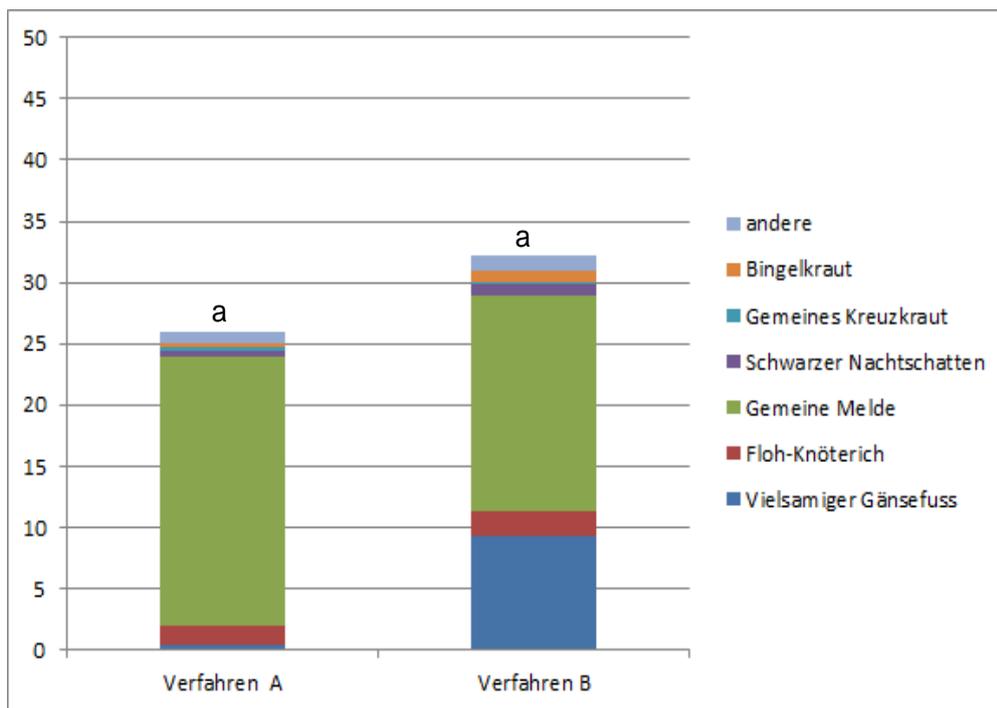


Abb. 32 Anzahl Unkräuter pro m² je Verfahren. am Standort Sugiez, 2016
 A= Chemische Bekämpfung, Verfahren B=Flächenbehandlung bis zum 4-Blattstadium der Rüben danach nur noch Hacken. Verfahren mit unterschiedlichen Buchstaben sind statistisch verschieden.

5.4.3 Herbizidaufwand und Hackdurchgänge

Die häufigen Niederschläge im Frühjahr 2016 verhinderten einen frühen Hackdurchgang. Die Herbizidreduktion im Verfahren B (Flächenhandlung bis 4-Blatt der Rüben, dann hacken) war deshalb gegenüber dem rein chemischen Verfahren geringer als im Vorjahr mit 0% in Corcelles-prés Payerne respektive 24% in Sugiez (Tab. 9 und 10)

Im Verfahren C (Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, dann nur noch hacken) konnte die Herbizidaufwandmenge um 50% reduziert werden (Tab.9).

Tab.9: Ausgebachte Wirkstoffmengen in den verschiedenen Verfahren absolut und in Prozent, sowie Anzahl Hackdurchgänge in den drei Unkrautbekämpfungsverfahren am Standort Corcelles-prés Payerne 2016. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, dann nur noch hacken, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben dann nur noch hacken.

Verfahren	Corcelles-prés Payerne			
	Wirkstoffmenge g/ha	%	Anzahl Spritzungen	Anzahl Hackdurchgänge
A	2414	100	3	0
B	2414	100	3	1
C	1207	50	3	2

Tab.10: Wirkstoffmengen der verschiedenen Verfahren absolut und in Prozent, sowie Anzahl Hackdurchgänge in den drei Unkrautbekämpfungsverfahren am Standort Sugiez 2016. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, dann nur noch hacken.

Verfahren	Sugiez Versuch 3			
	Wirkstoffmenge g/ha	%	Anzahl Spritzungen	Anzahl Hackdurchgänge
A	4274	100	4	0
B	3248	76	3	2

5.4.4 Verfahrenskosten

5.4.4.1 Corcelles-prés Payerne

Aufgrund der optimalen Bodenfeuchtigkeit haben die Bodenherbizide 2016 sehr gut gewirkt am Standort Corcelles-prés Payerne. Dies führte insgesamt zu tiefen Herbizidaufwandmengen und Kosten von nur CHF 293.-/ha (davon CHF 198.-/ha Herbizidkosten) bei einer Anbaufläche von 20ha. Die Kosteneinsparung bei den Herbiziden könnte die Mehrkosten durch die mechanische Unkrautbekämpfung nicht kompensieren (Abb.33). Bei einer Anbaufläche von 20 Hektaren Zuckerrüben liegen die Mehrkosten für die mechanisch-chemisch kombinierte Unkrautbekämpfung bei CHF 159.- (Verfahren B) respektive CHF 258.- (Verfahren C), (Abb.34).

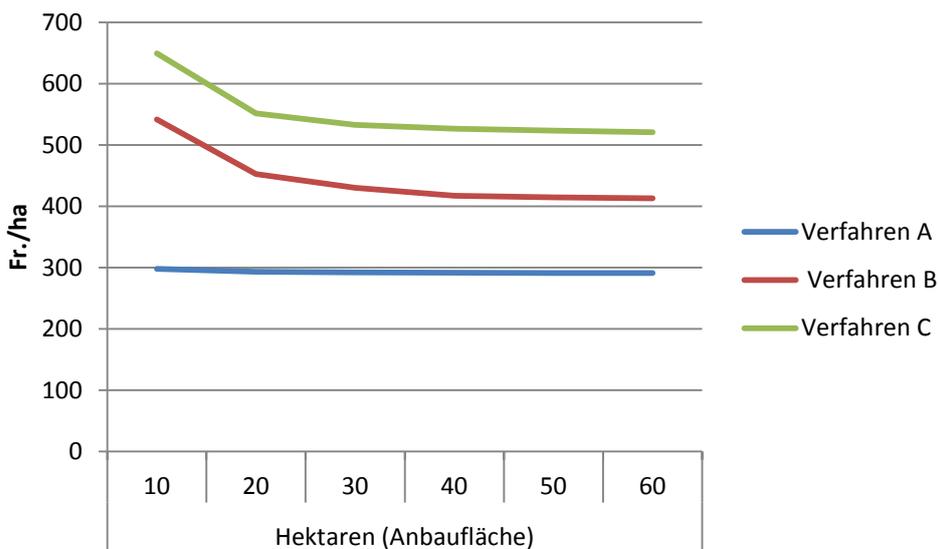


Abb. 33: Verfahrenskosten Standort Corcelles-prés Payerne 2016 in Abhängigkeit der Rübenfläche in ha. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 1 Hackdurchgang, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 2 Hackdurchgänge (Tab. 9).

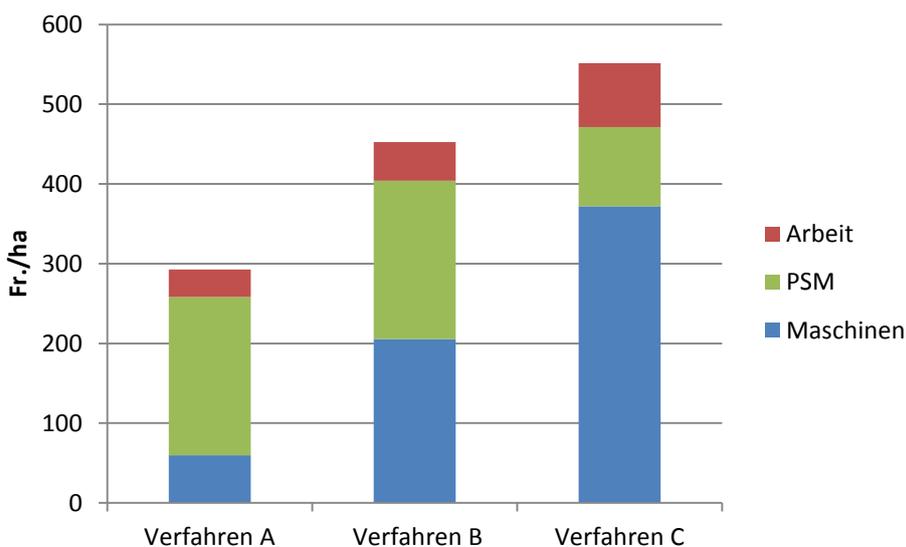


Abb. 34: Verfahrenskosten Standort Corcelles-prés Payerne bei 20 ha Anbaufläche. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 1 Hackdurchgang, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 2 Hackdurchgänge (Tab. 9).

5.4.4.2 Sugiez

Die Kosten der rein chemischen Unkrautbekämpfung lagen bei CHF 520.-/ha bei einer Anbaufläche von 20ha, davon waren CHF 379.- Herbizidkosten (Abb.36). Die Einsparung einer Herbizidspritzung im mechanisch-chemischen Verfahren konnte die zwei Hackdurchgänge nur teilweise kompensieren. Die Mehrkosten liegen bei CHF 159.-/ha bei einer Rübenfläche von 20 ha. Auch bei einer Rübenfläche von 60 ha und einer entsprechenden Auslastung des Hackgerätes liegen die Kosten für das mechanisch-chemische Verfahren über dem rein chemischen Verfahren (Abb.35).

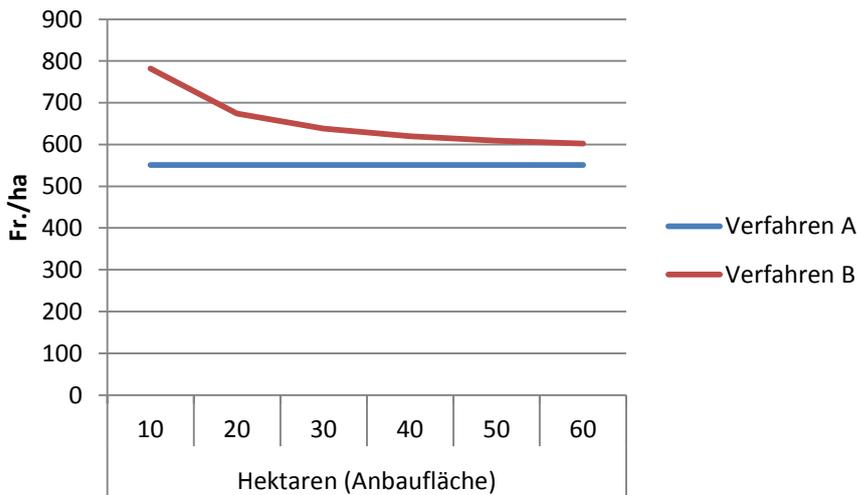


Abb. 35: Verfahrenskosten Standort Sugiez 2016. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben in Abhängigkeit der Zuckerrübenanbaufläche (Tab. 10).

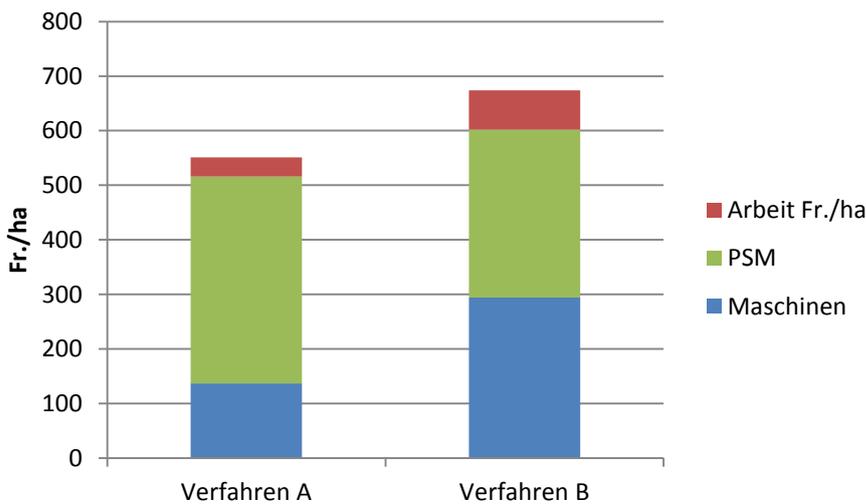


Abb. 36: Verfahrenskosten am Standort Sugiez bei 20 ha Anbaufläche. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 3 Hackdurchgänge, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 2 Hackdurchgänge (Tab. 10).

5.4.5 Erträge

Am Standort Corcelles-prés Payerne liegen die Rübenenerträge in allen Verfahren bei rund 800 dt/ha (Abb.37). Unterschiede konnten hingegen am Standort Sugiez gemessen werden, wo der Ertrag im Verfahren A mit 990 dt/ha signifikant höher liegt als im Verfahren B mit 890 dt/ha (Abb.38). Der Ertragsunterschied kann jedoch weder durch die Bestandesdichte noch durch den Unkrautbesatz erklärt werden.

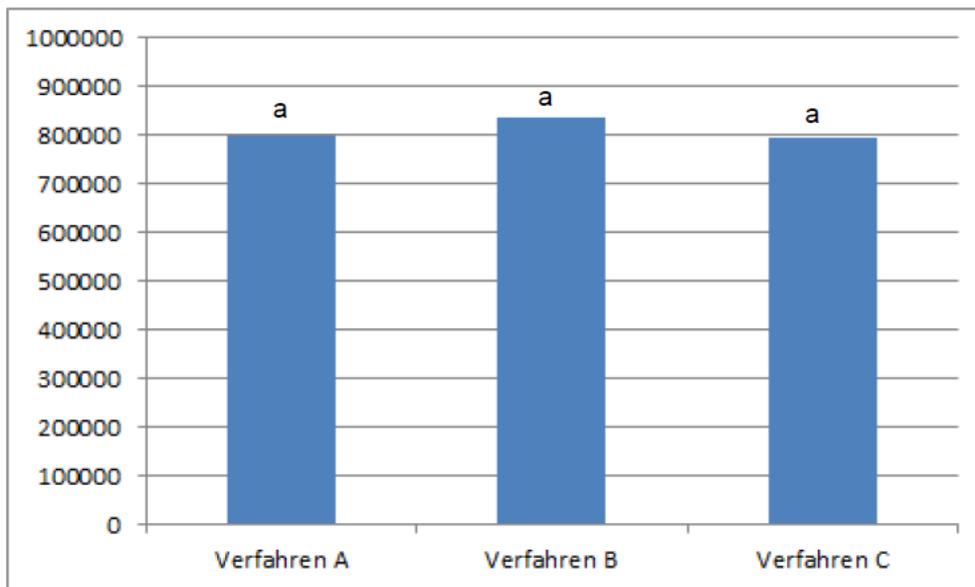


Abb. 37: Ernteertrag (kg/ha), Corcelles-prés Payerne 2016. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 2 Hackdurchgänge, C = Bandspritzung bis 4-Blattstadium der Rüben, 3 Hackdurchgänge. Verfahren mit unterschiedlichen Buchstaben sind statistisch verschieden.

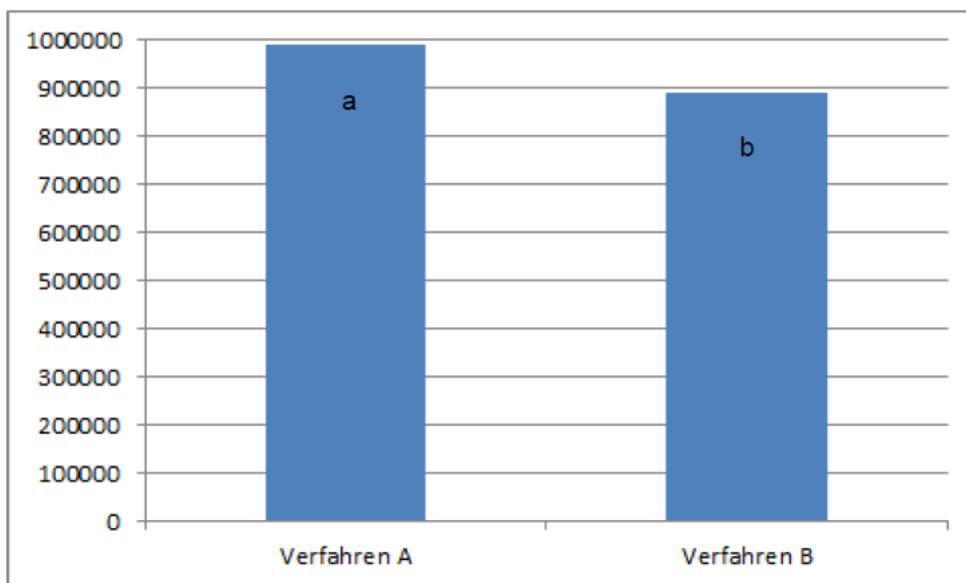


Abb. 38: Ernteertrag (kg/ha), Sugiez 2016. A = chemisch, B = Flächenbehandlung bis 4-Blatt der Rüben, 2 Hackdurchgänge, Verfahren mit unterschiedlichen Buchstaben sind statistisch verschieden.

5.5 Diskussion

Die im Vergleich zu den Jahren 2014 und 2015 nasse Witterung mit vielen Regentagen während der Phase der Unkrautbekämpfung erschwerte den Einsatz der Hackgeräte. Andererseits war die Wirkung der Bodenherbizide aufgrund der ausreichenden Bodenfeuchtigkeit sehr gut. Auf den Versuchsfeldern des Betriebs der ZRA (Avenches/Corcelles-prés Payerne) lag die applizierte Herbizidmenge deutlich tiefer als in den Vorjahren. Trotz der ungünstigen Witterungsbedingungen für die mechanische Unkrautbekämpfung war der Unkrautbesatz bei Bestandesschluss auf einem zufriedenstellend tiefen Niveau; in Corcelles-prés Payerne war der Unkrautbesatz in den chemisch-mechanischen Verfahren gar tiefer als im rein chemischen Verfahren. Der Unterschied ist mit der geringeren Dichte von Durchwuchskartoffeln, Flohknöterich und persischem Ehrenpreis zu erklären. Die relativ gute Wirkung

des Hackerätes gegen Durchwuchskartoffeln wurde bereits in den Vorjahren beobachtet. Im Gegensatz dazu haben die Rübenherbizide keine Wirkung gegen Durchwuchskartoffeln.

In Sugiez wurden keine signifikanten Unterschiede bei Unkrautbesatz festgestellt. Im rein chemischen Verfahren traten etwas mehr gemeine Melden auf, während im Verfahren mit chemisch-mechanischer Bekämpfung der vielsamige Gänsefuss häufiger auftrat. Der hohe Anteil der gemeinen Melde an der Restverunkrautung in beiden Verfahren könnte eventuell auf eine Herbizidresistenz hindeuten. Zur Abklärung wurden Pflanzenproben an die Agroscope geschickt. Die Resultate sind noch ausstehend.

Die Mehrkosten der mechanisch-chemischen Verfahren lagen zwischen CHF 159.-/ha (Sugiez) und CHF 159.- respektive CHF 258.-/ha am Standort Corcelles-prés Payerne berechnet für eine Rübenfläche von 20 ha.

An beiden Standorten wurden keine Unterschiede bei den Bestandesdichten und Entwicklung der Zuckerrüben festgestellt. Demzufolge sollen auch die Erträge auf einem ähnlichen Niveau sein. Dies trifft für Corcelles-prés Payerne zu, nicht aber für Sugiez, wo das chemische Verfahren einen signifikant höheren Ertrag aufwies. Dieser Unterschied kann jedoch aufgrund der Beobachtungen nicht auf das Unkrautverfahren zurückgeführt werden.

6 Gesamtdiskussion

Alle drei getesteten Zwischenkulturen eigneten sich gut im Hinblick auf eine mechanische Unkrautbekämpfung. Das organische Material an der Bodenoberfläche im Verfahren Mulchsaat stellte für das Hacken keine Behinderung dar. Die Zwischenkultur Structurator fror bis im Frühjahr vollständig ab und hinterliess einen nackten Boden und ein einwandfreies Saatbett für die Rüben. Die Konkurrenz gegenüber Ausfallgetreide war jedoch geringer als bei den Zwischenkulturen UFA Lepha und Senf. Für eine gute Unterdrückung des Unkrautes im Herbst ist eine gute gleichmässige Bestandesdichte entscheidend. Bei zu starker Verunkrautung der Gründung (Ausfallgetreide), musste ein Glyphosateinsatz im Frühjahr durchgeführt werden. Vor der Ansaat der Zwischenkulturen ist deshalb auf eine gute Verteilung der Strohreste der Vorkultur Getreide zu achten, damit die Keimung der Zwischenkultur nicht behindert wird. Ebenso vermögen die Zwischenkulturen schlechte Bodenverhältnisse nicht zu kompensieren und reagieren mit einem stark verminderten Wuchs darauf.

Die Hacktechnik funktionierte bei beiden getesteten Hackgeräten einwandfrei. Dank der Kamerasteuerung konnten die Rübenreihen bereits ab dem 2-Blattstadium erkannt werden. Dies ermöglichte im Verfahren Bandspritzung plus Hacken ein rechtzeitiges Hacken der Unkräuter zwischen den Reihen, bevor die Unkräuter zu gross waren. Dies war insbesondere im Versuch im humosen Boden mit einem sehr hohen Unkrautdruck von Vorteil.

Die Fingerhacksterne arbeiteten sehr schonend in allen Rübenstadien und ermöglichten eine gute Unkrautbekämpfung in den Rübenreihen, bei gleichzeitiger Schonung der Rüben. Die Bestandesdichten der Rüben waren auch in den Verfahren mit bis zu 5 Hackdurchgängen vergleichbar mit den chemischen Verfahren.

Getrennte Durchfahrten für die Bandspritzung und das Hacken ermöglichten eine optimale Terminierung beider Massnahmen. Als Vorteil der separaten Bandspritzung kann die geringere Staubentwicklung genannt werden, welche eine einwandfreie Herbizidapplikation im kombinierten Verfahren behindern kann. Der Nachteil der getrennten Durchfahrten für die Bandspritzung und das Hacken ist die höhere Anzahl Durchfahrten, was bei ungünstigen Bodenbedingungen zu Fahrspuren und einer Beeinträchtigung der Hackgenauigkeit führen kann. Hier ist auf eine optimale Bereifung zu achten.

Mit den Hackgeräten wurden Flächenleistungen von 2.6ha/h (12reihig) bzw. 1.53ha/h (6 reihig) erreicht, bei der Bandspritzung 2ha/h, dies im Vergleich zu 3ha/h bzw. 4ha/h bei der Flächenspritzung mit Herbiziden. Bei einer Rübenfläche von 20 ha lagen die Mehrkosten der chemisch-mechanischen Unkrautbekämpfungsverfahren bei CHF 101.- bis 318.-/ha gegenüber der

rein chemischen Unkrautbekämpfung. Die Mehrkosten werden von der Rübenfläche der nötigen Anzahl Hackdurchgänge und der Herbizidaufwandmenge im chemischen Verfahren beeinflusst. Bis zu einer Einsatzfläche von 20 bis 30 ha Zuckerrüben reduzieren sich die Mehrkosten aufgrund einer höheren Auslastung der Maschinen. Anschliessend müssen die Maschinen aufgrund der hohen Auslastung in kürzerer Zeit (Nutzungsdauer nach Arbeitseinheiten) abgeschrieben werden, was dazu führt, dass keine weiteren Kostenreduktionen aufgrund einer höheren Auslastung realisiert werden können.

Die angestrebte Herbizideinsparung von 50% konnte 2014 bis 2016 im Verfahren mit Bandspritzung in 4 von 5 Versuchen erreicht werden. Die maximale Reduktion wurde 2014 mit 66% erreicht. Das Einsparungspotential bei den Herbiziden ist im Verfahren „Flächenbehandlung bis ca. 4-Blattstadium + Hacken“ etwas geringer. Die maximale Einsparung lag hier bei 25 - 30%. Dieses Verfahren ist hingegen einfacher umsetzbar und erfordert geringere Investitionen.

Folgerungen

- Die mechanisch-chemischen Verfahren eignen sich sowohl im Pflug als auch im Mulchverfahren bei Zuckerrüben. An Grenzen stösst das Verfahren in humosen Böden mit einem hohen Unkrautsamenvorrat im Boden.
- Alle drei getesteten Zwischenkulturen (UFA Lepha, Senf und Strukturator) eignen sich für eine mechanische Unkrautbekämpfung in Mulchsaaten. Entscheidend für den Erfolg ist eine optimale Saatbettbereitung (Strohverteilung) und Saat.
- Eine Reduktion der Herbizidaufwandmenge um 50% gegenüber einem rein chemischen Verfahren ist mit dem Einsatz von modernen Hackgeräten möglich. Dies in Kombination mit einer Bandspritzung.
- Die Mehrkosten der mechanisch-chemischen Unkrautverfahren konnten durch die Einsparungen bei den Herbiziden nicht vollständig kompensiert werden. In den Versuchen von 2014-2016 lagen die Mehrkosten zwischen CHF 101.- und 318.-/ha bei einer angenommenen Rübenanbaufläche von 20 ha. Weitere Kostensenkungen könnten durch den Einsatz des Hackgerätes in weiteren Kulturen wie Mais, Sonnenblumen oder Raps erzielt werden.

7 Literaturverzeichnis

Wittmer et. al, 2014. Über 100 Pestizide in Fließgewässern. Aqua & Gas Nr.3, 2014

Gazzarin Christian, 2016. Maschinenkosten 2016. Agro Transfert Nr. 142

Verdankungen

Ein grosser Dank gebührt in erster Linie den beiden Betriebsleitern Hans Trachsel und Pierre-André Burnier, die die Versuche mit grossem Einsatz und hoher Fachkompetenz unterstützt haben. Ohne ihre Hilfe wäre es nicht möglich gewesen, das Projekt in diesem Umfang durchzuführen.

Ein herzlicher Dank geht auch an das BLW, das BAFU, die Interprofession Zucker sowie an die Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften für die finanzielle Unterstützung des Projektes.

